

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
14.07.2016.Т.08.01 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	3
Сафаров Жасур Эсиргапович Разработка технологий для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биологически активных веществ	29
Safarov Jasur Esirgarovich 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 КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
14.07.2016.Т.08.01 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.tkti.uz) ва «Ziyonet» таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: **Норқулова Карима Тўхтабаевна**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович**
Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси академиги, техника фанлари доктори, профессор

Қурбонов Жамшид Маждович
техника фанлари доктори, профессор

Барақаев Нусратилла Ражабович
техника фанлари доктори

Етакчи ташкилот: **Бухоро муҳандислик-технология институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент кимё-технология институти ҳузуридаги 14.07.2016.Т.08.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил «___» _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100011, Тошкент ш., Шайхонтохур тумани, А.Навоий кўчаси, 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-21; факс: (99871) 244-79-17; e-mail:tkti_info@mail.ru).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент кимё-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№___ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100011, Тошкент ш., А.Навоий кўчаси, 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-21.

Диссертация автореферати 2016 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2016 йил «___» _____ №___ - рақамли реестр баённомаси)

С.М.Туробжонов

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

А.С.Ибодуллаев

Фан доктори илмий даражасини берувчи илмий кенгаш илмий котиби т.ф.д., профессор

Қ.О.Додаев

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

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. БМТнинг озиқ-овқат ва қишлоқ хўжалиги ташкилотининг баҳолашича 2050 йилга бориб дунёда аҳолини қишлоқ хўжалиги ва чорвачилик маҳсулотларига бўлган талабини қондириш учун 2006 йилга нисбатан 60%гача ўсиши кераклигини маълум қилмоқда¹. Ҳар йили дунё миқёсида донли маҳсулотлар 30%, туганакли ва мева-сабзавотлар 40-50%, ёғ берадиган экинлар, гўшт ва сут маҳсулотлари 20% ва балиқ маҳсулотларининг 35% нобуд бўлиши натижасида чиқитга чиқарилмоқда².

Мустақиллик йилларида озиқ-овқат маҳсулотларини етиштириш ва қайта ишлаш соҳасини самарали ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилди. Мазкур йўналишда амалга оширилган дастурий чора-тадбирлар асосида муайян натижаларга, жумладан, қишлоқ ва ўрмон хўжалиги маҳсулотларини сифатли қайта ишлаш орқали импорт ўрнини босувчи ҳамда экспортга йўналтирилган озиқ-овқат ва фармацевтика маҳсулотлари ишлаб чиқариш борасида сезиларли натижаларга эришилди. 2015 йилда республикамизда 200,3 тонна топинамбур туганаги ва 199,2 тонна наъматак меваси етиштирилди³. Ушбу маҳсулотларини қайта ишлашнинг кенг тарқалган усулларида бири қуритиш ҳисобланади.

Бугунги кунда жаҳон миқёсида янги технологияларни қўллаш орқали қишлоқ ва ўрмон хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлаш усуллари тақомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилиб, бу борада амалга оширилаётган илмий изланишларда хомашё таркибидаги биофаол моддаларини сақлаган ҳолда қуритадиган техника ва технологияларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Хомашёни қуритиш усуллари тақомиллаштириш ва юқори сифатли маҳсулот олиш технологиясини ишлаб чиқишда қатор, жумладан, қуйидаги йўналишларда тегишли илмий ечимларни асослаш зарур: топинамбур ва наъматакни қайта ишлаш жараёнида маҳсулот таркибидаги биофаол моддаларни сақлаб қоладиган техника ва технологияни ишлаб чиқиш, қуритиш жараёнида микроэлементлар тақсимланишининг математик моделини ишлаб чиқиш, қуритиш жараёнида инфрақизил (ИҚ) нур орқали қиздиришда иссиқликнинг ўзгариши ва ночизиқли кўринишлари ҳамда маҳсулотни иссиқлик фаоллигини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик алмашинув жараёнларини аниқлаш, ИҚ нур ёрдамида вакуумда қуритиш қурилмасини ва қуритилган маҳсулотдан кукун олиш тегирмонини ишлаб чиқиш. Диссертация мавзусининг долзарблиги ушбу йўналишларда илмий изланишларни амалга ошириш билан изоҳланади.

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

¹ Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Изменение климата, сельское хозяйство и продовольственная безопасность. Рим, 2016. – 210 с.

² Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global initiative on food loss and waste reduction 2015. Rome, 2015. -8 p.

³ «Ўзфарманоат» АКнинг 2016 йил 27 октябрдаги №НИ-06/1944-сонли маълумотномаси.

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 Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг V. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» ва VI. «Тиббиёт ва фармакология» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи⁴. Капилляр-ғовак материал бўлган озиқ-овқат маҳсулотларини қуритиш усуллари ва уни математик моделлаштириш орқали биофаол моддалари юқори сақланган маҳсулот олиш технологияси ва қурилмаларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, 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 олиб борилмоқда.

Қуритиш жараёни самарадорлигини ошириш орқали сифатли маҳсулотлар олишга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: 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 технологияси 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 аниқланган (Federal University of Santa Catarina); қуритиш жараёнига ИҚ нурларнинг таъсири аниқланган (University of Extremadura); қуриш жараёнида наъматак меваси таркибида аскорбин кислота микдорининг сақланиш усули яратилган (Ataturk University); топинамбурни ультра-микро-тўлқин ёрдамида қуритиш усули ишлаб чиқилган (Middle East Technical University); тегирмонда хомашёни майдалаш жараёни такомиллаштирилган (Mutah University);

⁴Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи www.uga.edu; www2.ulaval.ca; www.dil-ev.de; www.en.ufsc.br; www.unex.es; www.atauni.edu.tr; www.metu.edu.tr; www.mutah.edu.jo; www.unlp.edu.ar; www.asu.lt; www.mgupp.ru; www.kniihpsp.ru ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

наъматак мевасини иссиқ ҳаво оқими ёрдамида вакуумда инфрақизил нур ёрдамида қуритиш қурилмаси ва технологияси ишлаб чиқилган (National University of La Plata); топинамбур туганагини сақлаш ва қайта ишлаш жараёнида сифат ўзгариши аниқланган (Aleksandras Stulginskis University).

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Адабиётлар таҳлили натижалари шуни кўрсатдики, қуритиш жараёнини такомиллаштиришга қадимдан катта эътибор қаратиб келинган. Жумладан, А.В.Лыков, А.С.Гинзбург, С.Г.Ильясов, И.Б.Левитин, З.С.Салимов, О.Ф.Сафаровлар қуритиш жараёни назарияси, инфрақизил нурларни қуритиш жараёнига таъсирини ўрганишга катта ҳисса қўшганлар.

Ишлаб чиқариш саноатидаги жараён ва қурилмаларни такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар олиб бориш, шунингдек, самарали технологияларни ишлаб чиқишда Ўзбекистон олимлари А.А.Артиков, Қ.О.Додаев, Х.Ф.Джураев, З.С.Искандаров, Д.Н.Мухиддинов, Ж.М.Қурбонов, Б.И.Мухамедов, К.Т.Норқулова, Х.С.Нурмухамедов, Р.Х.Рахимов, Б.П.Шаймардонов, Н.Р.Юсупбековлар томонидан самарали фаолият олиб борилган.

Қуритиш жараёнини такомиллаштириш ва биофаол сифатга эга бўлган маҳсулотлар ишлаб чиқариш бўйича S.Paes, E.Karacabey, Ch.M.Ben, A.Natalia, Ghaid Jameel Al-Rabadi, A.G.Ghiaus, C.Marquez, Saliha Erinturk, A.Ruiz Celma, C.Ratti, H.Kunzek, K.Veerachandra изланишлар олиб боришган. Маҳсулотларни қуритиш усуллари, иссиқлик- масса алмашинув жараёнлари, қуритиш жараёни ва қурилмаларни такомиллаштириш ва сифатли маҳсулот олиш билан И.В.Алтухов, Р.И.Шаззо, И.А.Зуев, П.Д.Лебедев каби олимларнинг олиб борган илмий изланишлари аҳамиятлидир.

Ушбу диссертация ишида илк бор сорбция ва десорбция изотермасини қайта ишлаш усуллари орқали таҳлилий солиштирилган ва ортогонал регрессия усули Поснов тенгламаси кўринишида амалга оширилган, қуритиш жараёнини бошқариш орқали маҳсулотда микроэлементларни тақсимланиши натижасида юқори сифатли маҳсулот олиш асосланган, таркибида қанд моддалари бўлган маҳсулотлардан қуқун олиш учун совутиш системасига эга бўлган майдалагич конструкцияси ишлаб чиқилган, топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биологик фаол моддаларни сақлаган ҳолда вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш жараёни учун оптимал босим ва ҳарорат аниқланган ва ишлаб чиқариш амалиётида қўлланишининг илмий асослари ёритиб берилган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг: 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.), А9-ФҚ-1-15580-КА9-011-«Топинамбурнинг Файз барака ва Мўъжиза навлари агро ва биотехнологиясини яратиш, уни сақлаш ва чиқитсиз қайта ишлаш асосида юқори самарали, импорт ўрнини босувчи ҳамда экспортбоп, экологик соф маҳсулот ишлаб чиқариш» (2012-2014 йй.) мавзусидаги амалий ва инновацион лойиҳалар доирасида бажарилган.

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

Тадқиқотнинг вазифалари:

топинамбур туганаги ва наъматак мевалари таркибидаги намлик турларини, қайта ишлашдаги технологик, механик, кимёвий, озиқавий, иссиқлик физик ва биологик хусусиятларини тадқиқ қилиш;

тадқиқ қилинаётган маҳсулотни қуритиш жараёнида инфрақизил нур орқали қиздиришда иссиқликнинг ўзгариши ва ночизиқли қўринишлари ҳамда маҳсулотни иссиқлик фаоллигини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик алмашинув қонуниятларига аниқлаш;

қуритиш жараёнида намликни капиллярларда ҳаракатланиши ва маҳсулот таркибида микроэлементлар тақсимланишининг математик моделини ишлаб чиқиш;

топинамбур бўлаги ҳамда наъматак меваларини вакуумда ИҚ-диапазондаги электромагнит майдонда қуритиш жараёнини моделлаштириш ва оптималлаштиришни амалга ошириш, қуритиш зонасида ИҚ нурлатгичларни жойлаштиришни рационал усулини ишлаб чиқиш;

топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қуритиш жараёнини тадқиқ этиш учун ИҚ нурлатгичли вакуум қуритиш қурилмаси лойиҳасини ишлаб чиқиш ва саноат-тажриба намунасини яшаш ҳамда самарали технологик режимларини тажрибада аниқлаш;

қуритиш ва қайта ишлаш технологик режимларнинг асосий параметрлари ҳамда уларнинг ўзаро таъсирини тизимли таҳлил қилиш орқали ИҚ-қиздиришнинг рационал режимларини аниқлаш, энергия йўқотилишини камайтириш;

қуритилган топинамбур туганаги ва наъматак мевасидан кукун олиш учун тегирмон ва аэродинамик сепараторнинг тажриба-саноат конструкциясини ишлаб чиқиш;

тадқиқотларни амалга оширилишида олинган натижаларни саноатга татбиқ этиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида қишлоқ ва ўрмон хўжалиги маҳсулотлари - топинамбур туганаги ва наъматак мевалари, уларнинг таркибидаги биологик фаол моддалари сақланишини таъминлашдан иборат.

Тадқиқотнинг предмети вакуумда-қуритиш қурилмасида ИҚ-диапазонда электромагнит майдон нурлатгичлар, сувсизлантиришга хос қонуниятлар, техника ва технологиялар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда технологик жараёни математик моделлаштириш ва оптимизациялаш усуллари амалга оширилган, тажрибадаги экспериментларнинг физик модели орқали математик моделнинг реал жараёнга адекватлиги текширилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ИҚ-қиздириш орқали вакуумда-қуритиш қурилмасида топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қуриш жараёнининг кинетикаси аниқланган;

капилляр ғовак материалда намликнинг ҳаракатланиш модели ва қуриш жараёнини бошқариш орқали маҳсулотда микроэлемент-ларни тақсимланиши натижасида юқори сифатли маҳсулот олиш асосланган;

ИҚ-қиздириш орқали паст вакуум шароитида материалнинг ички қатламларида иссиқлик ва намликни узатилиши ҳамда қуриш жараёнида дискрет режим учун иссиқликнинг ночизиқли тарқалишини ўзига хос афзалликлари аниқланган;

сорбция ва десорбция изотермасини қайта ишлаш усуллари орқали таҳлилий солиштирилган ва ортогонал регрессия усули Поснов тенгламаси кўринишида асосланган;

таркибида қанд моддалари бўлган маҳсулотлардан кукун олиш учун совутиш системасига эга бўлган майдалагич конструкцияси ишлаб чиқилган;

топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биологик фаол моддаларни сақлаган ҳолда вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуриш жараёни учун оптимал босим ва ҳарорат аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

назарий ва амалий тадқиқотлар асосида вакуумда ИҚ-қиздиришли қуриш қурилмаси ишлаб чиқилган;

тадқиқ этилаётган материалларнинг иссиқлик физик хоссаларини инобатга олган ҳолда вакуумда нур қайтаргичли инфрақизил қуриш қурилмаси ёрдамида топинамбур туганаги ва наъматак мевасининг самарадор қайта ишлаш технологияси ишлаб чиқилган;

ИҚ-нурлатгичларни рационал жойлаштириш ва сувсизлантирилаётган маҳсулотга инфрақизил нурларнинг бир текисда тарқалишининг таъминловчи махсус нур қайтаргич ёрдамида электорозэнергия ва қуриш вақтини қисқариши асосланган;

қуриш технологиясининг қонуниятларига асосан топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш жараёни учун ночизиқли динамик модели ёрдамида вакуумда ИҚ-нурлатгичли қуришнинг оптимал усули ишлаб чиқилган;

қуритилаётган маҳсулотга ИҚ-диапазонли электромагнит майдонда тебранишни кўллаш ҳисобига қуриш жараёни механизми 4-5% га тезлашгани аниқланган;

озик-овқат, фармацевтика саноатлари ва ўрмон хўжаликлари учун яратилган солиштирма энергия сарфи кам бўлган қурилмада олинган натижалар кўлланилган;

инулин моддасини минимал йўқотилиши таъминланган, конвектив қуритиш усулида 33,3 мг% гача, маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан қўллаган усулда 8-9 мг% гача, таклиф этилаётган усулда 45,4 мг% гача миқдорда инулин моддаси сақланган;

қуритилган наъматак таркибида қолган аскорбин кислота миқдори таклиф этилаётган усулда 0,77 мг% гача, гелио қуритиш усулида 0,15 мг% гача, ИҚ қуритиш усулида 0,71 мг% гача, конвектив қуритиш усулида 0,12 мг% гача ва маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан қўллаган усулда 0,59 мг% гача сақланган;

C++ Builder 6.0 дастури ёрдамида қуритиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган ва ЎзР ИМАда №DGU 03533 рақам билан 12.02.2016 йилда рўйхатга олинган;

вакуумда ИҚ-қуритиш қурилмасидан фойдаланиш учун техник шарт ишлаб чиқилган ва тасдиқланган;

топинамбур туганаги ва наъматак мевасидан кукун ишлаб чиқаришнинг вақтинчалик технологик регламенти ишлаб чиқилган ва «Ўзфармсаноат» ДАК томонидан тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Математик моделлаштириш жараёни учун бошланғич тажриба натижалари олиниб, ушбу натижалар юқори аниқликда ўлчаш асбоблари ёрдамида олинган, MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0, Windows XP, Microsoft Excel каби замонавий операцион муҳитлардан ёрдамида компьютерда моделлаштириш бажарилган, жараённинг статистик моделига эга бўлган регрессион тенгламалар олинганлиги билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти топинамбур туганаги ва наъматак мевасини вакуумда ИҚ-қурилмаси ёрдамида қайта ишлайдиган самарадор комплекс технология ишлаб чиқилган ва хомашёнинг бошланғич биологик фаол моддаларини максимал даражада сақлаган ҳолда қайта ишлаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти топинамбур туганаги ва наъматак меваларини энерго- ва ресурстежамкор қайта ишлаш технологик тизимини қўллаш натижасида маҳсулот таркибидаги биофаол моддаларнинг сақланиб қолишини таъминлаш ҳамда қайта ишлаш жараёнида хомашё йўқотилишини камайтиришга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Қуритиш усулини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

туганакли маҳсулотларни қуритиш усулига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтиро патенти (23.07.2014 й. № IAP 04936) олинган. Илмий тадқиқот натижаси қуритиш орқали хомашё таркибидаги биофаол моддалари сақланган маҳсулот олиш имконини берди;

топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш технологияси «Ўзфармсаноат» давлат акциядорлик концерни ҳамда Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлиги тизимларига кирувчи корхоналарда жорий этилган («Ўзфармсаноат» давлат акциядорлик концернининг 2015 йил 30 ноябрдаги МД-06/1868-сон ҳамда

Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2015 йил 10 сентябрдаги 06/14-893-сон маълумотномалари). Вакуумда инфрақизил нур ёрдамида куриштиш технологиясини қўллаш натижасида ишлаб чиқариш қувватини 20%гача ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация иши натижалари қуйидаги илмий - амалий анжуманлар ва халқаро конференцияларда апробациядан ўтган: «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 истиқболлари» (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).

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 46 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 2 та монография, 1 та ихтирога патент олинган, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 16 та мақола, жумладан, 8 таси республика ва 8 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 200 бетни ташкил этган.

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 очиқ 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 бобида 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 кўринадики, қайта ишланаётган маҳсулотни вакуумда инфракизил нурларни қўллаш орқали қуритиш келажаги бор усулларидан 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 (дифузияни 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 усулларини баҳолаб, топинамбур туганаги ва наъматак меваларини саноат миқёсида сифатли қуритиш янги қуритиш усулларини яратиш муаммолари мавжуд деган хулосага келиш мумкин.

Диссертациянинг «Капилляр ғовак материалларни қуритиш жараёнини математик моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобида капилляр ғовак бўлган ўсимлик материалларини қуритиш жараёнини математик моделлаштириш натижалари ва топинамбур туганаги ҳамда наъматак мевасини қуритиш 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 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 муурожаат 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,

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

Бу ерда μ, q –коэффициентлар.

Тейлор қаторига тақсимланиш қуйидаги кўринишга эга:

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu} \mu t + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial qx} qx \right). \quad (2)$$

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

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 қуритишнинг тезлигига ва қуритилаётган материалнинг тўйиниш мойиллигига боғлиқ.

Ҳисоблар шуни кўрсатади:

$$C = \left(\frac{\rho_0 \gamma}{\rho_0 \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S_0}{S} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (3)$$

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

Қуритиш 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 адсорбланиши билан ҳулосаланади. Бу жараённи идеаллаштириб, суюқликнинг заррачалари доимий v тезликда ҳаракатланади деб қабул қиламиз.

Диффузион жараёнларни жиддий ҳисобга олиниши адсорбциянинг математик моделини мураккаблаштиради ва масалани фазовий тарқалиш параметрига олиб келади. Бунда сақланиш қонуни қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(V\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (4)$$

Бу ерда, h - сувсизлантирилаётган объектнинг диффузия коэффиценти.

Деярли мувозанат ҳолат учун қуйидаги тенгламалар ситемасига эгамиз:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]}. \end{cases} \quad (5)$$

Тенгламалар (5) ρ_f дан c тезлигига боғлиқ чизикли шартда аниқланган.

Коула-Хопф ифодасини алмаштириш ёрдамида аниқ ечимга эга материалнинг ҳужайрасида 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 ичкарисидан 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 (4) таҳлил қиламиз.

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

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

ρ_f ўрнига, $\rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}}$ ни киритиб, (5)ундан

$$\frac{\partial \rho_f^*}{\partial t'^2} + c^* \frac{\partial \rho_f^*}{\partial x'^2} = h^* \frac{\partial^2 \rho_f^*}{\partial x'^2} \text{ ни ҳосил қиламиз.} \quad (6)$$

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

Ифодани соддалаштириш мақсадида қуйида штрихларни олиб ташлаймиз, лекин олдинда ўлчовсиз жойлардаги ҳаракатлар (6) динамикаси кўзда тутилган. Қуйидагини киритамиз:

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

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} = h \frac{\partial^2 n_i}{\partial x^2}, \quad (7)$$

Бу ерда, n_i, c, x, h –янги ўлчовсиз.

Ночизиқ тенгламанинг (7) ечими кетма-кетлик яқинлашиш усули ёрдамида ҳосил қилинади.

$n = n_0(x, t)$ чизиқли яқинлашиш ечими, яъни $c = \text{const}$ бўлганда, (7) тенглама ечими чизиқли $n_0(x, t) = n_0(x - c_0 t)$ ечимга эга. Физик жиҳатдан бу – фронт кўринишидаги тезлик билан $c_0 = c(n_0)$ оддий ҳаракат ҳисобланади. Асл ечимни яқин келган шаклда қуйидагича ифодаш мумкин:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (8)$$

(8) учун қуйидагига эгамиз

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (9)$$

бунда ΔR ни (5)дан оламиз.

Бунинг натижасида ҳаракат жараёни вақт ўтиши билан биргаликда катта ўсиб борувчи 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 тенгламаларни ечилишида яқинлаштирилган ва аналитик аппроксимация усулини қўллаш натижалари келтирилган.

$$n = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} F \left[\xi - \frac{V}{1+R(n)} \right] \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2\pi h(t-\tau)}} d\xi d\tau + O \left[h(t-\tau) \cdot \frac{V}{1+R} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

Тенгламалар ечимиде (8) яқинлаштирилган ва аналитик аппроксимация учун функцияларни бир хилга келтириш усулининг қўлланилиши натижасида функцияни Лапласнинг аппроксимациялаш формуласини оламиз:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1+R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (11)$$

Бунда, $F = (n_0)_{xx}$.

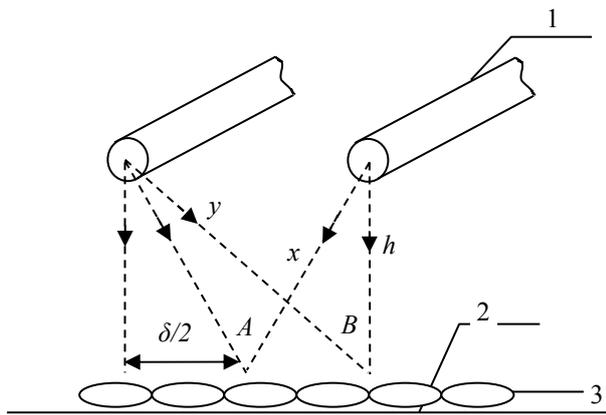
Олинган тенглама чизиқсизликнинг эффектларини етарли даражада ҳисобга олишга имкон беради.

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

усуллари ишлаб чиқилди.

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

Қуриштиш жараёнида қатламларда кристалланган моддаларнинг қайта тақсимланиши бўйича экспериментларнинг режалаштирилган усуллари ўтказилган. Жумладан, топинамбур туганаги таркибидаги инулин моддасининг маълум қатламларда тарқалиш эгри чизиқлари олинган.



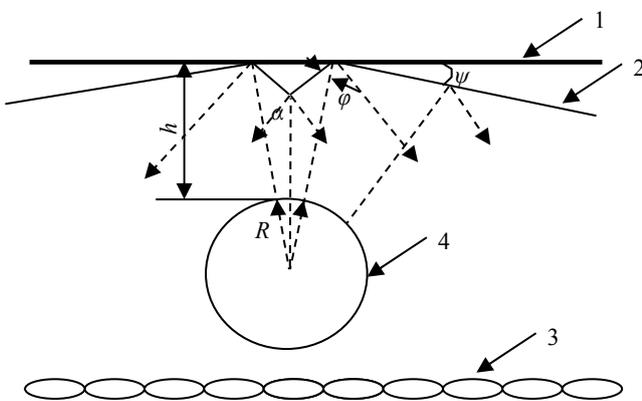
1—нурлатгич; 2—сетка юзаси; 3—маҳсулот.
1-расм. Параллел керамик трубкalar ёрдамида ҳосил бўлган ИҚ-майдон

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

Инфрақизил нурланишнинг тенглигида А ва В нукталарда қуйидагига эгамиз:



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

2-расм. Шакли нурқайтаргич схемаси

ИҚ нурлатгични кўриб чиқамиз. Параллел керамик найчалар турли 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, Bm , яъни

нурланишнинг оқим қуввати, Bm , яъни

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}} \quad (12)$$

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

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0 \text{ ни оламиз} \quad (13)$$

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

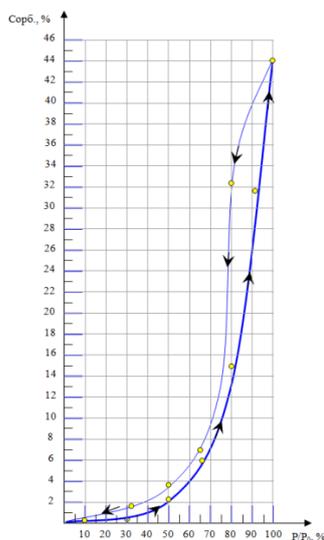
(13) тенглик ξ ни барча қийматларда 0 га тенглигини, яъни дискриминант 0 дан фарқли бўлгани

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 бартаараф этиш учун янги шакли 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.

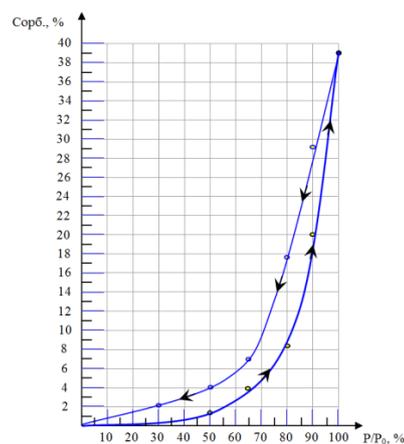
Нурланишнинг максимал шароитида олинган қийматлари: деворлар оралиғидаги масофа –170 мм, найча диаметри –22 мм, тўр ва нурлатгич оралиғидаги масофа –135 мм, нурлатгич юзаси ва нур қайтаргичнинг нисбатан энг узоқ нуктаси оралиғидаги масофа –22 мм. Бунда: $\varphi_{max}=27,4^{\circ}$; $\varphi_{min}=18,3^{\circ}$;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

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 тадқиқ этилаётган топинамбур туганагини «Мўжиза» нави ва наъматак меваси наъмуналарининг сув буғидаги сорбция ва десорбция иссиқлик-техник тавсифи 293 К ҳароратда ўрганилган. Олинган маълумотлар 3-4-расмларда келтирилган. Топинамбур туганаги ва наъматак меваси намуналарининг сув буғидаги сорбция изотермаси асосида монокатлам ҳажми, солиштира юзаси, ғовакларнинг умумий ҳажми ва капиллярлар радиуси Брунауэр, Эммет ва Тейлор (БЭТ) тенгламаси ёрдамида ҳисобланган. Топинамбур туганагини вакуум ИҚ нур ёрдамида қуритилганда унинг иссиқлик-техник тавсифи – капиллярларнинг солиштира оғирлик юзаси 18,38 м²/г бўлганда, топинамбур ғовакларининг миқдорий ҳажми вакуум ИҚ қуритишда 0,440 см³/г ни ташкил қилади. Тадқиқотнинг иккинчи маҳсулоти –наъматак меваси учун вакуум ИҚ қуритишда иссиқлик-техник тавсифи ҳам аниқланиб, капиллярларнинг солиштира оғирлик юзаси 12,30 м²/г бўлганда, ғовакларининг миқдорий ҳажми вакуум ИҚ қуритишда 0,390 см³/г ни ташкил қилади.



3-расм. Топинамбурнинг сорбция ва десорбция изотермалари эгри чизиклари



4-расм. Наъматак мевасининг сорбция ва десорбция изотермалари эгри чизиклари

Топинамбур туганаги ва наъматак меваси намуналарининг сув буғидаги сорбция ва десорбцияси бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари асосида капилляр-ғоваклилик структура параметрлари аниқланди. Олиб борилган тадқиқотлар натижасида топинамбур туганаги ва наъматак меваларининг сорбция ва десорбция изотермалари: x_m —монокатлам ҳажми, S_c —солиштира юзаси, W_0 —ғовакларнинг ҳажмий миқдори, r_k —капилляр радиуси аниқланди. Ушбу маълумотлар тадқиқ этилаётган материалларни қуриш вақти ва боғланган намликнинг шакллари аниқлаш имконини беради.

Тадқиқ этилаётган материалларнинг гигроскопик хусусиятларини ўрганиш бўйича олинган тажриба натижалари Поснов тенгламаси ёрдамида қуйидаги шаклда қайта ишланган:

$$\varphi = e^{\left(\frac{1}{w_p} - \frac{1}{w_r}\right) / B} \quad (14)$$

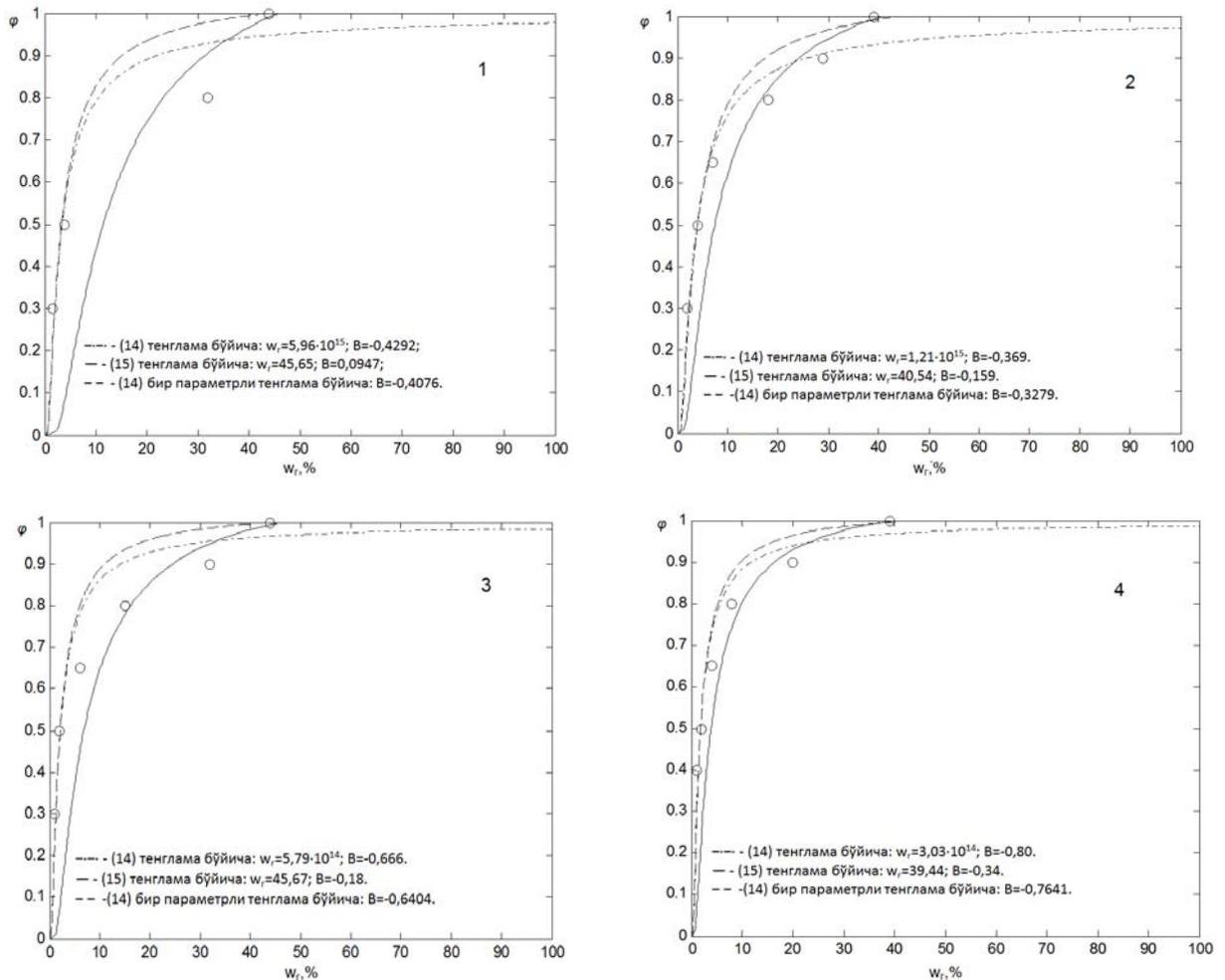
$$w_p = \frac{1}{B \ln \varphi + \frac{1}{w_r}}, \quad (15)$$

бунда, w_r —гигроскопик намлик,%; B —материалнинг хусусиятини ҳисобга олувчи коэффициент.

Ҳисоблаш натижалари, юқорида келтирилган қайта ишланган маълумотларни афзалликлари ифода шаклида тасдиқланганлигини кўрсатди. Топинамбур учун 293 К ҳароратда (14) ифода орқалитенглама параметрларининг $w_r=5,96 \cdot 10^{15}\%$, $B=-0,4292$ сон қийматлари олинган. Чизиксиз баҳолаш (15) ифодаси кейинги натижаларни беради $w_r=45,65\%$, $B=-0,0947$.

Агар тажриба маълумотларига хос равишда $w_r=44\%$ қайд этилса, унда бир параметрли модел (14) ифода бўйича $B=-0,4076$ олинади ва (14) ҳамда (15) ифодалардаги қонуниятлар фарқи тубдан ортади.

5-расмда бир параметрли модель бўйича қайта ишланган маълумотларнинг натижалари келтирилган.



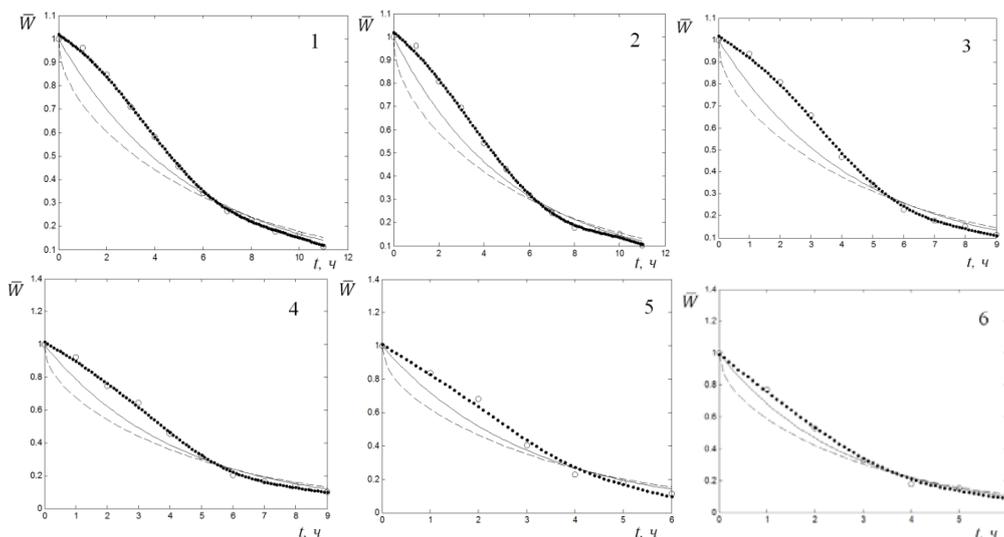
1-топинамбурнинг десорбция изотермаси; 2-наъматакнинг десорбция изотермаси; 3-топинамбурнинг сорбция изотермаси; 4- наъматакнинг сорбция изотермаси

5-расм. Поснов модели бўйича топинамбур ҳамда наъматакнинг сорбция ва десорбция изотермалари

Ўзгармас ҳароратдаги бошланғич ва чегаравий шартларга хос равишда Фикнинг диффузион тенгламаси орқали куриш кинетикасининг жараёнини кўриш мумкин. Ушбу жараёнда Фик тенгламасини математик иборалар билан тавсифлаш учун намликни сақлаш қийматларини ифодаловчи куйида келтирилганифода ёрдамида ўлчовсиз шаклга келтириб олиш лозим.

$$\frac{\bar{W}}{W_{\infty}} = \frac{W - W_p}{W_{\infty} - W_p} \quad (16)$$

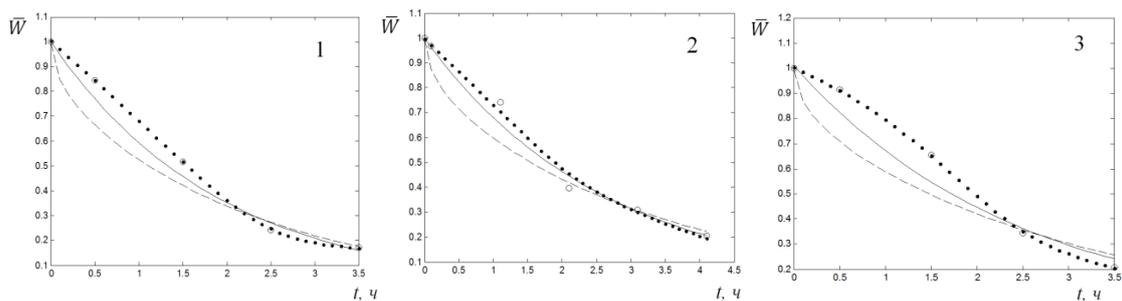
Намлик диффузияси коэффицентининг чегаравий шартларига кўра аниқланадиган квадратга нисбатан 1-тур бўйича қабул қилинганда, унинг ечимида етарлича экспонентлар миқдори билан хусусий ҳосилада дифференциал тенглама ечими ёрдамчи дастурлар орқали махсус дастур ёрдамида энг кичик квадратлар усули билан аниқланди.



— - Фикнинг I-тур модели; ---- - Фикнинг III-тур модели

1-топинамбур бўлагини ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 2-майдаланган топинамбур массасини ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 3-топинамбур бўлагинивакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 4- майдаланган топинамбур массасини вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 5-топинамбур бўлагинивакуумда ИҚ-қиздириш ва титратиш орқали қуритиш эгри чизиғи; 6- майдаланган топинамбур массасини вакуумда ИҚ-қиздириш ва титратиш орқали қуритиш эгри чизиғи.

6-расм. Топинамбурни қуритишни кинетик қонуният

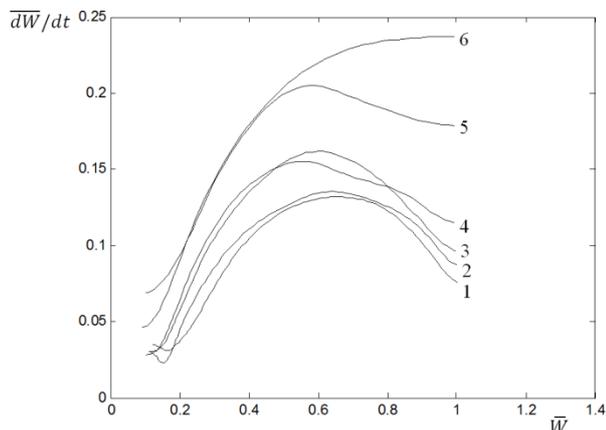


— - Фикнинг I-тур модели; ---- - Фикнинг III-тур модели

1-вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш (қуритиш ҳарорати 50⁰С; вакуум -0,8 атм);
2-вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш (қуритиш ҳарорати 65⁰С; вакуум -0,8 атм);
3-вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш (қуритиш ҳарорати 80⁰С; вакуум -0,8 атм).

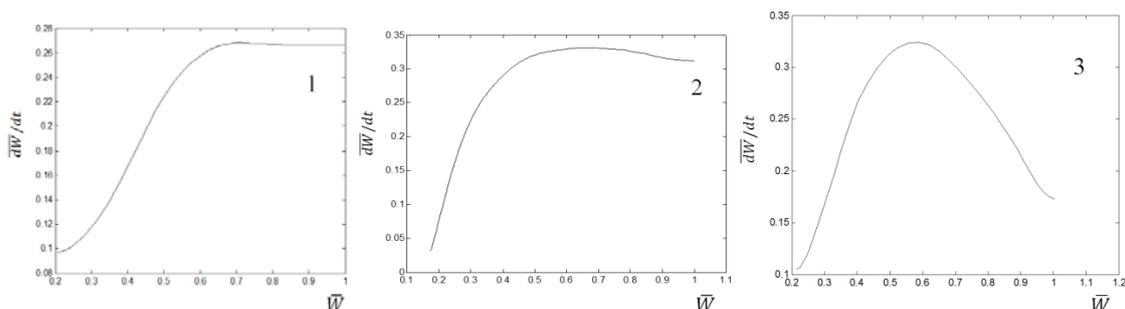
7-расм. Наъматак мевасини қуритишни кинетик қонуният

Назарий ва тажриба маълумотлари солиштирилганда (6-расм, штрих чизиғи), фазалар оралиғида масса алмашиниш коэффицентини ҳисобга олиш кераклигини кўрсатди(6-7 расм).



1-топинамбур бўлагини ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 2-майдаланган топинамбур массасини ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 3-топинамбур бўлагини вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 4-майдаланган топинамбур массасини вакуумда ИҚ-қиздириш орқали қуритиш эгри чизиғи; 5-топинамбур бўлагини вакуумда ИҚ-қиздириш ва титратиш орқали қуритиш эгри чизиғи; 6- майдаланган топинамбур массасини вакуумда ИҚ-қиздириш ва титратиш орқали қуритиш эгри чизиғи.

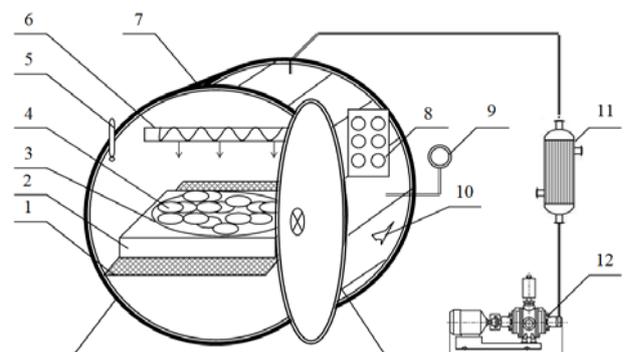
8-расм. Топинамбурни қуритиш тезлигининг эгри чизиғи



- 1-ИҚ-қиздириш орқали вакуумда қуритиш (қуритиш ҳарорати 50 °С; вакуум -0,8 атм);
 2-ИҚ-қиздириш орқали вакуумда қуритиш (қуритиш ҳарорати 65 °С; вакуум -0,8 атм);
 3-ИҚ-қиздириш орқали вакуумда қуритиш (қуритиш ҳарорати 80 °С; вакуум -0,8 атм).

9- расм. Наъматак мевасини қуриш тезлигининг эгри чизиғи

Қуришни турли режимларида бажарилган миқдорий интенсивликшакли 9-расмда келтирилганидек: ички диффузия интенсивлиги ва қаторларга жойлашган ташқи масса алмашиниш билан таққослаш имконини беради. Вiо критерийси қийматлари бўйича вакуумда ИҚ-қуриш усулида қуришни ички лимитланаётган диффузияси билан боғлиқ бўлган муаммоларни ечади деб таъкидлаш мумкин. Келгусида қуриш жараёнини технологик ва конструктив такомиллаштиришда зарра чегаралари ва материал қатламларида ташқи алмашинувнинг интенсификацияланишига асосланади.

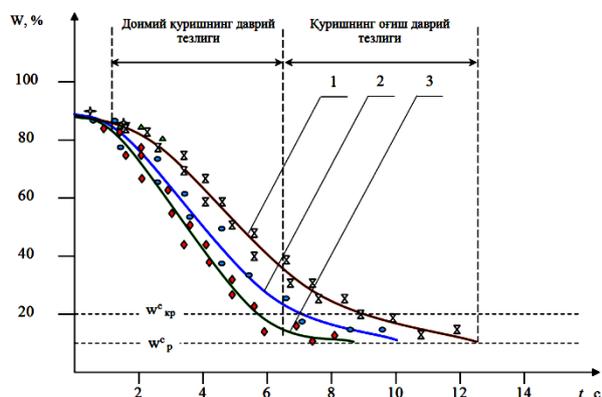


- 1-намуна қўйиш жойи; 2-рақамли индикаторли тарози; 3-маҳсулот учун идиш; 4-маҳсулот; 5-термометр; 6-ИҚ киздиргич; 7-вакуум камера; 8-пультли бошқаргич; 9-вакуумметр; 10-жўмрак; 11-иссиқлик алмашгич; 12-вакуум насос.

10-расм. Тажриба - синов лаборатория қурилмасининг схемаси

Амалий тадқиқотларни ўтказиш учун қуриш жараёнини турли режимларда назорат қилиш, керакли параметрларни қайд этиш, бошқариш усуллари амалга ошириш имконини берадиган инфрақизил нурлатгичли вакуум қуриш қурилмаси яратилди (10-расм). Топинамбур туганагининг «Мўъжиза» нави ва наъматак мевасини қуриш бўйича эгри чизиқларни олиш учун бир қанча тажриба ишлари олиб борилди. Тозаланган маҳсулот сабзавотларни кесувчи ускуна ёрдамида 2 мм қалинликда кесиб олинди, зангламайдиган турли идишларга бир текисда жойлаб чиқилди. Маҳсулот билан тўлдирилган идишлар вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуриш қурилмасига жойлаштирилди. Вакуум-камера эшиклари зич ёпиқ ҳолатда бўлади, камера ичидаги вакуум -0,8 атм гача вакуум-насос билан сўриб олинади, сўнгра иссиқкростлатгич ёрдамида ҳарорат 65°C қилиб белгиланади ва ИҚ нур ёрдамида қуриш қурилмаси ишга туширилади. Аввал 45 дақиқа давомида узлуксиз нурлатиш амалга оширилади, сўнг дискрет режимда қуриш жараёни давом эттирилади, 5 дақиқа давомида нурлатгичлар ишга туширилади, 25%

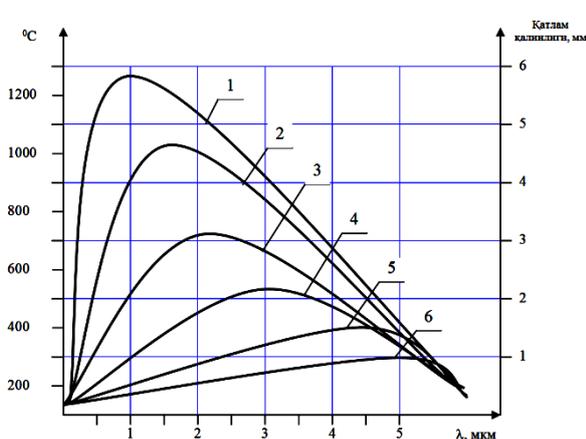
нурлатгичлар 15 дақиқа давомида ўчириб қўйилади. Бу циклни намлик 12% қолгунига қадар бажарилади. Қуритиш вақтининг умумий давомийлиги 10 соатни ташкил этади.



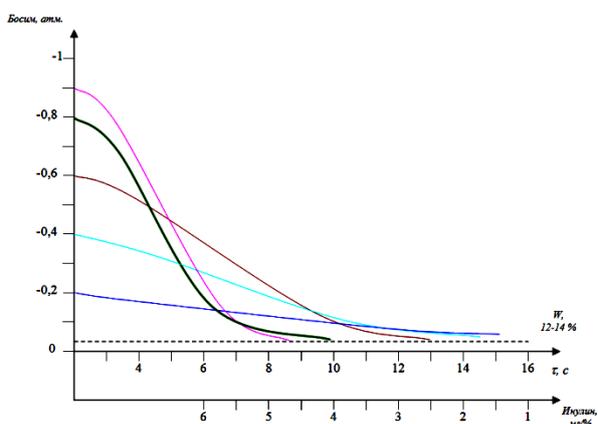
- 1-вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 50 °С; вакуум -0,8 атм.);
- 2-вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 65 °С; вакуум -0,8 атм.);
- 3- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 80 °С; вакуум -0,8 атм.)

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

Қуритишнинг доимий тезлиги намликнинг критик ҳолатигача давом этади $w^c_{кр}$ (11-расм, 16-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).

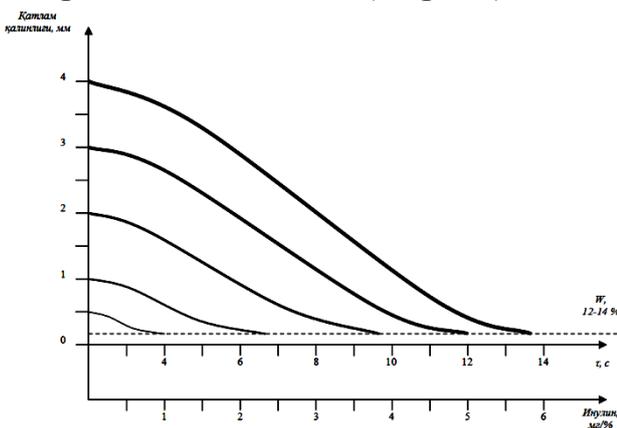


12-расм. Маҳсулотларни қуритиш учун ИҚ нурлатишнинг оптимал варианты

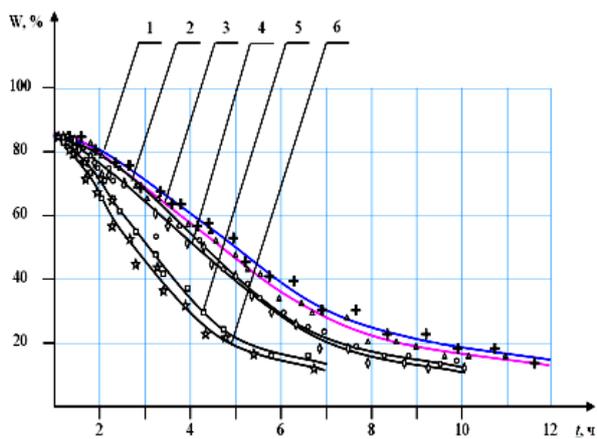


13-расм. Инулин моддасининг сақланиб қолишига атмосфера босими ва қуритиш жараёни давомийлигига боғлиқлиги (қуритиш шarti: 65 °С; бўлак қалинлиги-2

Юқори ҳароратда ИҚ нур тўлқин узунлиги қисқа бўлади, паст ҳароратда эса ИҚ нур тўлқин узунлиги узун бўлади. 500-600 °C ҳароратда ИҚ нур тўлқин узунлиги 2,8-3 мкм гача етади. 2 мм қалинликда қуритилаётган маҳсулот учун ушбу тўлқин узунлиги оптимал вариант ҳисобланади (12-расм).



14-расм. Инулин моддасининг сақланиб қолиши топинамбур туганагини кесиш қалинлиги ва қуритиш жараёнининг давомийлигига боғлиқлиги
(қуритиш шarti: -0,8 атм., 65 °C)



15-расм. Топинамбур туганагининг қуритиш эгри чизиғи
1-ИҚқиздириш 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.

Топинамбур туганагини қуритиш жараёни учун вакуум камерада босим -0,8 атм (13-расм) ва кесилган бўлақнинг оптимал қалинлиги 2 мм ни ташкил этади (14-расм).

Топинамбур туганаги бўлақлари ва майдаланган ҳолатида қуритиш жараёнини тезлаштириш мақсадида титратиш орқали қуритиш самарали ҳисобланади (15-расм). Бунда сувсизлантириш самарадорлиги 4-5% гача ортади.

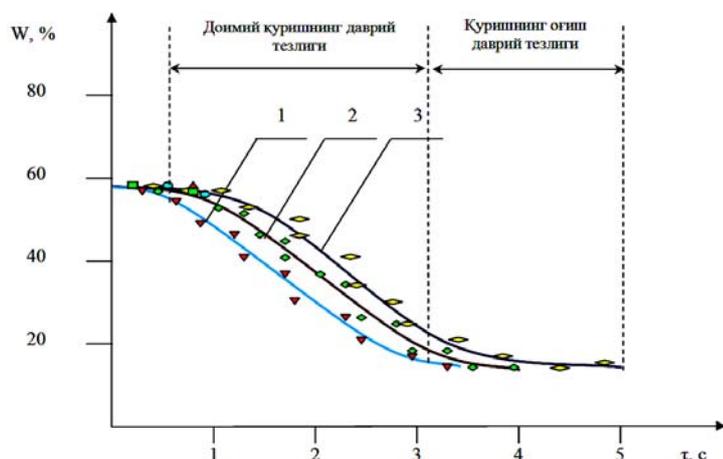
Шу ўринда, сувсизлантирилаётган материалнинг юза қатламида зарур бўлган намлик ва БФМ юқори даражада сақланиб қолишини таъминлаб бериш мақсадида топинамбур туганаги ва наъматак меваси дискрет режимда қуритиш бўйича тажриба синов ишлари ўтказилди.

Топинамбур туганаги таркибида инулин моддасини сақланиш миқдори таклиф этилаётган вакуум ИҚ-қуритиш усулида 45,4 мг% гача, конвектив қуритиш усулида 33,3 мг% гача ва маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан қўллаган усулда эса 8-9 мг% гача 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 қурилмасида тажриба синов ишлари ўтказилди. Наъматак мевасини қуритишдан олдин бегона моддалардан тозалаб ювилади. Сўнг наъматак меваси текис юзали тўр идишларга солинади. Тўлдирилган идишлар вакуум камерага жойланади, ИҚқиздирилади ва камера ичидаги вакуум -0,8 атм бўлади. Ишлаб чиқилган

параметрлар ўрнатилгандан сўнг қуритиш жараёни олиб борилади ва наъматак мевасини 12% намликача сувсизлантирилади, бунда наъматак меваси таркибида БФМларнинг юқори даражада сақланиб қолиши таъминланади. Тажриба натижалари 16-расмда келтирилган.

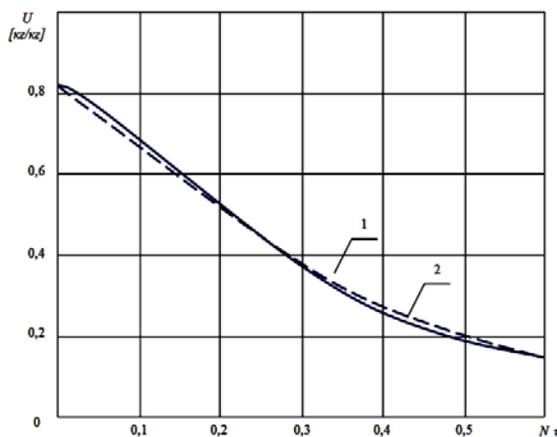


1- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 80 °С; вакуум -0,8 атм.); 2- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 65 °С; вакуум -0,8 атм.); 3- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 50 °С; вакуум -0,8 атм.);
16-расм. Наъматак мевасининг қуриш эгри чизиғи

Наъматак мевасининг қуритиш жараёни тадқиқотлари асосида турли қуритиш усуллари (куёшда 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, гелио қуритиш усулида 0,15 мг% гача, ИҚ қуритиш усулида 0,71 мг% гача, конвектив қуритиш усулида 0,12 мг% гача ва маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан қўллаган усулда 0,59 мг% гача аскорбин кислота миқдори сақланганлиги аниқланган. 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.

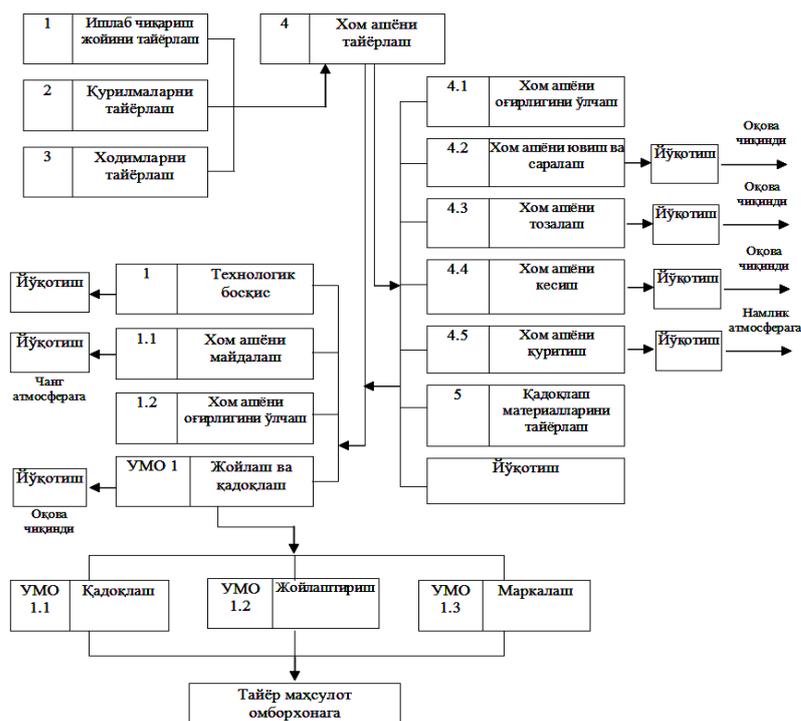
17-расм. Тадқиқот материалларини қуритишнинг умумлашган эгри чизиқлари

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 чизигиолинди (17-расм).

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

Қуритиш жараёнини иссиқлик техникаси принциплари асосида расмийлаштириш ва материалларнинг (портлаш хавфи, ёпишқоқлиги, 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 технологиясининг жараён ва қурилмаларини саноат шароитида татбиқ этиш» деб номланган тўртинчи бобида саноат шароитида ишлаб чиқариш мақсадида топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш технологик тизими ишлаб чиқилган (18-расм).

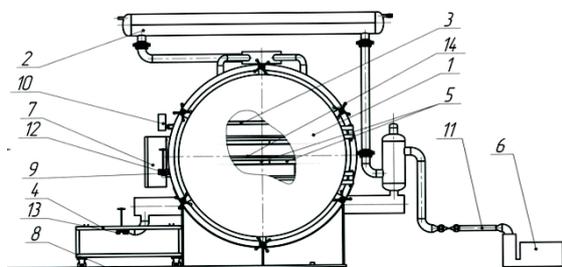


18-расм. Топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш технологик схемаси

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

19-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 ИҚқуритиш шкафи; 4-арава; 5-қайта ишланаётган маҳсулот учун идиш; 6-электродвигателли вакуум насос; 7-бошқарув блоки; 8- шкаф учун йўл; 9-ҳароратни ўлчаш учун термопара; 10-манометр; 11-юқори босим қувири; 12-ҳаво киритиш жўмраги; 13-конденсат чикариш жўмраги; 14-ИҚнурлатгич.

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

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

Ишлаб чиқилган тегирмон совуқ сув ва ҳаво ёрдамида корпусни совутувчи тизимга эга.

Ишлаб чиқилган технологик тизим «Доривор ўсимликлар» МЧЖ ва Абу Али ибн Сино номидаги ихтисослаштирилган давлат ўрмон хўжалигида жорий қилинган (18-расм). Ушбу технологик тизим орқали сифатли маҳсулот олишга эришилди; маҳсулотнинг бир меъёрда 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

«Топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қуритиш ва иссиқликни фаоллаштиришни замонавий ҳолати таҳлил қилиш натижасида инновацион ғояни ривожлантириш ва такомиллаштириш имконини берди. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларни вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш асосий усуллардан бири ҳисобланади.

2. Ўрганилаётган маҳсулотнинг капиллярларида намлик жойлашишини математик моделини ишлаб чиқилиши ва татбиқ этилиши, эриган моддаларнинг ички тарқалишини ҳисобга олиш зарур эканлиги кўрсатилди

ҳамда берилган бошланғич шароитларда қуритиш жараёни қонуниятлари динамикаси ички деворларнинг капилляр каналларида сорбция ва десорбция кўриниши билан изоҳланади. Ўрганилаётган маҳсулотнинг капиллярлари ички босими орасидаги нозик боғланишлар, ҳаракатнинг гидродинамик тезлиги, температура ҳамда маҳсулот зичлиги билан боғлиқ эканлиги келтирилди.

3. Математик моделлаштириш ўзгармас миқдор ўхшашликлари корреляцион коэффицентлари ва тажрибадаги статистик маълумотлар келтирилди.

4. Сувсизлантирилаётган манбага нурлантириш кучи таъсир этиши манба ва нурлантирувчи орасидаги масофага боғлиқлиги аниқланди ҳамда нурлатувчилар оралиғи ва вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш қурилмасида инфрақизил нурларни сувсизлантирилаётган маҳсулот юзасига бир текисда тарқалишига махсус жойлаштирилган конфигурацияли нур қайтаргич элементи ёрдамида эришилди.

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

6. Қуритилаётган маҳсулотнинг иссиқликтехник ва сорбцияланиш хусусиятларини татқиқ қилиш натижасида ИҚ нурланишли вакуум-қуритиш қурилмасида керакли иссиқлик даражаси ва қуритиш вақти маълум бўлди. Лаборатория қурилмасида ўтказилган тадқиқот натижаларига асосан вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси ҳисоблаш усули бажарилди.

7. Маҳсулотларни вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш жараёни учун берилаётган қувват катталиги муқобиллаштириш зарурлиги кўрсатилди. Маҳсулотнинг мақбул қалинлиги ўртача $2-2,5 \text{ мм}$ эканлиги, мақбул тўлқин узунлиги 3 мкм эканлиги белгиланди, ушбу ҳолатда вакуум $-0,8 \text{ атм}$ ташкил қилади, маҳсулотни қуритиш ҳарорати $65-70^\circ\text{С}$ дан ошмади, маҳсулотнинг сувсизланиш вақти мумкин бўлган катталикни ташкил қилиши кераклиги белгилаб берилди.

8. Технологик жараёнда титраш таъсирини тажриба изланишларда ўрганиш натижаларига кўра сувсизлантиришнинг самарадорлиги маълум частота ва амплитудада узлуксиз қиздириш шароитида $4-5\%$ гача ошди. Топинамбур майдаланган ҳолатда вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритишда инулиннинг сақланиши $45,4 \text{ мг}\%$ гача ва топинамбур туганаги бўлақларида $38,75 \text{ мг}\%$ гача ташкил қилиши ва ушбу ҳолатда наъматак меваси эти таркибида вакуум ИҚ қиздириш орқали қуритилганда $0,77 \text{ мг}\%$ гача аскорбин кислотаси сақланиши наъматакнинг меваси уруғида $4,0 \text{ мг}\%$ гача аскорбин кислота сақлангани маълум бўлди.

9. Қуритиш жараёнида вакуумда ИҚ қиздиришни $60-70^\circ\text{С}$ оширмаган ҳолда нур қайтаргичдан фойдаланиш орқали ишлаб чиқариш қувватининг ошишига ва энергия сарфини $10-12\%$ гача камайтиришга эришилди,

витами́нлар таркибини ва бошқа биологик фаол моддаларни 80-90%гача (инулин ва аскорбин кислота) маҳсулот таркибида сақланиши аниқланди.

10. Вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш қурилмаси ва болғали тегирмонни қўллаш орқали топинамбурдан кукун оладиган технологик тизим модернизициялаштирилди. Майдаланган наъматак мевасини қисмларга (эти, уруғи, туки) ажратиш учун аэродинамик сепаратор ишлаб чиқилди ва жорий қилинди. Олинган натижалар асосида топинамбур туганагининг «Мўъжиза» навидан ва наъматак мевасидан кукун ишлаб чиқаришнинг технологик регламенти ишлаб чиқилди ва саноатга тавсия этилди.

11. 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 ҳамда Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлиги тизимига кирувчи корхоналарга жорий этилди («Ўзфармсаноат» давлат акциядорлик концернининг 11.30.2015 йилдаги №МД-06/1868-сонли ҳамда 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 ошиши ҳисобига умумий ўртача йиллик иқтисодий самара 233 млн. сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК 14.07.2016.Т.08.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

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 по адресу www.tkti.uz и информационно-образовательном портале ZIYONET по адресу www.ziyonet.uz.

Научный консультант: **Норкулова Карима Тухтабаевна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович**
академик АН РУз, доктор технических наук,
профессор

Курбонов Жамшид Мажидович
доктор технических наук, профессор

Баракаев Нусратилла Ражабович
доктор технических наук

Ведущая организация: **Бухарский инженерно-технологический институт**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2016 г. в «__» часов на заседании научного совета 14.07.2016.Т.08.01 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: 100011, г. Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-21; факс: (99871) 244-79-17; e-mail: tkti_info@mail.ru.

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ташкентского химико-технологического института за № ____, с которой можно ознакомиться в ИРЦ (100011, г. Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-21.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2016 года.
(протокол рассылки № ____ от «__» _____ 2016 г.).

С.М.Туробжонов

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

А.С.Ибодуллаев

Ученый секретарь научного совета по присуждению учёной степени доктора наук, д.т.н., профессор

К.О.Додаев

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. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН, в 2050 году для удовлетворения спроса на продовольствие годовой объем мирового производства сельскохозяйственных культур и продукции животноводства должен возрасти на 60% по сравнению с уровнем 2006 года¹. В мире ежегодно из-за порчи образуются потери зерновых продуктов на 30%, корнеплодов, фруктов и овощей на 40-50%, масличных культур, мяса и молочных продуктов на 20% и рыбы на 35%².

В годы независимости особое внимание уделяется выращиванию и эффективному развитию отрасли, перерабатывающей сельскохозяйственную продукцию. Вследствие проведенных в этом направлении программных мероприятий, в том числе, по обеспечению качественной переработки продукции сельского и лесного хозяйств, ощутимые результаты достигнуты в производстве импортозамещающей и экспортоориентированной пищевой и фармацевтической продукции. В 2015 году в стране выращено 200,3 т клубней топинамбура и 199,2 т плодов шиповника³. Одним из широко распространённых методов переработки этих продуктов считается их сушка.

Сегодня важной задачей мирового масштаба является разработка техники и технологии переработки продукции сельского и лесного хозяйств, в том числе топинамбура и шиповника, особое внимание уделяется совершенствованию способов переработки сырья путём применения новых технологий, с учётом результатов научных исследований в этой сфере, ориентированных на сохранение биологически активных веществ в составе готовой продукции. Следует обосновать соответствующие научные решения и рекомендации, направленные на совершенствование способов сушки и разработки технологии получения высококачественных продуктов, в том числе необходимо: разработать технику и технологию переработки топинамбура и шиповника с сохранением биологически активных веществ в составе конечных продуктов, разработать математическую модель распределения микроэлементов в процессе сушки, исследовать и формализовать процесс теплообмена с учетом изменения тепла при инфракрасном (ИК) нагреве и нелинейных явлений передачи тепла, а также изучить активность тепла в продукте в ходе сушки, разработать вакуум-сушильную установку с ИК нагревом и мельницу для получения порошка из высушенного продукта. Актуальность и востребованность темы диссертации подтверждается реализацией научных исследований в этом направлении.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан ПП-1047 от 26 января 2009 года «О дополнительных мерах по

¹ Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Изменение климата, сельское хозяйство и продовольственная безопасность. Рим, 2016. – 210 с.

² Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global initiative on food loss and waste reduction 2015. Rome, 2015. -8 p.

³ Сведения АК «Узфармсаноат» №НИ-06/1944 от 2016 года 27 октября.

расширению производства продовольственных товаров и насыщению внутреннего рынка» и ПП-1633 от 31 октября 2011 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию организации управления и развитию пищевой промышленности республики в 2012-2015 годах», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды» и VI. «Медицина и фармакология».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации⁴. Научные исследования, направленные по методам сушки капиллярно-пористых пищевых продуктов и сохранению в них биологически активных веществ, а также методам математического моделирования и разработке устройств и технологий, проводятся в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, University of Georgia (США), 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 (Турция), 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).

В результате исследований, проведенных в мире с целью повышения эффективности процесса сушки и получения качественных продуктов, получен ряд научных результатов, в том числе: определены физико-химические изменения в процессе получения порошков овощей и фруктов высушенных с помощью потока воздуха (University of Georgia); разработана технология сушки пищевых продуктов с помощью тёплого воздуха и охлаждения (Laval University); выявлены 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); определено влияние вакуума на процесс сушки продуктов (Federal University of Santa Catarina); определено влияние инфракрасных лучей на процесс сушки (University of Extremadura); создан метод сохранения 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 потоком горячего воздуха (National University of La Plata); определены

⁴ Обзор по теме диссертации разработано на основе зарубежных www.uga.edu; www2.ulaval.ca; www.dil-ev.de; www.en.ufsc.br; www.unex.es; www.atauni.edu.tr; www.metu.edu.tr; www.mutah.edu.jo; www.unlp.edu.ar; www.asu.lt; www.mgupp.ru; www.kniihpsp.ru и других источников.

изменения качества топинамбура в процессе переработки и хранения (Aleksandras Stulginskis University).

В мире в сфере производства функциональных пищевых продуктов проводятся исследования по ряду приоритетных направлений, в том числе: сохранению качества продукта с помощью сушки; сушке продуктов с применением инфракрасных лучей; разработке пищевых продуктов с высоким содержанием биологически активных веществ; совершенствованию способов сушки продуктов (конвективной, кондуктивной, инфракрасной, ультравысокой частотой); определению внутреннего давления сушильной камеры (атмосферной, вакуумной, сублимационной); разработке методов движения агента сушки (естественного, принудительного); совершенствованию методов сушки по виду обезвоживаемого продукта (твёрдого, жидкого и пастообразного).

Степень изученности проблемы. Как показали результаты обзора литературы, с давних времен уделялось большое внимание совершенствованию процесса сушки. В частности, А.В.Лыков, А.С.Гинзбург, С.Г.Ильясов, И.Б.Левитин, З.С.Салимов, О.Ф.Сафаров проводили исследования, направленные на разработку теории процесса сушки, изучение влияния инфракрасных лучей на процесс сушки.

Узбекские ученые А.А.Артиков, К.О.Додаев, Х.Ф.Джураев, З.С.Искандаров, Д.Н.Мухиддинов, Ж.М.Курбанов, Б.И.Мухамедов, К.Т.Норкулова, Х.С.Нурмухамедов, Р.Х.Рахимов, Б.П.Шаймардонов, Н.Р.Юсупбеков проводили результативные исследования по совершенствованию процессов и аппаратов в пищевой промышленности, ими разработаны эффективные технологии.

S.Paes, E.Karacabey, Ch.M.Ben, A.Natalia, Ghaid Jameel Al-Rabadi, A.G.Ghiaus, C.Marquez, Saliha Erinturk, A.Ruiz Celma, C.Ratti, H.Kunzek, K.Veerachandra проводили научные исследования по производству продуктов с требуемым биоактивным качеством, ими усовершенствованы процессы сушки. Заслуживают внимания исследования И.В.Алтухова, Р.И.Шаззо, И.А.Зуева, П.Д.Лебедева по методам сушки материалов, теплообменным процессам, совершенствованию установок и процесса сушки и получению качественного конечного продукта.

В данной диссертационной работе впервые проведен сравнительный анализ методов обработки изотерм сорбции и десорбции и обоснована целесообразность выбора метода ортогональной регрессии в виде уравнения Поснова, отражающего распределение микроэлементов в продуктах за счет управления процессом сушки при получении высококачественной продукции, разработана конструкция мельницы с охлаждающей системой для получения порошка из сахарсодержащих продуктов, определено значение параметра вакуума и оптимальная температура сушки в вакуумной установке с ИК-нагревом для сушки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биоактивных веществ и заложены научные основы применения результатов работы на практике в промышленном производстве.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных и инновационных проектов Ташкентского государственного технического университета по теме: ИОТ-2013-6-08 - «Получение чая и масла из плодов шиповника с высоким содержанием биологически активных веществ» (2013-2014 гг.), 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 экспортоориентированной экологически чистой продукции» (2012-2014 гг).

Целью исследования является совершенствование технологии 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:

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

выявить закономерности теплообмена в ходе процесса сушки с учетом нелинейных явлений, динамики теплового лучистого инфракрасного нагрева и тепловой активации исследуемых материалов;

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

осуществить моделирование и оптимизацию процесса вакуумной сушки долек топинамбура и плодов шиповника в электромагнитном поле ИК-диапазона, разработать рациональный выбор места 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, определить эффективные технологические режимы;

определить рациональные режимы ИК-нагрева, уменьшить энергетические потери, с позиций системного анализа выявить основные параметры и их взаимовлияние на технологические режимы переработки и сушки;

разработать конструкцию опытно-промышленного образца мельницы и аэродинамического сепаратора для получения порошка из сушеных клубней топинамбура и плодов шиповника;

осуществить промышленное воплощение результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования.

Объектом исследования является продукция сельского и лесного хозяйств – клубни топинамбура и плоды шиповника, с обеспечением сохранности биологически активных веществ в их составе.

Предмет исследования – вакуум-сушильная установка с излучателями электромагнитного поля ИК-диапазона, закономерности, свойственные обезвоживанию, техника и технология сушки.

Методы исследования. В диссертации применена методология математического моделирования и оптимизации технологических процессов. Адекватность математической модели реальному процессу проверена экспериментами на физической модели.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определена кинетика процесса сушки клубней топинамбура и плодов шиповника в вакуумной-сушильной установке с ИК-нагревом;

обоснована модель движения влаги в капиллярах пор и процесса распределения микроэлементов в продуктах за счет управления процессом сушки при получении высококачественной продукции;

определена передача тепла и влаги во внутренних слоях материала в условиях низкого вакуума с ИК-нагревом и выявлены специфические особенности нелинейного распространения тепла в условиях дискретных режимов процесса сушки;

обосновано сравнительный анализ методов обработки изотерм сорбции и десорбции целесообразность выбора метода ортогональной регрессии в виде уравнения Поснова;

разработана конструкция мельницы с охлаждающей системой для получения порошка из сахаросодержащих продуктов;

определено давление вакуума и оптимальная температура сушки в вакуумной установке с ИК-нагревом для сушки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биоактивных веществ.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе результатов теоретических и практических исследований разработана вакуумная сушильная установка с ИК-нагревом;

с учетом теплофизических свойств исследуемых материалов предложена эффективная технология переработки клубней топинамбура и плодов шиповника в вакуумной инфракрасной сушилке с отражателем, позволяющая установить технологические параметры процесса сушки;

обоснованы рациональные места расположения ИК-излучателей и способы обеспечения равномерного инфракрасного облучения обезвоживаемых продуктов с помощью специальных отражателей с целью экономии электроэнергии и сокращения времени сушки;

на основе изучения закономерностей технологии сушки разработан оптимальный способ сушки в вакууме с ИК-излучением с использованием нелинейной модели динамического вида процесса переработки клубней топинамбура и плодов шиповника;

выявлен механизм ускорения процесса сушки до 4-5% за счет применения вибрации высушиваемых продуктов в поле электромагнитных волн ИК-диапазона;

полученные результаты применены при создании упрощенных установок с низким удельным расходом энергии для пищевой и

фармацевтической промышленности, фермерских и лесных хозяйств;

достигнута минимизация потерь инулина при конвективном способе сушки, в частности, его остаточного количества до 33,3 мг%, при способе отечественного производителя до 8-9 мг%, в то время как при предлагаемом способе этот показатель достиглий до 45,4 мг%;

установлено, что остаточное количество аскорбиновой кислоты в сушеном шиповнике доведено – до 0,77 мг%, в то время как при гелиосушке – до 0,15 мг%, при ИК-сушке – до 0,71 мг%, при конвективной сушке – до 0,12 мг% и при способе используемом производителем – до 0,59 мг%;

разработана программа исследования процесса сушки в среде C++ Builder 6.0, которая зарегистрирована в АИС РУз №DGU 03533 от 12.02.2016 г.;

разработаны и утверждены технические условия эксплуатации вакуум ИК-сушильной установки;

разработан и утвержден ГАК «Узфармсаноат» временно рекомендованный технологический регламент на производство порошков из клубней топинамбура и плодов шиповника.

Достоверность результатов исследования. Для математического моделирования использованы исходные экспериментальные результаты, полученные с помощью измерения высокоточными приборами, компьютерное моделирование выполнено при помощи современной операционной среды MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0 Windows XP, Microsoft Excel, получены регрессионные уравнения, представляющие собой статистическую модель исследуемого процесса.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований объясняется тем, что разработана эффективная технология комплексной переработки клубней топинамбура и плодов шиповника в вакуумной ИК-установке с максимальным уровнем сохранения биологически активных веществ в исходном сырье.

Практическая значимость работы заключается в реализации ресурсо- и энергосберегающих технологических линий для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биологически активных веществ в исходном сырье, минимизации потерь в ходе переработки материала.

Внедрение результатов исследования. На основании научных результатов, полученных по обоснованию метода сушки:

получен патент на изобретение способ сушки клубеньковых продуктов Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (23.07.2014 г. №IAP 04936). В результате научного исследования с помощью сушки сырья имеется возможность получить продукт с сохранением биологическими активными веществами;

технология переработки клубней топинамбура и плодов шиповника при сохранении биологически активных веществ внедрена в государственном акционерном концерне «Узфармсаноат» и на предприятиях, входящих в систему Министерства сельского и водного хозяйства

(справка государственного акционерного концерна «Узфармсаноат» 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 установки повысилась до 20%.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на следующих научно-практических и международных конференциях: «Иновация» (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 46 научных работ. Из них 2 монографии, получен 1 патент на изобретение, 16 научных статей, в том числе 8 в республиканских и 8 в зарубежных журналах рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 200 страниц.

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 и способов сушки, получивших распространение в агропромышленном комплексе страны, можно заключить, что существуют научно-технические проблемы, требующие создания новых промышленных способов сушки клубней топинамбура и плодов шиповника.

Во второй главе диссертации «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 явлений 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 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

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

где μ, q – коэффициенты.

После разложения в ряд Тейлора имеем:

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu t} \mu t + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu x} qx \right). \quad (2)$$

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, $S = \pi R^2(t)$ и $\frac{S_t}{S} = \lambda - const$. 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

$$C = \left(\frac{\rho_0 \gamma}{\rho_0 \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S_0}{S} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (3)$$

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:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(V\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где h - коэффициент диффузии внутри обезвоживаемого объекта.

Для квазиравновесного случая имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]}. \end{cases} \quad (5)$$

Уравнения (5) 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 образуются микротрещины, что 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 (4) с помощью метода последовательных приближений.

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

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

Вместо ρ_f введем $\rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}}$; из (5) получим

$$\frac{\partial \rho_f^x}{\partial t'^2} + c^* \frac{\partial \rho_f^x}{\partial x'^2} = h^* \frac{\partial^2 \rho_f^*}{\partial x'^2}, \quad (6)$$

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

В дальнейшем будет опускаться штрихи с целью сокращения записи, но при этом имеются в виду безразмерные динамически переменные (6). Введем обозначения

$$\begin{aligned} n_f &= N_f^* N_f, \quad n_f = \rho_f, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} &= h \frac{\partial n_i}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (7)$$

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

Решение нелинейного уравнения (7) осуществляется с помощью метода последовательных приближений.

Пусть $n = n_0(x, t)$ – решение линейного приближения, т.е. решение уравнения (7), 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:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (8)$$

Для (8) имеем

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (9)$$

где ΔR - получим из (5).

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.

Результаты использования метода свертки функций для приближенной и аналитической аппроксимаций при решении рассматриваемых уравнений.

$$n = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} F \left[\xi - \frac{V}{1+R(n)} \right] \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2\pi h(t-\tau)}} d\xi d\tau + O \left[h(t-\tau) \cdot \frac{V}{1+R} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

Используя метод свертки функций для приближенной и аналитической аппроксимаций при решении рассматриваемых уравнений (8) и используя аппроксимационную формулу Лапласа для свертки функций, получим:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1+R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (11)$$

где $F = (n_0)_{xx}$.

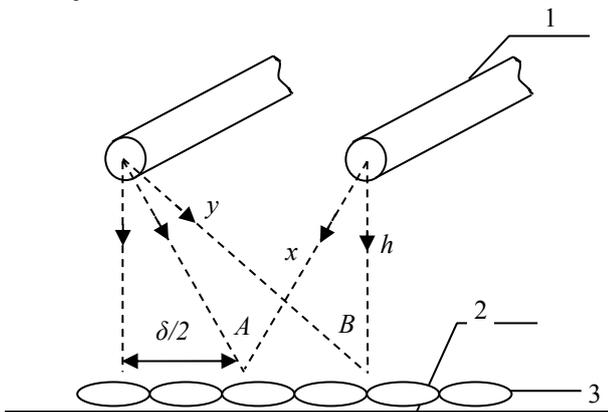
Данное уравнение позволяет в достаточной степени учитывать эффекты нелинейности.

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

На основе планирования экспериментов изучено влияние внешних

факторов (ИК-волн, вибраций, уровня вакуума) на процесс сушки. На основе обработки статистических данных проведенных экспериментов получены математические модели. Установлены коэффициенты корреляции сушки $r_{1r}=0,84$; $r_{2r}=0,85$; $r_{3r}=0,85$ и энергозатрат $r_{1Q}=0,83$; $r_{2Q}=0,83$; $r_{3Q}=0,63$.

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

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

Для сравнения облучаемых точек А и В 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 ($Вт$) 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 А направлена мощность облучения $\frac{2I_0}{x^2}$, а в точку В – 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 А и В имеем:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}} \quad (12)$$

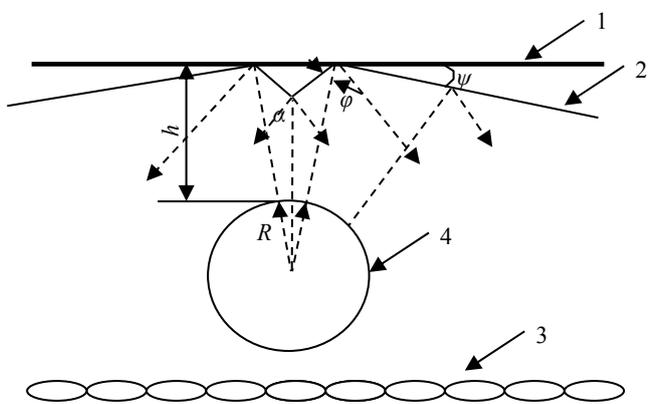
Используя обозначение $\xi = \frac{x}{h}$,

получим

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0, \quad (13)$$

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

Равенство (13) показывает, что при всех значениях ξ оно не равно нулю, т.е. равенство не выполняется, поскольку дискриминант отличен от нуля. Это свидетельствует о



1–направляющая рама; 2–отражатель; 3–сырье; 4–ИК трубка.
Рис.2. Схема фигурного отражателя

невозможности равномерного инфракрасного облучения с помощью обычных дискретных трубочек. Данное 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 $\varphi_{max}=27,4^0$; $\varphi_{min}=18,3^0$; $\psi \leq (\varphi_{max}-\varphi_{min})=19,1^0$ (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 400мм достигается равномерное облучение и максимальное использование излучающей поверхности.

Третья глава диссертации «**Экспериментальное исследование процессов сушки на опытной модельной установке**» посвящена изучению теплотехнических характеристик сорбции и десорбции паров воды образцами исследуемого клубней топинамбура сорта «Мужиза» и плодов шиповника при температуре 293 К. Полученные данные приведены на рис.3.- рис.4. На основе изотерм сорбции паров воды образцами топинамбура и плодов шиповника по уравнению Брунауэром, Эмметом и Тейлором (БЭТ) были вычислены емкость монослоя, удельная поверхность, суммарный объем пор и радиус капилляров. 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 объекта 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 $0,390 \text{ см}^3/\text{г}$.

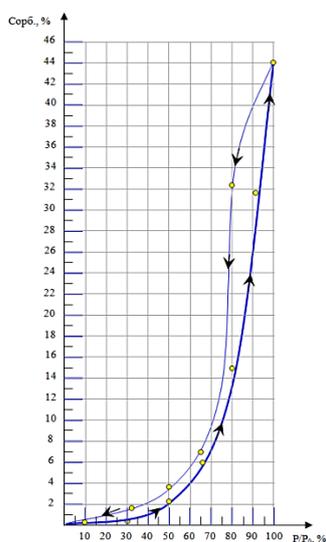


Рис.3. Кривые изотерм сорбции и десорбции топинамбура

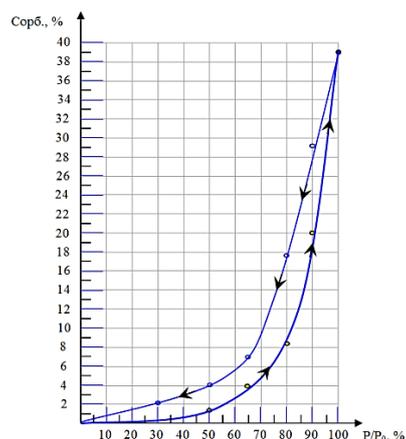


Рис.4. Кривые сорбции и десорбции плодов шиповника

На основании результатов проведенных исследований явлений сорбции и десорбции паров воды образцами топинамбура и шиповника определены параметры капиллярно-пористой структуры. На основании результатов проведенных исследований изотерм сорбции и десорбции топинамбура и шиповника были определены: x_m —емкость монослоя, $S_{уд.}$ —удельная поверхность, W_0 —суммарный объем пор, r_k —радиус капилляра. Эти данные позволяют определить время сушки и формы связи влаги с исследованными материалами.

Получаемые экспериментальные результаты по изучению гигроскопических свойств исследуемых материалов обрабатываются с помощью уравнения Поснова:

$$\varphi = e^{\left(\frac{1}{w_p} - \frac{1}{w_r}\right) / B} \quad (14)$$

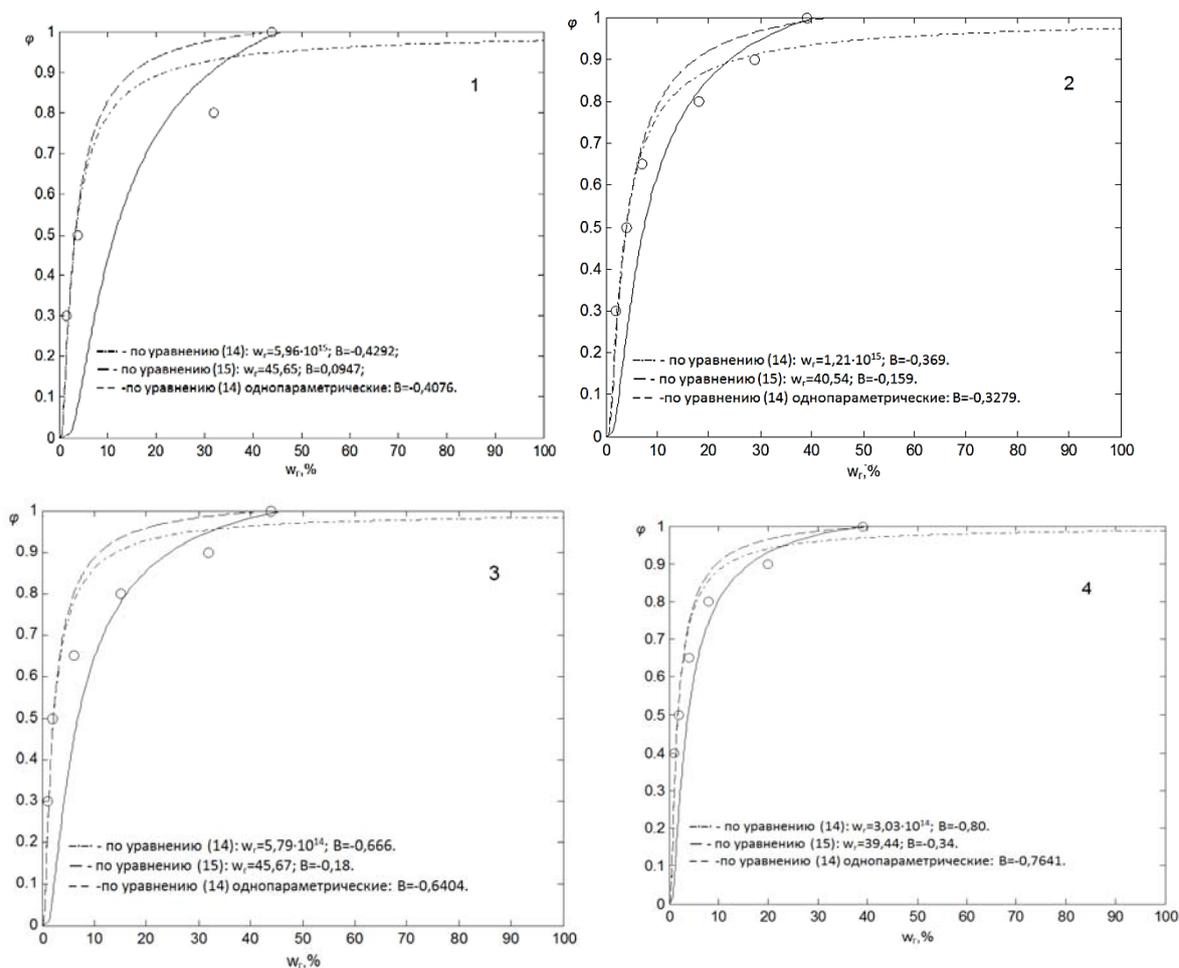
$$w_p = \frac{1}{B \ln \varphi + \frac{1}{w_r}}, \quad (15)$$

где w_r —гигроскопическая влажность, %; B —коэффициент, учитывающий физические свойства материала.

Вычисления показали, что вышеописанные особенности обработки данных подтверждены в выраженной форме. Так для топинамбура при температуре 293 К получены численные значения параметров уравнения (14) $w_r=5,96 \cdot 10^{15}\%$, $B=-0,4292$. А по формуле (15) нелинейное оценивание дает следующие результаты $w_r=45,65\%$, $B=-0,0947$.

Если даже зафиксировать $w_r=44\%$ в соответствии с экспериментальными данными, то по однопараметрической модели (14) получается $B=-0,4076$ и существенное отличие закономерностей по формулам (14) и (15) только усиливается.

На рис.5 приведены результаты обработки данных по однопараметрической модели.



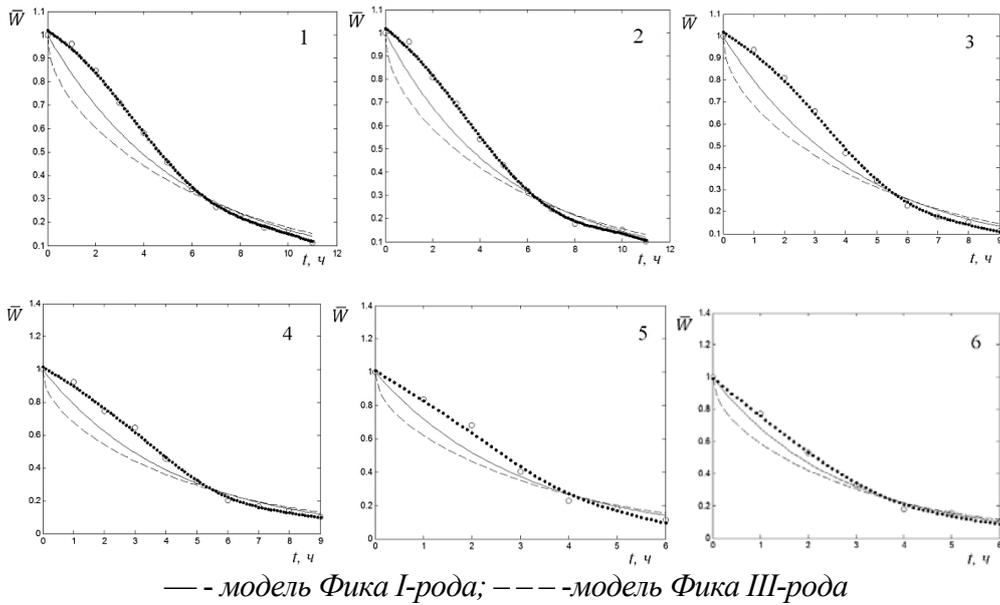
1- изотермы десорбции топинамбура; 2- изотермы десорбции шиповника; 3-изотермы сорбции топинамбура; 4- изотермы сорбции шиповника

Рис.5. Результаты расчетов изотермы сорбции и десорбция топинамур и шиповника по модели Поснова

При неизменных значениях температуры процесса кинетику сушки можно рассматривать через диффузионное уравнение Фика с соответствующими начальными и граничными условиями. Для описания процесса математическими выражениями уравнение Фика, выражающее значение влагосодержания, необходимо привести к безразмерному виду при помощи следующей формулы:

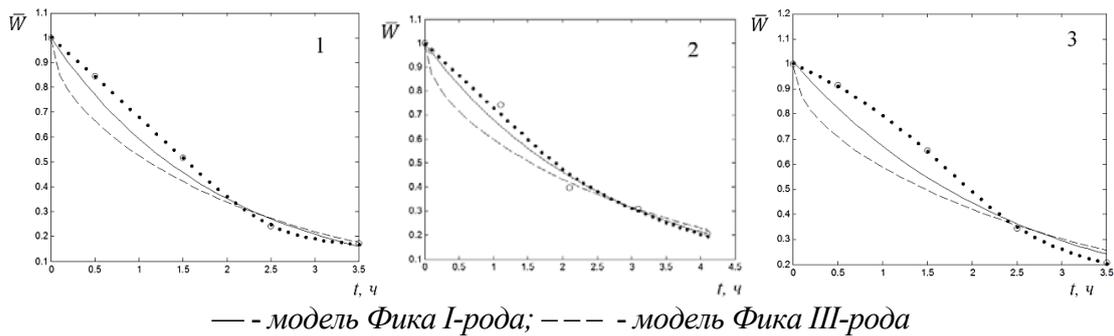
$$\bar{W} = \frac{W - W_p}{W_n - W_p}, \quad (16)$$

При принятии граничных условий I-рода отношения коэффициента диффузии влаги к квадрату определяющего размера определили методом наименьших квадратов при помощи специальной программы с подпрограммами решения дифференциальных уравнений в частных производных с достаточным количеством экспонентов в решении.



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 воздействием вибрации; 6-кривая сушки измельчённой массы топинамбура в вакууме с ИК-нагревом и воздействием вибрации

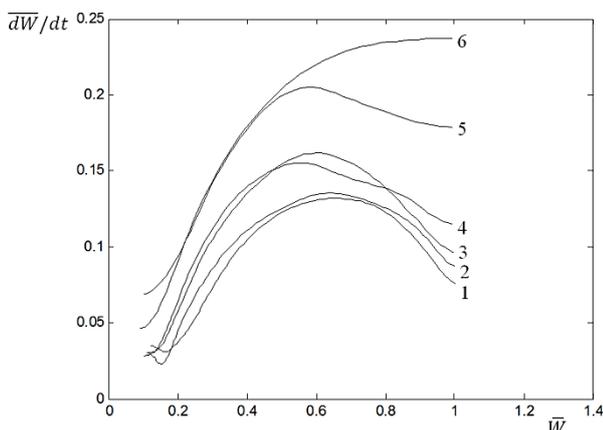
Рис.6. Кинетические закономерности сушки топинамбура



1-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 50⁰С; вакуум -0,8 атм);
2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65⁰С; вакуум -0,8 атм);
3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80⁰С; вакуум -0,8 атм).

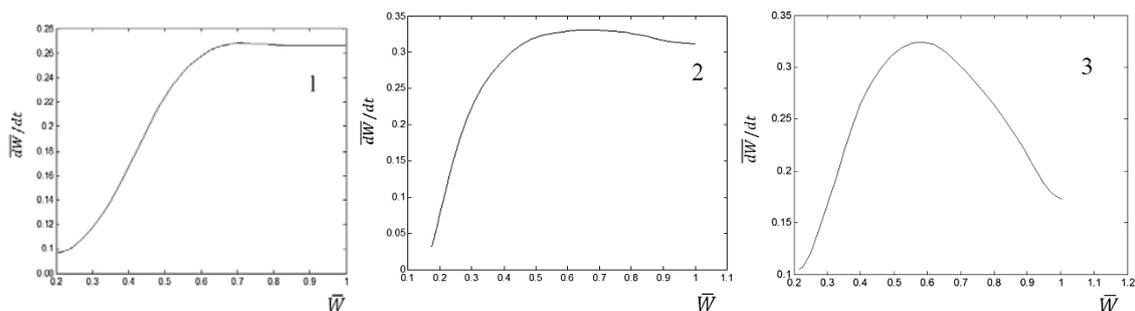
Рис.7. Кинетические закономерности процесса сушки плодов шиповника

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает (рис.6 штриховая линия), что необходимо учитывать коэффициент массообмена между фазами (рис.6-7).



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 воздействием вибрации; 6-кривая сушки измельчённой массы топинамбура в вакууме с ИК-нагревом и воздействием вибрации

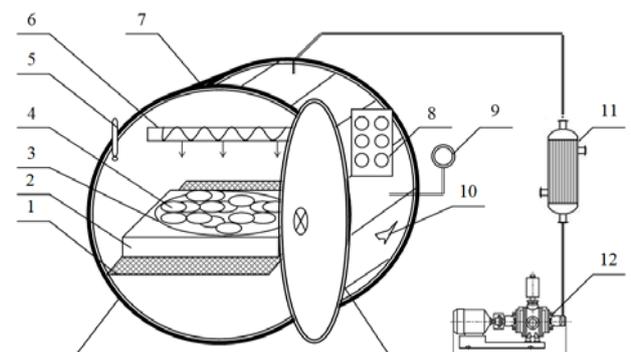
Рис.8. Кривые скорости сушки топинамбура



- 1-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 50⁰С; вакуум -0,8 атм);
 2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65⁰С; вакуум -0,8 атм);
 3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80⁰С; вакуум -0,8 атм).

Рис.9. Кривые скорости сушки плодов шиповника

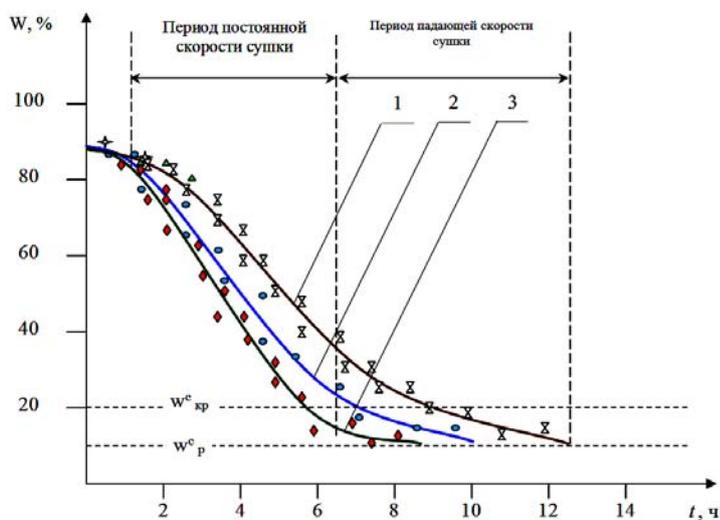
Произведенная количественная формализация интенсивности сушки при различных режимах сушки позволяет сопоставить их: по интенсивности как внутренней диффузии, так и внешнего массообмена путем расположения в ряд, указанном в рис.9. По значениям критерия Био можно констатировать, что ИК-вакуум сушка решает проблемы, связанные с лимитирующей внутренней диффузией сушки. Дальнейшее совершенствование сушки в технологическом и конструктивном планах основывается на интенсификации внешнего обмена на границах частиц и слоев материала.



- 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.10. 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.10). 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 нержавеющих 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 50⁰С; вакуум -0,8 атм.); 2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65⁰С; вакуум -0,8 атм.); 3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80⁰С; вакуум -0,8 атм.)

Рис.11. Кривые сушки клубней топинамбура сорта «Мужиза»

Период постоянной скорости сушки продолжается до критического влагосодержания $w^c_{кр}$ (рис.11, рис.16), при котором внутри- и внешне диффузионное сопротивления равны. Поэтому критическое влагосодержание можно определять как среднее интегральное влагосодержание материала, при котором на поверхности достигается максимальное гигроскопическое влагосодержание и начинается период падающей скорости сушки (или второй период сушки).

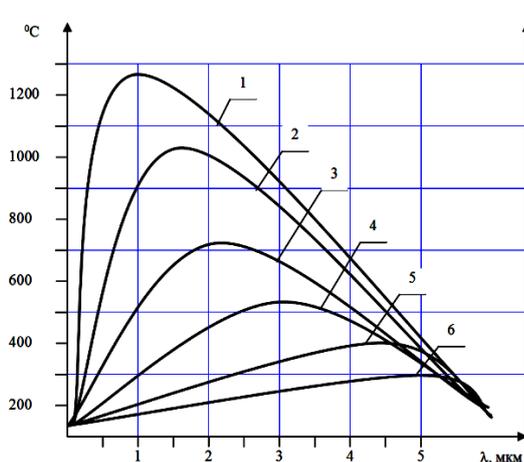


Рис.12. Оптимальный вариант ИК-излучения для сушки продуктов

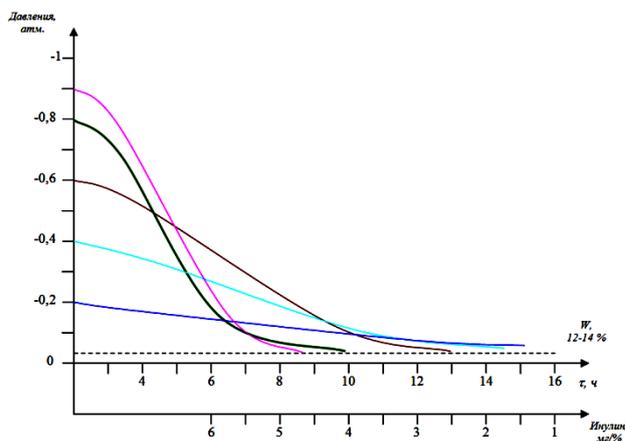


Рис.13. Зависимость сохранения инулина от атмосферного давления и продолжительности процесса сушки (условия сушки: 65⁰С; толщина дольки-2 мм)

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 мм (рис.12).

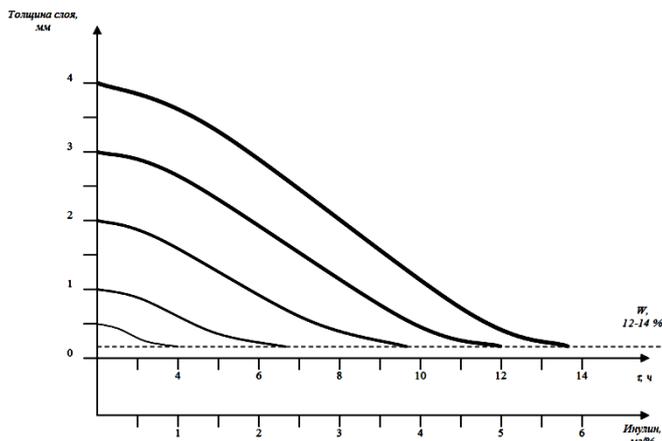


Рис.14. Зависимость сохранения инулина от толщины нарезанных клубней топинамбура и продолжительности процесса сушки (условия сушка: -0,8 атм., 65 °С)

Для проведения процессов сушки клубней топинамбура установлен вакуум в камере -0,8 атм. (рис.13) и оптимальная толщина нарезанного слоя - 2 мм (рис.14).

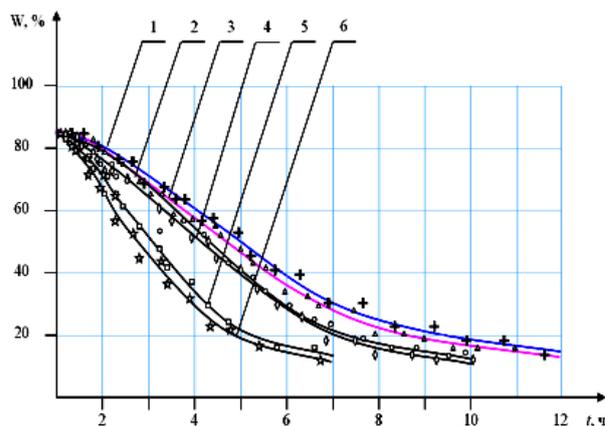
Одним из способов интенсификации сушки в слое является вибрация, примененная при проведении экспериментов по сушке клубней топинамбура в виде долек и измельчённой массы (рис.15). При этом эффективность обезвоживания возрастает до 4-5%.

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

Определено, что сохранность инулина в составе клубней топинамбура, его остаточное количество составляет при предлагаемом способе - вакуумной ИК-сушке до 45,4 мг%, при конвективном способе до 33,3 мг%, а при способе отечественным производителем до 8-9 мг%.

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

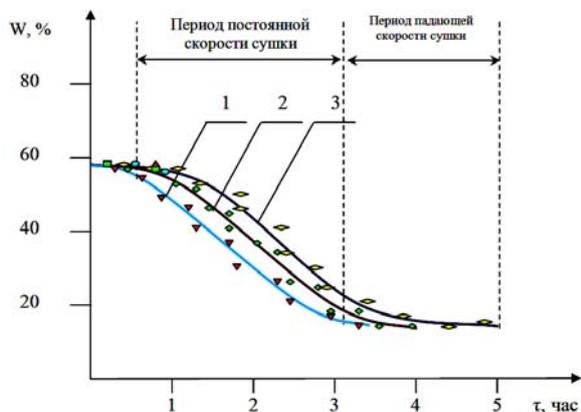
Были проведены экспериментальные исследования сушки плодов шиповника на вакуум-инфракрасной установке. Перед сушкой плоды шиповника тщательно очищаются от инородных веществ и моются. Затем шиповник раскладывают на плоской поверхности сеточных поддонов. Наполненные сырьем поддоны закладывают в вакуум-камеру, включают ИК-нагрев на



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 воздействием вибрации; 6-кривая сушки измельчённой массы топинамбура в вакууме с ИК-нагревом и воздействием вибрации.

Рис.15. Кривые сушки клубней топинамбура

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.16.



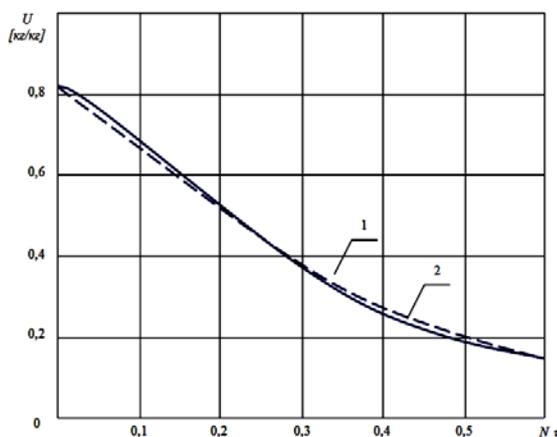
1-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80°C ; вакуум $-0,8$ атм.);
 2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65°C ; вакуум $-0,8$ атм.); 3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 50°C ; вакуум $-0,8$ атм.)

Рис.16. Кривые сушки плодов шиповника

На основе исследований процесса сушки плодов шиповника разными способами сушки (гелиосушка, конвективная и вакуумная ИК-сушка) найден рациональный вариант процесса, обеспечивающий высокую сохранность витаминного состава плодов шиповника. Также определено что, при предлагаемом способе вакуумной ИК-сушки обеспечивается показатель до $0,77$ мг%, гелиосушке до $0,15$ мг%, ИК-сушке до $0,71$ мг%, конвективной сушке до $0,12$ мг% и при способе отечественным производителем до $0,59$ мг%. В составе же фракции семян плодов шиповника при вакуумной ИК-сушке содержится аскорбиновая кислота на уровне $-4,0$ мг%.

Кривым 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 при использовании вакуум-инфракрасной установки в составе сырья максимально сохраняются витамины плодов шиповника.



1-экспериментальная, 2-расчетная.

Рис.17. Обобщенные кривые сушки для исследуемых материалов

Пользуясь сорбционными и другими свойствами материалов (клубней топинамбура и плодов шиповника) и по известной методике построена расчетная обобщенная кривая сушки для исследуемого материала в координатах $(U, N\tau)$, где N -максимальная скорость сушки, она сравнивается с обобщенной кривой сушки, полученной экспериментальным путем (рис.17).

Как видно из рис.17, 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 в технологии переработки и сушки исследуемых материалов в промышленных условиях» для промышленных условий разработана технологическая линия переработки клубней топинамбура и плодов шиповника (рис.18).

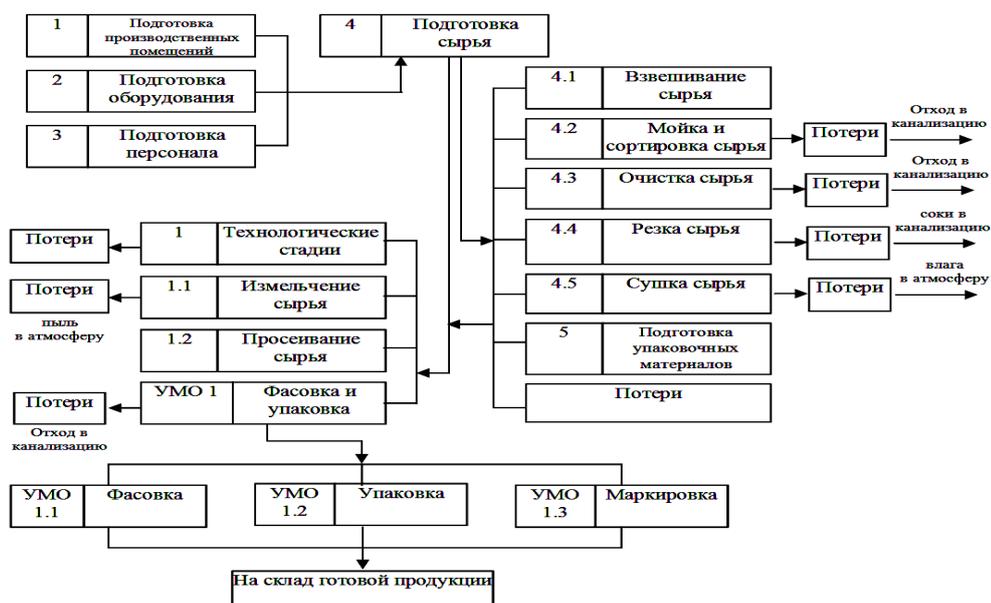
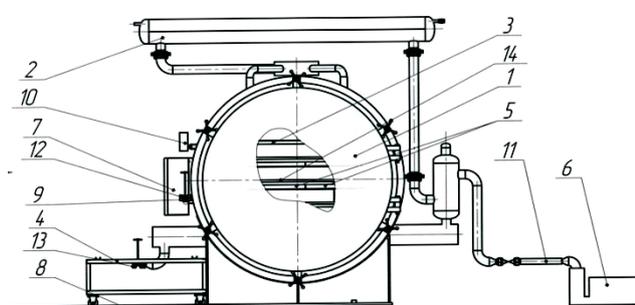


Рис.18. Технологическая схема переработки клубней топинамбура и плодов шиповника

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.19. 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 давления 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-кран впуска воздуха; 13- кран выпуска конденсата; 14-ИК-излучатель

Рис.19. Схема опытно-промышленной вакуум-сушильной установки с инфракрасными излучателями

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 воздухом снабжена дополнительной полостью.

Технологическая линия внедрена в ООО «Доривор ўсимликлар» и специализированном государственном лесном хозяйстве имени Абу Али ибн Сино (рис.18). 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

На основе проведённых исследований по докторской диссертации на тему «Разработка технологий для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биологически активных веществ» представлены следующие выводы:

1. В результате анализа современного состояния теории и практики сушки и тепловой активации клубней топинамбура и плодов шиповника выявлены тенденции их дальнейшего развития и совершенствования, что дало возможность выдвинуть инновационные идеи. В качестве одного из наиболее эффективных способов сушки продуктов клубней топинамбура и плодов шиповника выступает обезвоживание в вакууме с ИК-нагревом.

2. Разработанная и внедренная математическая модель перемещения влаги в капиллярных порах исследуемых материалов показала необходимость учета внутреннего перераспределения растворенных

веществ, а также подтверждает закономерности динамики процесса сушки при заданных начальных условиях с сопутствующими явлениями сорбции и десорбции во внутренних структурах стенок капиллярных каналов. Предложены нелинейные функциональные связи между давлением внутри капилляров, гидродинамической скоростью движения, температурой, а также плотностью исследуемого материала.

3. Предложена 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 излучателями и определены способы обеспечения равномерного распределения инфракрасного облучения в объеме обезвоживаемых продуктов с помощью элементов-отражателей соответствующей конфигурации в вакуум-сушильной установке с ИК-нагревом.

5. Предложены характеристики сорбции и десорбции клубней топинамбура: показана удельная поверхность капилляров, составляющая 18,38 м²/г, при этом суммарный объем пор для топинамбура в условиях вакуумной ИК-сушки составляет 0,440 см³/г. Для плодов шиповника характеристики сорбции и десорбции: подтвержденная удельная поверхность капилляров составляет 12,30 м²/г, при этом суммарный объем пор составляет 0,390 см³/г.

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

7. Показано, что для процесса ИК-сушки плодов необходимо оптимизировать величину подводимой мощности так, чтобы плоды быстро обезвоживались. Установлена оптимальная толщина слоя продукции, составляющая около 2-2,5 мм, оптимальная длина волн 3 мкм, при этом время обезвоживания продукции составляет допустимую величину, а температура плодов не превышает 65-70 °С, вакуум при этом составляет -0,8 атм.

8. В результате экспериментального исследования влияния вибрации на технологический процесс сушки установлено, что эффективность обезвоживания возрастает до 4-5% 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 составляет до 45,4 мг%, а долек из клубней топинамбура до 38,75 мг% и при этом сохранность аскорбиновой кислоты в составе мякоти плодов шиповника при вакуумной ИК-сушке составляет до 0,77 мг%. В составе же фракции семян плодов шиповника содержится аскорбиновая кислота при вакуумной ИК-сушке до 4,0 мг%.

9. В результате исследований установлено, что использование способа вакуумной сушки с ИК-нагревом и отражателя при температуре не выше 60-70 °С позволяет сэкономить электроэнергию на 10-12%, а полноценный состав витаминов и других биологически активных веществ (инулин и аскорбиновая кислота) в конечном продукте составляет до 80-90%.

10. Модернизирована технологическая линия получения порошка из топинамбура с применением вакуумной сушильной установки с ИК нагревом и молотковой мельницы. Разработан и внедрен аэродинамический сепаратор для разделения на фракции (мякоть, семена, пух) измельченных плодов шиповника. На основе полученных результатов рекомендован к внедрению в промышленность разработанный технологический регламент на производство порошка из клубней топинамбура сорта «Мужиза» и плодов шиповника.

11. Разработки и рекомендации диссертации по технологии переработки клубней топинамбура и плодов шиповника при сохранении биологически активных веществ внедрены в Государственном акционерном концерне «Узфарманоат» и предприятиях, входящих в систему Министерства сельского и водного хозяйства (справка Государственного акционерного концерна «Узфарманоат» 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 WITH THE NUMBER OF 14.07.2016.T.08.01
WHICH GIVES THE DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCE UNDER THE
TASHKENT CHEMICAL-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

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.

The abstract of the dissertation in three languages (uzbek, russian, english) is placed on web page to address www.tkti.uz and information-educational portal ZIYONET to address www.ziyonet.uz.

Scientific consultant: **Norkulova Karima Tuxtabaevna**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich**
doctor of technical sciences, professor,
academician of the ASc RUz

Qurbonov Jamshid Majidovich
doctor of technical sciences, professor

Barakaev Nusratilla Rajabovich
doctor of technical sciences

Leading organization: **Bukhara technological institute of engineering**

Defense will take place «__» _____ 2016 at _____ at the meeting of scientific council number 14.07.2016.T.08.01 at Tashkent chemical-technological institute to address: 100011, Uzbekistan, Tashkent, A. Navoi str.,32. Ph.: (99871) 244-79-21; fax: (99871) 244-7917; e-mail: tkti_info@mail.ru.

The doctoral dissertation is registered in the Information-resource centre at Tashkent chemical-technological institute № __, it is possible to review it in the IRC (100011, Uzbekistan, Tashkent, A. Navoi str.,32. Ph.: (99871) 244-79-21.

Abstract of dissertation has been distributed «__» _____ 2016 year.
(mailing report № ____, on «__» _____ 2016 year)

S.M.Turobjonov

Chairman of scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, D.T.S., professor

A.S.Ibodullaev

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, D.T.S., professor

K.O.Dodaev

Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, D.T.S., professor

INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation)

The urgency and relevance of the theme of dissertation. An estimated food and agriculture organization of the UN in 2050 year to satisfy the demand for food the annual global production of agricultural crops and animal production must increase by 60% compared with the level of 2006 year⁶. In the world every year because of the damage generated losses of grain products by 30%, root vegetables, fruits and vegetables by 40-50%, oilseeds, meat and dairy products by 20% and fish by 35%⁷.

In the years of independence of special attention is paid to the cultivation and efficient development of the industry, processing agricultural products. As a result of conducted in this area of program activities, including to ensure the quality of processing of products of agriculture and forestry, tangible results have been achieved in the production of import-substituting and export-oriented food and pharmaceutical products. In 2015 year the country is grown 200,3 tonnes of tubers of jerusalem artichoke and 199,2 tons of rose hips⁸. One of the most widespread methods of processing of these products assumed to be their drying.

Today important objective of global scale is the development of equipment and technology for the processing of products of agriculture and forestry, including the jerusalem artichoke and rose hips, special attention is paid to improvement methods of processing of raw materials through the application of new technologies, taking into account the results of scientific research in this area focused on the preservation of biologically active substances in the finished product. It is necessary to substantiate the appropriate scientific decisions and recommendations aimed at improving the methods of drying and the development of technology for obtaining high-quality products, including the necessary: to develop equipment and technology of processing of jerusalem artichoke and rosehip with the preservation of biologically active substances in the composition of the final products, to develop a mathematical model of the distribution of trace elements in the drying process, to explore and formalize the process of heat transfer, taking into account the changes of heat in infrared (IR) heating and nonlinear heat transfer phenomena, as well as examine the activity of heat during drying of the product to develop a vacuum drying apparatus with infrared heating and mill to produce a powder of the dried product. Actuality of and relevance of the theme of the dissertation is confirmed by the implementation of scientific research in this direction.

This dissertation research is to a certain extent perform tasks provided for the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan PP-1047 of 26 january 2009 year «Concerning Additional Measures for increase food

⁶ The Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of food and agriculture. Climate change, agriculture and food safe. Rome, 2016. - 210 p.

⁷ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global initiative on food loss and waste reduction 2015. Rome, 2015. -8 p.

⁸ Information JSC «Uzfarm sanoat» №NI-06/1944 of 2016 year on 27 october.

production and saturation of the domestic market» and PP-1633 of 31 October 2011 year «On measures to further improve the management of the organization and development of the food industry of the republic in 2012-2015», as well as other legal and regulatory documents adopted in this area.

Compliance of the research with major priority areas in science and technology development of the Republic. This research was performed in accordance with the priority directions of science and technology of the republic: V.«Agriculture, biotechnology, ecology and preservation of the environment» and VI. «Medicine and pharmacology».

Review of foreign scientific researches on the subject of dissertation⁴. Scientific researches, directed at methods of drying of capillary-porous food and conservation of biological active substances, as well as the methods of mathematical modeling and the development of devices and technologies, conducted in the leading research centers and higher educational institutions of the world, including, University of Georgia (USA), Laval University (Canada), Technical University of Berlin and the German Institute of Food Technologies (Germany), Federal University of Santa Catarina (Brazil), University of Extremadura (Spain), Ataturk University and Middle East Technical University (Turkey), Mutah University (Jordan), 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).

As a result of research, conducted in the world to improve the efficiency of the drying process and obtaining high-quality products, a row of scientific results obtained, including: defined physical and chemical changes during the preparation of powders of the dried fruits and vegetables by means of air flow (University of Georgia); developed technology of drying food products using hot air and cooling (Laval University); identified methods for obtaining functional products by drying by physico-chemical properties of fruits, vegetables and plants (Technical University of Berlin and the German Institute of Food Technologies); determined by vacuum effect on product drying process (Federal University of Santa Catarina) determined the effect of infrared rays in the drying process (University of Extremadura); preservation created method of ascorbic acid in the rosehips during the drying process (Ataturk University); jerusalem artichoke developed a method of drying by using ultra microwaves (Middle East Technical University); it improves the process of grinding the raw material in the mill (Mutah University); developed a drying equipment and drying technology rosehips a hot air stream (National University of La Plata); jerusalem artichoke determined quality changes during the processing and storage (Aleksandras Stulginskis University)

⁴ Review of foreign scientific researches by the theme of dissertation was made on the base: www.uga.edu; www2.ulaval.ca; www.dil-ev.de; www.en.ufsc.br; www.unex.es; www.atauni.edu.tr; www.metu.edu.tr; www.mutah.edu.jo; www.unlp.edu.ar; www.asu.lt; www.mgupp.ru; www.kniihpsp.ru and other issues.

In the world in sphere of manufacture functional food products research carried out on a row of priority directions, including: quality of the product preservation by using of drying; drying products using infrared rays; the development food products with a high content of biologically active substances; improvement of methods of products drying (convective, conductive, infrared, ultra-high frequency); determination of the internal pressure the drying chamber (atmospheric, vacuum, freeze); development of methods of drying agent movement (natural, forced); improvement of methods of drying dewatered by type of product (solid, liquid and paste).

Degree of study of problem. As have shown results the literature review, of a long time has received considerable attention to the improvement the drying process. In particular, A.V.Lykov, A.S.Ginzburg, S.G.Ilyasov, I.B.Levitin, Z.S.Salimov, O.F.Safarov conducted research aimed at the development of the theory of the drying process, the study of the impact of infrared rays in the drying process.

The uzbek scientists A.A.Artikov, K.O.Dodaev, H.F.Djuraev, Z.S.Iskandarov, D.N.Muhiddinov, J.M.Kurbanov, B.I.Muhamedov, K.T.Norkulova, H.S.Nurmuhammedov, R.H.Rahimov, B.P.Shaymardonov, N.R.Yusupbekov was conducted effectiveness of the research on the improvement processes and apparatus of in the food industry, they developed efficient technologies.

S.Paes, E.Karacabey, Ch.M.Ben, A.Natalia, Ghaid Jameel Al-Rabadi, AGGhiaus, C.Marquez, Saliha Erinturk, A.Ruiz Celma, C.Ratti, H.Kunzek, K.Veerachandra was conducted scientific research on the production of bioactive products with the required quality, they improved drying processes. Deserve the attention of research I.V.Altuhova, R.I.Shazzo, I.A.Zueva, P.D.Lebedeva on drying methods of materials, heat exchange processes, the improvement of equipment and the drying process and obtaining high-quality end product.

In this dissertation work for the first time carried out a comparative analysis of the methods of processing the sorption isotherms and desorption and the justified expediency of the choice of the orthogonal regression equation in the form Posnova, reflecting the distribution of microelements in foods by controlling the drying process in the preparation of high-quality products, developed a mill construction with a cooling system to produce a powder of sugar-containing products, determined by the value of the vacuum of the parameter and the optimal drying temperature in the vacuum system with infrared heat to dry jerusalem artichoke and rosehips tubers with preservation of bioactive substances and laid the scientific bases of application of the results of the work in practice in industrial production.

Connection of dissertational research with the plans of scientific-research works of the scientific-research institution: The dissertation research is carried out within the framework of the plan of scientific research applied and innovation projects of Tashkent state technical university on the theme: 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 it is to improve the technology for the processing jerusalem artichoke tubers and rosehips using a vacuum dryer with infrared heating, providing increased energy efficiency and technology of equipment and preservation of biologically active substances.

The tasks of research work:

explore the types of moisture in materials and to determine the technological, mechanical, chemical, food, thermal and biological characteristics and properties of tubers jerusalem artichoke and rosehips;

identify patterns of heat exchange during the drying process, taking into account non-linear phenomena, the dynamics of the thermal infrared radiant heating and the thermal activation studied materials;

develop the mathematical model of the motion of moisture in the capillary pores investigated materials and the distribution of microelements in food process at their drying;

carry out modeling and optimize the process of vacuum drying slices jerusalem artichoke and rosehips in the electromagnetic field infrared, to develop a rational choice infrared emitters location in a drying equipment;

develop and establish pilot commercial vacuum drying apparatus with infrared heating for the study jerusalem artichoke tubers drying process and rosehips, to identify effective technological modes;

define rational infrared heating modes, 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;

develop construction development industrial model and aerodynamic separator mill to produce a powder of dried tubers jerusalem artichoke, and rosehips;

implement the industrial embodiment of the results, obtained during the execution the dissertation research.

The object of the research are production of agriculture and forestry - jerusalem artichoke tubers and rosehip, with ensuring of preservation biologically active substances in their composition.

The subject of the research - vacuum-drying equipment with an electromagnetic field emitters infrared, regularities, peculiar to dehydration, drying technical and technology.

Methods of research work. The dissertation applied the methodology of mathematical modeling and optimization of technological processes. The adequacy of the mathematical model of the real process verified by experiments on a physical model.

Scientific novelty of the research work is as following:

determined the kinetics of jerusalem artichoke tubers drying process and rosehips in a vacuum-drying equipment with infrared heating;

substantiated model of the motion of moisture in capillary pores and the distribution of microelements in the products of the process by controlling the drying process in the preparation of high-quality products;

determined the transfer of heat and moisture in the internal layers of the material in the low-vacuum conditions with infrared heating and revealed the specific features of the nonlinear propagation of heat in terms of discrete modes of the drying process;

substantiated comparative analysis of processing methods sorption isotherms and desorption appropriateness of the choice of the method of orthogonal regression equation in the form Posnova;

developed a mill construction with a cooling system to produce a powder of sugar-containing products;

determined by the vacuum pressure and the optimal drying temperature in the vacuum system with infrared heat to dry the tubers jerusalem artichoke and rosehips with preservation of bioactive substances.

Practical results of the work are as follows:

based on the results of theoretical and practical studies developed a vacuum drying equipment with infrared heating;

taking into account the thermal properties investigated materials proposed effective technology for processing jerusalem artichoke tubers and rosehips in a vacuum dryer infrared reflector, which allows to establish the technological parameters of the drying process;

substantiated rationally location of the infrared emitters and methods of providing uniform infrared radiation dehydrate products by means of special reflectors in order to conserve electric energy and abbreviations drying time;

based on the study of regularities drying technology developed by optimal way to vacuum drying with infrared radiation using a nonlinear dynamic model of the form of tubers jerusalem artichoke refining process and rosehips;

the mechanism of acceleration of the drying process up to 4-5% through the use of vibration of dried products in the field of electromagnetic waves infrared;

results obtained used in development of installations with low specific energy consumption residence for the food and pharmaceutical industries, farming and forestry;

inulin losses of minimization is achieved for convective drying method, in particular, its of residual amounts to 33,3 mg%, with the process of the domestic manufacturer to 8,9 mg%, whereas in the present method the rate has reached to 45,4 mg%;

determined that the residual amount of ascorbic acid in the dried rosehips to - 0,77 mg%, whereas if drying helio - to 0,15 mg% while infrared-drying - to 0,71 mg%, in convective drying - to 0,12 mg%, and in the method used by the manufacturer - 0,59 mg%;

developed a program research of the drying process in an environment C++ Builder 6.0, which is registered in the AIS Uzbekistan №DGU 03533 from 12.02.2016 y.;

developed and approved the technical operating conditions of the vacuum infrared drying unit;

developed and approved by the SJC «Uzfarmsanoat» temporary recommended technological regulations for production of powders from the tubers of jerusalem artichoke and rosehip.

The reliability of the results. For the mathematical modeling used in the initial experimental results obtained by measuring the high-precision instruments, computer simulation is performed using of a modern operating environment MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0 Windows XP, Microsoft Excel, obtained regression equations, representing a statistical model of the investigated process.

Theoretical and practical significance of the study.

The scientific significance of the results of research due to the fact that developed efficient technology of complex processing of jerusalem artichoke tubers and rosehip in a vacuum infrared apparatus with a maximum level preservation of biologically active substances in the raw material.

The practical significance of the work consists in the implementation of resource and energy saving technological lines for the processing of the tubers of Jerusalem artichoke and rose hips with preservation of biologically active substances in the feedstock to minimize losses during the processing of the material.

Implementation of the research results. On the basis of scientific results obtained on substantiation of the method of drying:

received a patent for the invention of a method for drying the intellectual property Agency of the Republic of Uzbekistan tuber products (23.07.2014 y. №IAP 04936). As a result of scientific research with the help of drying of raw materials it is possible to obtain a product with the preservation of biologically active substances;

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 results of dissertation work passed approbation on the following scientific and practical and international conferences: «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 dissertation theme published a total of 46 scientific papers. Of these 2 monographs, 1 received a patent for invention, 16 scientific articles, including 8 republican and 8 international journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral dissertations.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendix. The volume of the dissertation is 200 pages.

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 «**Mathematical modeling of drying processes 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 dissertation work has also studied range of issues of formation of new states redistribution of components in solutions of growth (i.e., 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

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

where μ, q – coefficients.

After Taylor series expansion have:

$$R=R_0\left(1+\frac{1}{R_0}\frac{\partial R}{\partial \mu t}\mu t+\frac{1}{R_0}\frac{\partial R}{\partial \mu x}qx\right). \quad (2)$$

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

$$C=\left(\frac{\rho_0\gamma}{\rho_0\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{S_0}{S}\right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (3)$$

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 inhomogeneities 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 carries material partially adsorbed on 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:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(V\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (4)$$

where h - diffusion coefficient inside the object dewatering.

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

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]}. \end{cases} \quad (5)$$

Equations (5) 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 micro cracks 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 (4) 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 $\rho_f, \rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}}$; from (5) obtain

$$\frac{\partial \rho_f^x}{\partial t'^2} + c^* \frac{\partial \rho_f^x}{\partial x'^2} = h^* \frac{\partial^2 \rho_f^c}{\partial x'^2}, \quad (6)$$

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 (6). Introduce the notation

$$\begin{aligned} n_f &= N_f^* N_f, \quad n_f = \rho_f, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} &= h \frac{\partial n_i}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (7)$$

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

The solution of the nonlinear equation (7) is carried out using the method of successive approximations.

Let be $n = n_0(x, t)$ – solution of linear approximation, i.e., solution (7), when $c = \text{const}$. 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:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (8)$$

For the (8) have

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (9)$$

where ΔR - get from (5).

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.

The results of using the method of convolution of functions to approximate and analytical approximations to solve the equations under consideration.

$$n = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} F \left[\xi - \frac{V}{1+R(n)} \right] \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2\pi h(t-\tau)}} d\xi d\tau + O \left[h(t-\tau) \cdot \frac{V}{1+R} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

As a result, use of the method of convolution of functions to approximate and analytical approximations for the solution of the equations (8) and using the approximation formula for the Laplace convolution functions, we obtain:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1+R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (11)$$

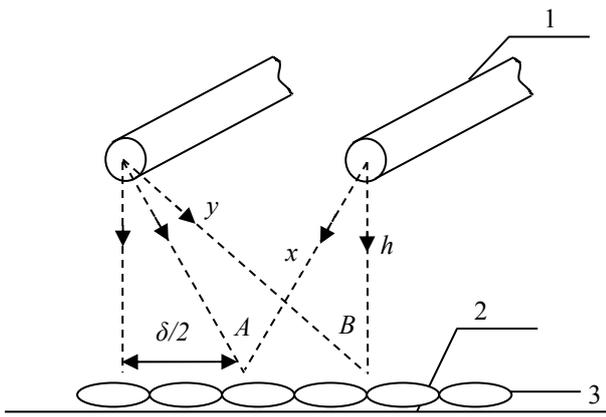
where $F = (n_0)_{xx}$.

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 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 (W) 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:

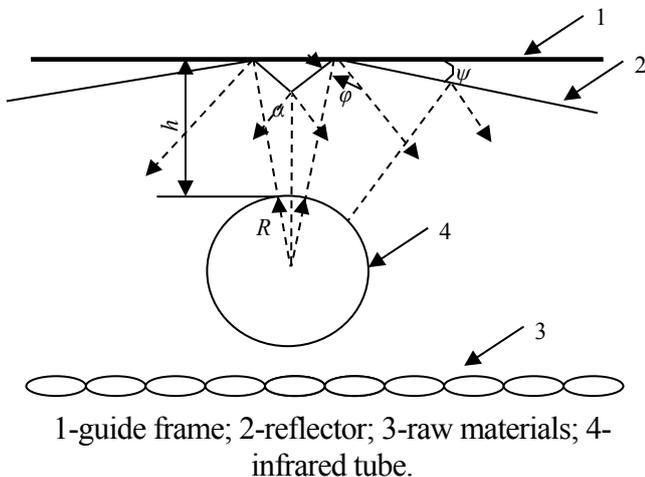
$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (12)$$

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

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0, \quad (13)$$

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

Equation (13) shows that for all values of non-zero, i.e. it does not hold, since the discriminant is different from zero. This suggests the



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

Fig.2. Scheme figure of the reflector

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. 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 research of drying processes in the experimental model installation**» devoted to the study of thermotechnical characteristics of the sorption and desorption of water vapor samples researched varieties of jerusalem artichoke tubers «Muzhiza» and rose hips at a temperature of 293 K. The data obtained are shown in figure 3-4.

On the basis of sorption isotherms of water vapor samples of jerusalem artichoke and rose hips on equation Brunauer, Emmett and Taylor (BET) were calculated monolayer capacity, specific surface area, total pore volume and the radius of the capillary. 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.

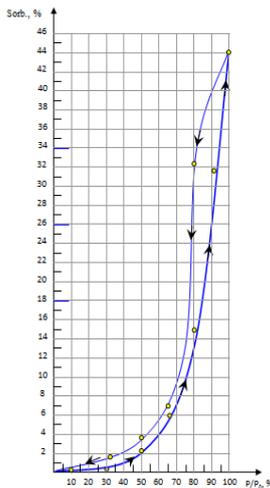


Fig.3. The curves isotherms of sorption and desorption of jerusalem artichoke

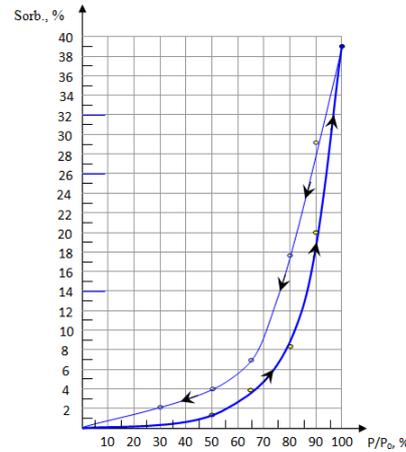


Fig. 4. The curves of sorption isotherms and desorption of rose hips

Based on the results conducted researches of phenomena of sorption and desorption of water vapor samples of jerusalem artichoke and rose hips determine the parameters of the capillary-porous structure. Based on the results of the study, the isotherms sorption and desorption of jerusalem artichoke and rose hips have been defined: x_m —monolayer capacity, S_{sp} —specific surface area, W_0 — total pore volume, r_c — capillary radius. These data allow us to determine the drying time and form due to the moisture of the materials studied.

The experimental results obtained by studying the hygroscopic properties investigated materials are processed using the following equation Posnova forms:

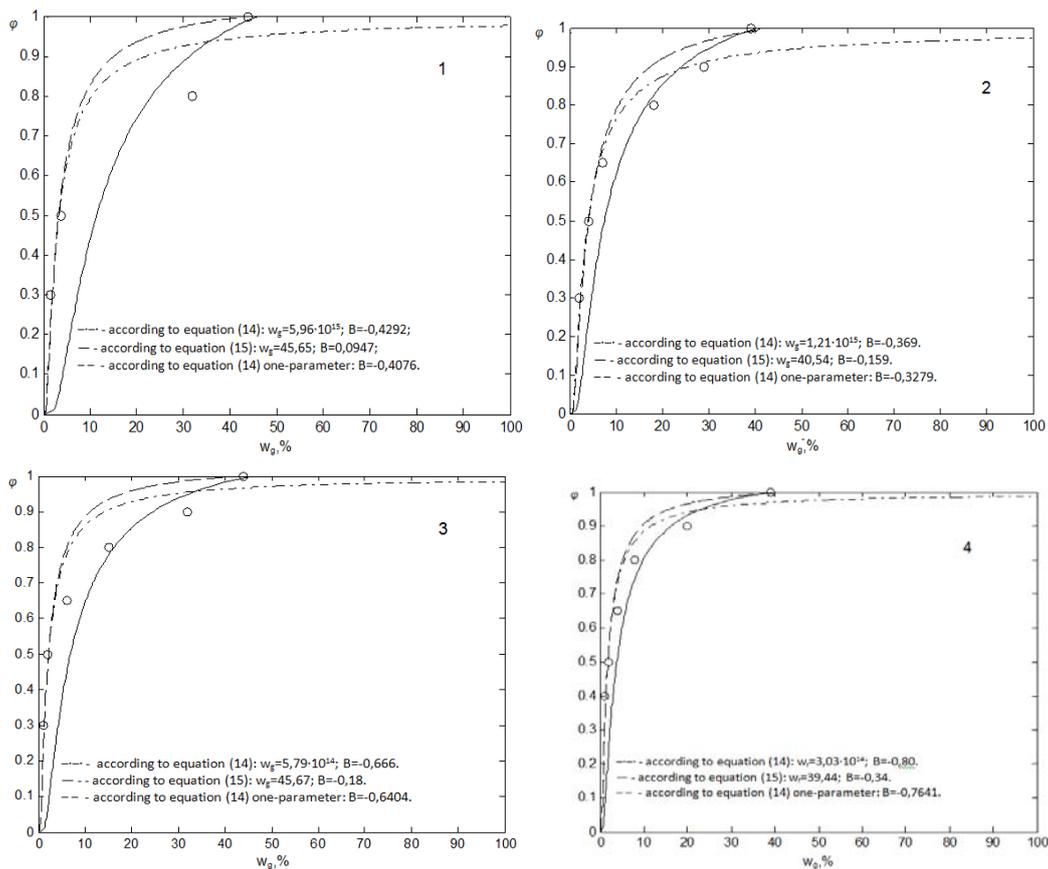
$$\varphi = e^{\left(\frac{1}{w_g} - \frac{1}{w_r}\right)/B} \quad (14)$$

$$w_r = \frac{1}{B \ln \varphi + \frac{1}{w_g}}, \quad (15)$$

where w_g - hygroscopic moisture,%; B- coefficient taking into account the physical properties of the material.

Calculations have shown that the above features of data processing confirmed by expressed form. So much for of jerusalem artichoke at 293 K obtained numerical values of the parameters of the equation (14) $w_g=5,96 \cdot 10^{15}\%$, $B=-0,4292$. A formula (15) gives the following nonlinear estimation results $w_g=45,65\%$, $B=-0,0947$. Even if the lock $w_g=44\%$, in accordance with the experimental data, then the one-parameter model (14) is obtained by $B= -0,4076$ and significant difference patterns of the formulas (14) and (15) only amplifies.

Figure 5 shows the results of data processing by a one-parameter model.

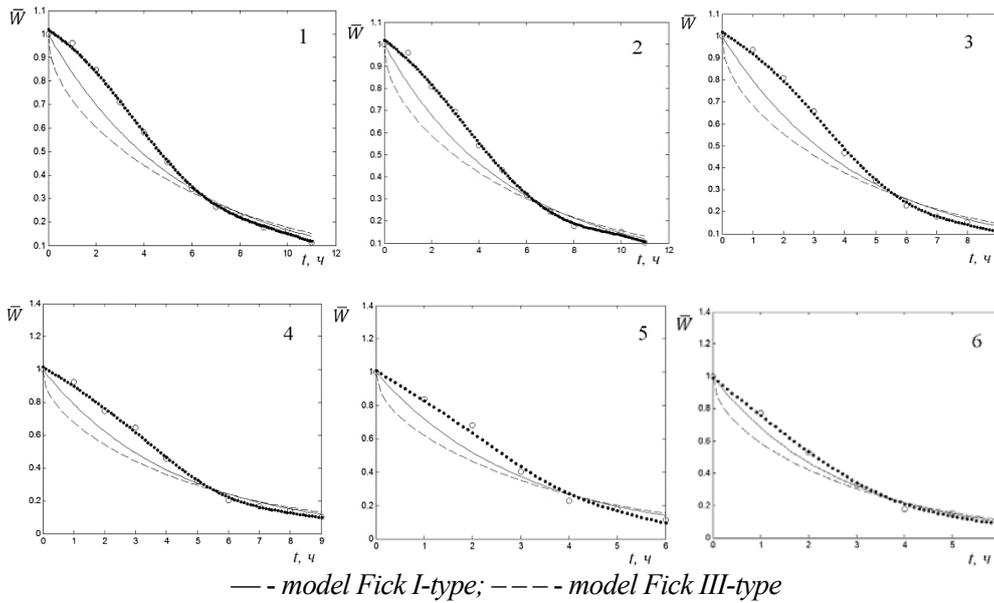


1- isotherms desorption of Jerusalem artichoke; 2- isotherms desorption of rose hips;
 3- isotherms sorption of Jerusalem artichoke; 4- isotherms sorption of rose hips
Fig.5. The results of calculation isotherms sorption and desorption of Jerusalem artichoke and rose hips on model Posnov

It can be seen through the Fick diffusion equation with appropriate initial and boundary conditions at constant values of the kinetics of the drying process temperature. For a description of process of mathematical expressions Fick equation, which expresses the value of the moisture content, should be brought to a dimensionless form using the following formula:

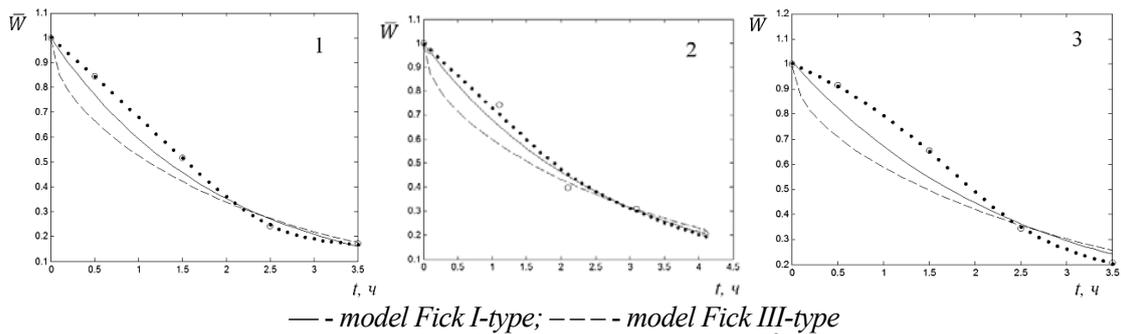
$$\bar{W} = \frac{W - W_r}{W_n - W_r}, \quad (16)$$

In making the boundary conditions 1-type of relationship moisture diffusion coefficient of the square determines the size determined by the method of least squares using a special program with subprogrammes of for solving differential equations in partial derivatives with a sufficient amount exhibitors in the decision.



— - model Fick I-type; — — — model Fick III-type
 1- drying curve of jerusalem artichoke lobules with infrared heating; 2- drying curve the crushed mass of jerusalem artichoke with infrared heating; 3- drying curve of jerusalem artichoke lobules in a vacuum with infrared heating; 4- drying curve the crushed mass of jerusalem artichoke in a vacuum with infrared heating; 5- drying curve of jerusalem artichoke lobules in a vacuum with infrared heating and exposure to vibration; 6- drying curve the crushed mass of jerusalem artichoke in a vacuum with infrared heating and exposure to vibration

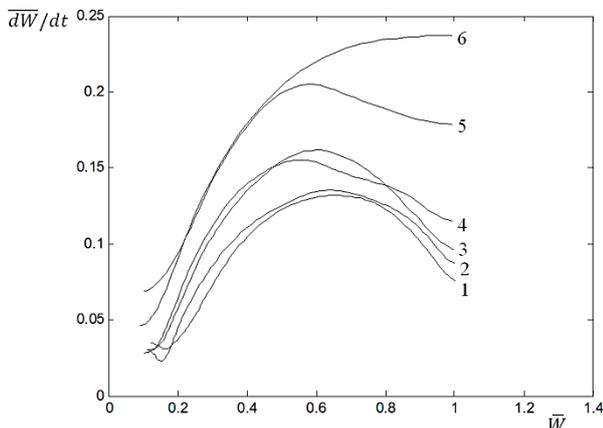
Fig.6. Kinetic regularities of jerusalem artichoke drying



— - model Fick I-type; — — — model Fick III-type
 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).

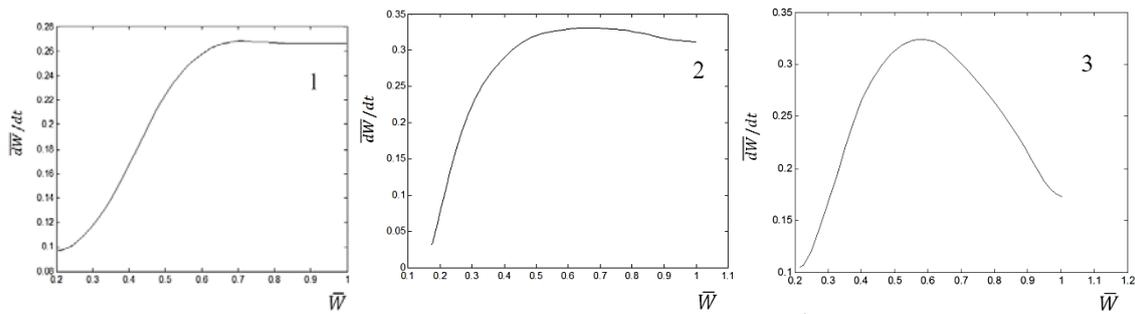
Fig.7. Kinetic regularities of rose hips drying

Comparison of the calculated and experimental data shows (figure 6 the dashed line), it is necessary to take into account the mass transfer coefficient between the phases (fig.6-7).



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

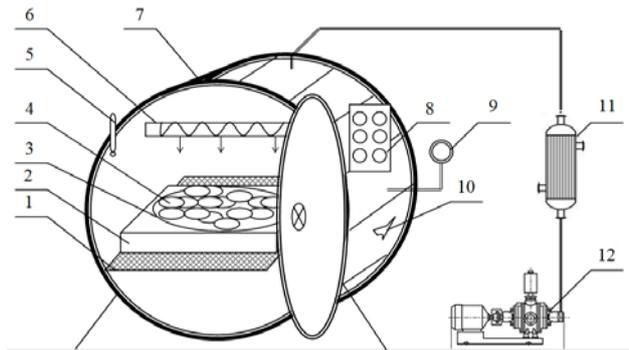
Fig.8. The curve of the drying rate of jerusalem artichoke



- 1- vacuum drying with infrared heat (drying temperature 50⁰C, vacuum -0,8 atm);
- 2- vacuum drying with infrared heat (drying temperature 65⁰C, vacuum -0,8 atm);
- 3- vacuum drying with infrared heat (drying temperature 80⁰C, vacuum -0,8 atm);

Fig.9. Curve speed drying rose hips

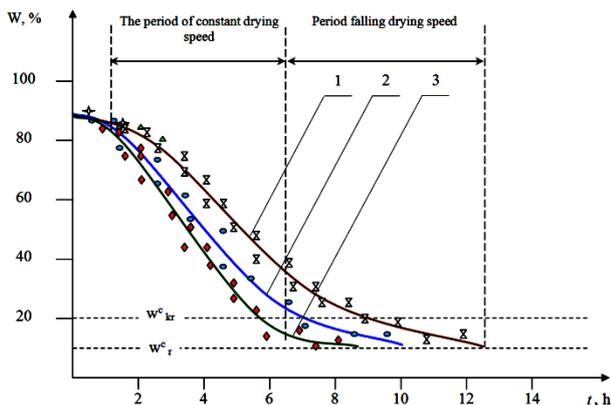
Produced quantitative formalization of the drying intensity at various drying modes allows to compare them: in intensity as the internal diffusion and external mass transfer by arranging in a row, indicated in fig.9. According to the values Bio criterion can be stated that the IR-vacuum drying solves the problems associated with limiting diffusion of internal drying. The further improvement in the technological drying and constructive plans based on the intensification of external exchange on the borders of particles and layers of material.



- 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.10. The scheme laboratory experimental equipment

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.10). 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 $w^{c_{cr}}$ (fig.11, fig.16), 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).

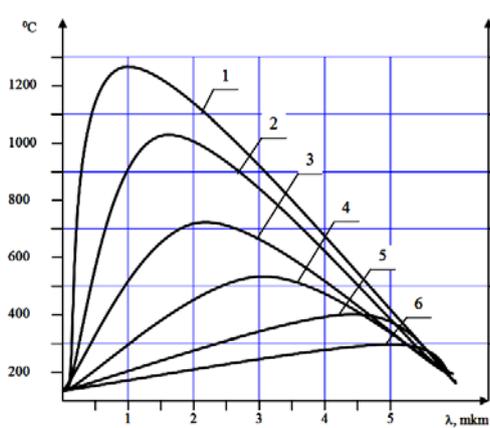


Fig.12. The best option IR drying products

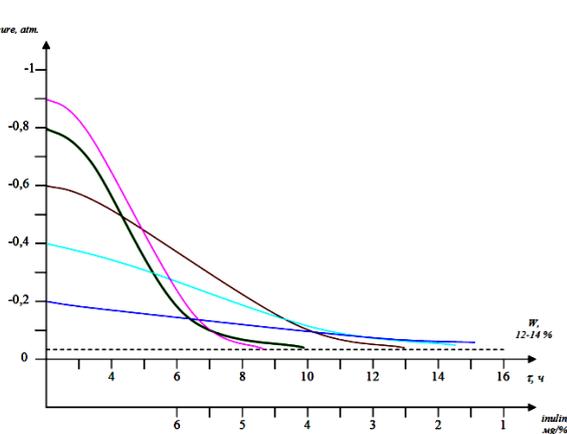


Fig.13. Dependence conservation inulin from atmospheric pressure and time of drying (drying conditions: 65 °C, thickness 2 mm lobule)

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.12).

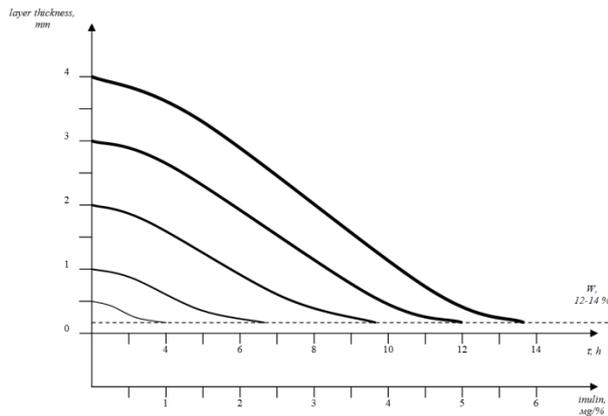
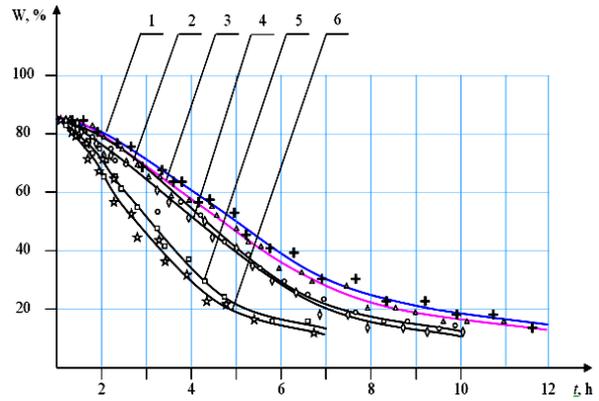


Fig.14 Storage of insulin dependence on the thickness of the cut tubers Jerusalem artichoke and drying time
(drying conditions: -0,8 atm., 65 °C)



1- drying curve of Jerusalem artichoke lobules with infrared heating; 2- drying curve the crushed mass of Jerusalem artichoke with infrared heating; 3- drying curve of Jerusalem artichoke lobules in a vacuum with infrared heating; 4- drying curve the crushed mass of Jerusalem artichoke in a vacuum with infrared heating; 5- drying curve of Jerusalem artichoke lobules in a vacuum with infrared heating and exposure to vibration; 6- drying curve the crushed mass of Jerusalem artichoke in a vacuum with infrared heating and exposure to vibration.

Fig.15. Curves discrete drying the tubers Jerusalem artichoke

For drying processes Jerusalem artichoke tubers vacuum chamber -0,8 atm. (fig.13) and the optimum thickness of the layer of chopped - 2 mm (fig.14).

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.15). The efficiency of dewatering increases to 4-5%.

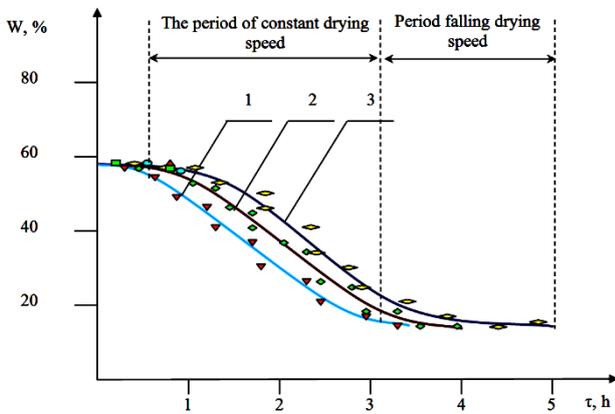
Also, experiments were conducted on a discrete and Jerusalem artichoke dried rose hips, provides greater level of preservation of biologically active substances compared with continuous operation and ensuring the necessary level of moisture in the surface layer of raw material to dewater.

It is determined that the safety of inulin in the composition of Jerusalem artichoke tubers, it is the residual amount at the proposed method - vacuum infrared drying up to 45,4 mg%, at convective method to 33,3 mg%, and in the process of a domestic manufacturer to 8-9 mg% .

For obtain high-quality products recommended to use the form of chopped mass and infrared method of 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.16.

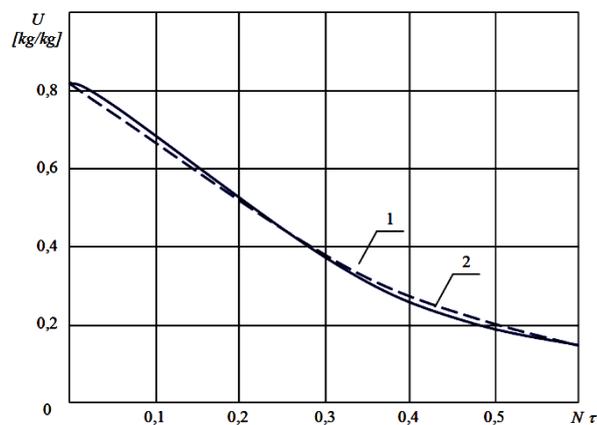


1-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 80 °C, vacuum -0,8 atm.);
 2-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 65 °C, vacuum -0,8 atm.); 3-
 vacuum drying with infrared heat (drying temperature 50 °C, vacuum -0,8 atm.)
Fig.16. Curve drying rose hips

Based on the research of the drying process rose hips different drying methods (gelio-drying, convective and vacuum infrared drying) found the rational variation of the process that provides high safety of the vitamin content of rose hips. Also determined by that, with the proposed method of vacuum drying infrared component ensured to 0,77 mg%, gelio-drying to 0,15 mg%, IR drying to 0,71 mg%, convective drying to 0,12 mg%, and in the method domestic manufacturer to 0,59 mg%. As part of the same fraction of the seeds rose hips at vacuum infrared drying contains ascorbic acid at a level of - 4,0 mg%.

Drying curve determined the optimal temperature, the drying time of rose hips; while preserving the free organic acids in the composition of the pulp of the fruits rose hips at vacuum infrared drying was 9,7 mg%.

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



1-experimental; 2-calculated.

Fig.17. 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.17).

As can be seen from the figure 17, 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.18).

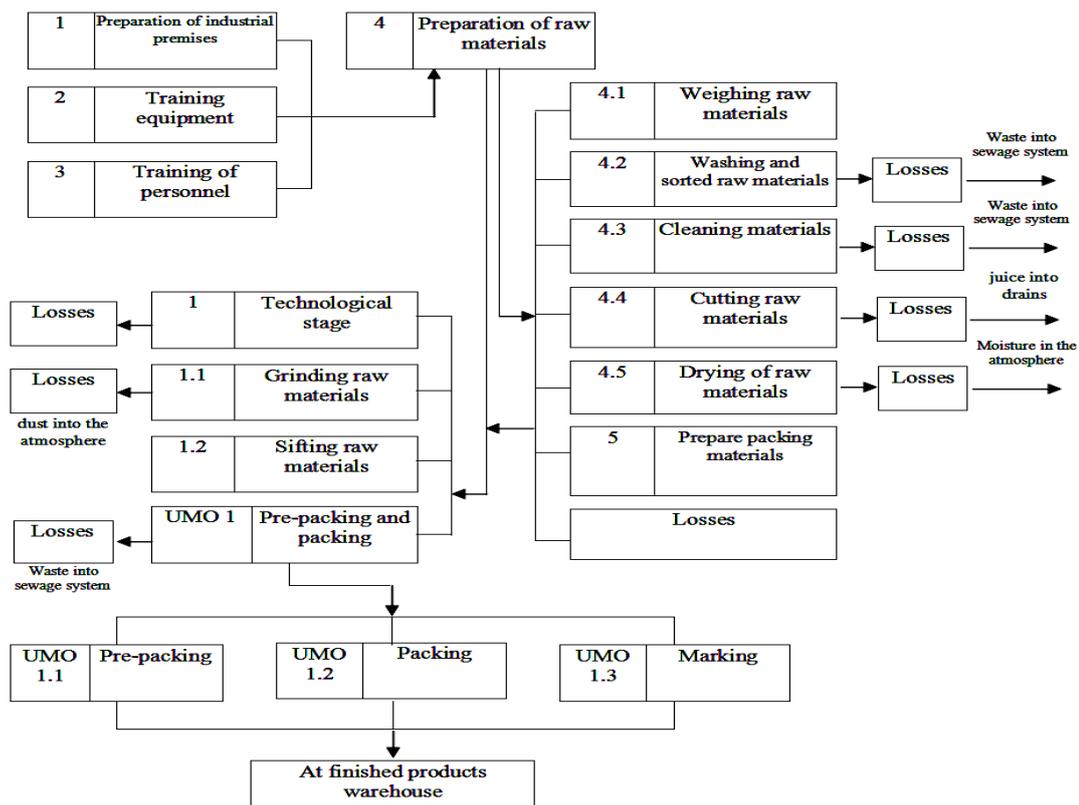


Fig.18. Technological scheme of production of tubers of jerusalem artichoke and rose hips

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.19. 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.

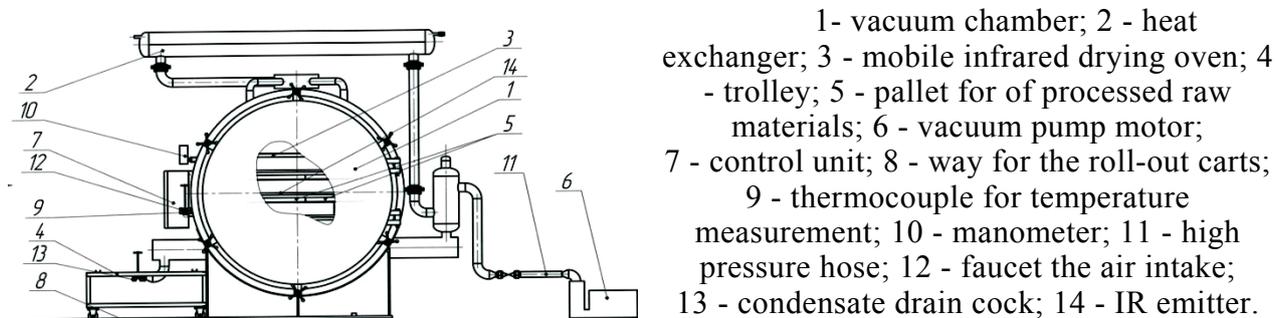


Fig.19. Experimental industrial vacuum drying equipment with infrared emitters

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.18). 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

On the basis of the research on a doctoral thesis on «Development of technologies for the processing of the tubers of jerusalem artichoke and rose hips with preservation of biologically active substances» provided the following conclusions:

1. As a result of the analysis of the modern state theory and practice of drying and heating activation of jerusalem artichoke tubers and rose hips encountered trends their further development and improvement, which made it possible to put forward innovative ideas. As one of the most effective methods of drying the tuber of jerusalem artichoke and rose hips products acts dehydration in vacuo with an infrared heating.

2. Developed and implemented a mathematical model of movement of moisture in the capillary pores studied materials showed the need to address the internal redistribution dissolved substances, and also confirms the regularity dynamics of the drying process under the given initial conditions

with attendant phenomena sorption and desorption in the internal structures of the capillary channel walls. Proposed non-linear functional connections between the pressure inside the capillary, hydrodynamic movement speed, temperature, and density of the investigated material.

3. Proposed parametric identification of the correlation coefficients of a mathematical model and carried out analysis of the experimental statistical data.

4. The dependence of the irradiation power of the distance between the object and dewatered emitters and defined between emitters and methods of providing a uniform distribution of infrared radiation in the volume of dewatered products by means-reflector elements corresponding configuration in a vacuum drying installation with infrared heating.

5. Proposed sorption and desorption characteristics of tubers of jerusalem artichoke: shows a capillary specific surface constituting $18,38 \text{ m}^2/\text{g}$ and the total pore volume for artichoke in the conditions vacuum infrared drying is $0,440 \text{ cm}^3/\text{g}$. For the rose hips characteristic sorption and desorption: confirmed the specific surface area of the capillaries of $12,30 \text{ m}^2/\text{g}$ and the total volume of pores amounts to $0,390 \text{ cm}^3/\text{g}$.

6. According to research of thermotechnical and sorption properties of the dried product identified: allowable temperature, drying time and construction vacuum drying equipment with infrared radiation. The method of calculation of industrial vacuum drying equipment with infrared emitter based on the results of experimental studies in a laboratory equipment.

7. It is shown that for the process of infrared drying fruit is necessary to optimize the amount of power input, so that the fruits quickly dehydrated. The optimum thickness of the product layer constituting about 2-2,5 mm, the optimal wavelength 3 mm, and the production time of dehydration amounts to allowable value, and temperatures do not exceed fruits $65-70 \text{ }^\circ\text{C}$, while vacuum amounts to $-0,8 \text{ atm}$.

8. As a result of an experimental research the influence of vibration on the technological process of drying found that dehydration efficiency increases to 4-5% in the conditions continuous heating - at a certain frequency and amplitude. It is shown that the composition of preservation inulin shredded pulp from jerusalem artichoke tubers in a process of vacuum drying amounts to infrared to 45,4 mg%, and the slices of tubers of jerusalem artichoke to 38,75 mg%, and thus the safety of ascorbic acid in the fruit pulp under vacuum rosehip infrared-drying up to 0,77 mg%. As part of the same fraction of the seeds rose hips contains ascorbic acid at a vacuum infrared drying up to 4,0 mg%.

9. A result of researches established that using the method of vacuum drying with an infrared heating and the reflector at a temperature no higher than $60-70 \text{ }^\circ\text{C}$ allows save electric energy by 10-12%, and a full structure of vitamins and other biologically active substances (inulin and ascorbic acid) in the final product is 80-90%.

10. Modernized technological line for producing a powder of jerusalem artichoke with a vacuum drying installation with infrared heating and hammer mill. Developed and implemented an aerodynamic separator for fractionation (pulp, seeds, fluff) crushed rose hips. On the basis of these results is recommended for implementation in the industry to develop technological regulation for the production of powder from the tubers of jerusalem artichoke varieties «Muzhiza» and the rose hips.

11. 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 «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 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. (02.00.00; №10).

4. Сафаров Ж.Э., Фахрутдинов Р.Р. Зайнидинов А. Ускорение процесса сушки // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2012. -№1-2. -С.102-107. (02.00.00; №11).

5. Норкулова К.Т., Фахрутдинов Р.Р., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М. Дискретная сушка клубней топинамбура с сохранением биологически активных веществ // Хранение и переработка сельхозсырья. - Москва, 2013. -№7. -С.13-14. (02.00.00; №25).

6. Сафаров Ж.Э. Установка с вибромеханизмом для сушки топинамбура в вакууме с ИК-нагревом // Хранение и переработка сельхозсырья. -Москва, 2014. -№1. -С.49-51. (02.00.00; №25).

7. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Влияние способов сушки на качество продукции из плодов шиповника // Хранение и переработка сельхозсырья. -Москва, 2014. -№10. -С.44-46. (02.00.00; №25).

8. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. О технологической последовательности переработки плодов шиповника // Хранение и переработка сельхозсырья. - Москва, 2014. -№11. -С.9-11. (02.00.00; №25).

9. 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. (02.00.00; №10).

10. 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. (02.00.00; №10).

11. 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. (02.00.00; №6).

12. Сафаров Ж.Э. Расчет траекторий частиц плодов шиповника для разделения на фракции и параметров конусного сепаратора // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2014. -№4. -С.122-126. (02.00.00; №11).

13. Safarov J.E. Development process and apparatus for drying rosehips // European Applied Sciences. Germany, 2015. №5. -pp.64-66. (02.00.00; №4).

14. 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).

15. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Техника и технология сушки плодов шиповника// Химия и химическая технология. ТашХТИ. –Ташкент, 2016. -№1. - С.75-78. (02.00.00; №3).

16. Сафаров Ж.Э. Модель движения влаги в капиллярно-пористых материалах // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2016. -№1. -С.19-30. (02.00.00; №11).

17. Сафаров Ж.Э. Разработка технологической схемы переработки клубней топинамбура и плодов шиповника // Пищевая промышленность. - Москва, 2016. -№3. -С.38-40. (02.00.00; №18).

18. Norkulova K., Safarov J., Sultanova Sh. Research on aerodynamics separator for medicinal plants. // Journal of Food Processing & Technology. – USA, 2016. Vol.7, Issue 5. (№25. Directory of Open Access Journals. Impact Factor -2.3).

19. 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.

II бўлим (II часть; Part)

20. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Программное обеспечение математических моделей технологии сушки клубней топинамбура и плодов шиповника. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство №DGU 03533, 12.02.2016 г.

21. Норкулова К.Т., Маматкулов М.М., Сафаров Ж.Э. Молотковая мельница. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Патент на полезный модель FAP 01139 от 19.09.2016 г.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

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

26. 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.

27. 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.

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

29. 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.

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

31. 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.

32. 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.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

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

37. 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.

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

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

40. 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.

41. 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.

42. 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.

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

44. 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.

45. 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.

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

Автореферат «Кимё ва кимё технология» журнали таҳририятида
тахрирдан ўтказилди.

Бичими 60x84^{1/16}. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.

Шартли босма табағи: 5,5. Адади 100. Буюртма № 37.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.