

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

ЗАГОРУЛЬКО АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 641.447:664.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ІЧ-СУШІННЯ
ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ
ТА ЙОГО АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному університеті харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кіптєла Людмила Василівна,
Харківський державний університет харчування та торгівлі, професор кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Паламарчук Ігор Павлович,
Вінницький національний аграрний університет, завідувач кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. професора П.С. Берника

кандидат технічних наук, доцент
Якобчук Роман Леонідович,
Національний університет харчових технологій, доцент кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Захист відбудеться «15» грудня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.088.01 Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Автореферат розісланий «15» листопада 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Онищенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ураховуючи складний екологічний стан в Україні, сьогодні одним із головних завдань харчової промисловості є виробництво напівфабрикатів природного походження для забезпечення потреб населення. На сьогодні на території України збирається близько 1,6 млн тонн природної плодово-ягідної сировини на рік, однак фактична її переробка у сушені напівфабрикати складає всього 45 тис. тонн. Основною причиною цього є відсутність прогресивних технологій та устаткування для переробки сировини в сушені напівфабрикати, що забезпечує збереження біологічно активних речовин (БАР). Удосконалення існуючих способів і розробка ефективного обладнання для сушіння плодово-ягідної сировини забезпечать розширення асортименту, зменшення витрат на їх виробництво та зберігання.

У вказаному напрямі широко відомими є праці таких учених, як М. І. Беляєв, О. І. Черевко, В. М. Михайлов, М. О. Грішин, Ю. Ф. Снежкін, Р. Ю. Павлюк, О. Г. Бурдо, М. І. Погожих, В. О. Потапов, В. В. Погарська, Л. В. Кіптела, В. І. Маяк, В. П. Плевако, О. О. Завалій та ін.

На сьогодні одним із способів переробки плодово-ягідної сировини у сушені напівфабрикати є використання ІЧ-технології. Існуюче сушарне устаткування має рефлекторні блоки, які збільшують їх металоємність та не завжди забезпечують рівномірність розподілу теплового потоку на приймальних поверхнях, що призводить до втрат БАР у сировині за рахунок використання інерційних ІЧ-випромінювачів із високими температурами робочих поверхонь і фіксованими геометричними розмірами. Тому необхідно детальніше визначити раціональні геометричні форми рефлекторів з використанням сучасних малоінерційних та металоємних випромінювачів, що не потребують використання рефлекторів та забезпечують рівномірність теплового потоку. Отже, є актуальним удосконалення процесу виробництва сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини та його апаратурного оформлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематичних планів наукових досліджень кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв ХДУХТ у межах держбюджетних тем: №1-11БО (0109U000354) «Розробка прогресивних енерго- та ресурсозберігаючих процесів та обладнання для теплової обробки харчової сировини»; №1-13БО (0113U000156) «Розробка прогресивних енерго- та ресурсозберігаючих процесів та обладнання для концентрування та сушіння харчової сировини».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енерго- та ресурсоефективності процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та його апаратурне оформлення.

З огляду на мету дисертаційної роботи, необхідно було вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан виробництва сушених напівфабрикатів з плодово-ягідної сировини та процесів сушіння;

- визначити раціональні положення ІЧ-випромінювача і приймача в ІЧ-сушарці при верхньому положенні рефлектора;
- розробити математичну модель ІЧ-нагрівання при однобічному розташуванні рефлекторів за межами приймача;
- дослідити поглинаючу здатність яблучної сировини і встановити раціональний діапазон ІЧ-хвилі при використанні під час сушіння безрефлекторного гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу (ГПРЕнВТ) в якості нагрівачого елементу;
- розробити спосіб визначення впливу вмісту домішок багатокомпонентних плодово-ягідних паст на їх структурно-механічні властивості;
- визначенні раціональної частоти вібрації при комбінованому застосуванні нагрівального елементу ГПРЕнВТ та вібраційного механізму;
- вдосконалити конструкцію нагрівального елементу ГПРЕнВТ і на його основі розробити ІЧ-сушарки безрефлекторного типу для сушіння плодово-ягідної сировини;
- запропонувати принципові схеми виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів на основі ІЧ-сушіння з використанням в якості випромінювача ГПРЕнВТ;
- оцінити економічну ефективність науково-технічної розробки та здійснити заходи щодо впровадження результатів роботи у виробництво та навчальний процес.

Об'єкт дослідження – процес сушіння плодово-ягідної сировини під час ІЧ-обробки та його апаратурне оформлення.

Предмет дослідження – плодово-ягідна сировина (яблуко, айва, бузина чорна, зизифус, чорниця) та обладнання для її сушіння.

Методи дослідження: теоретичні та експериментальні методи досліджень тепломасообміну під час ІЧ-випромінювання, комп'ютерне моделювання, методи спектрально-оптичного аналізу та методи визначення фізико-хімічних властивостей плодово-ягідної сировини.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення енерго- та ресурсоефективності сушіння в процесах виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень:

- визначено прийнятні висоти розташування ІЧ-випромінювача та приймача за умов використання синусоїдального і напівциліндричного рефлекторів при розміщенні їх над приймачем;
- розроблено математичну модель ІЧ-нагрівання при однобічному розташуванні рефлекторів за межами приймача, що дозволяє визначити їх раціональні форми для забезпечення рівномірності розподілу теплової енергії на поверхнях приймача;
- визначено раціональний діапазон поглинаючої здатності яблучної сировини, що відповідає випромінюючій здатності нагрівачого елементу ГПРЕнВТ;

– доведено скорочення тривалості процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини при спільному використанні ГПРЕНВТ та вібраційного механізму.

Практичне значення одержаних результатів:

– запропоновано ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами, яка забезпечує рівномірний розподіл теплової енергії на поверхнях приймачів;

– доведено раціональність використання в якості нагрівачого елементу ГПРЕНВТ для проведення процесів ІЧ-сушіння;

– розроблено спосіб визначення впливу вмісту домішок багатокомпонентних плодово-ягідних паст на їх структурно-механічні властивості;

– розроблено апарати безрефлекторного типу на основі вдосконаленого нагрівального елементу ГПРЕНВТ: вальцьова ІЧ-сушарка з безпосередньою подачею багатокомпонентної сировини в зону сушіння та вертикальна циліндрична (ВЦ) ІЧ-сушарка з вібраційним механізмом та спіральним теплообмінним пристроєм;

– запропоновано принципові схеми виробництва сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини на основі ІЧ-сушіння з використанням в якості випромінювача ГПРЕНВТ;

– розроблено та затверджено технічну документацію на ВЦ ІЧ-сушарку.

Реалізація роботи. Результати дисертаційної роботи було апробовано та впроваджено на підприємствах – ТОВ «Сахновщанський завод продтоварів» Харківська обл., Сахновщинський р-н, смт. Сахновщина (акти від 01.12.2014 р.), ТОВ фірма Люботин «ЛТД» Харківської обл., м. Люботин (акт від 01.12.2015 р.), ТОВ Аграрно-промислова фірма «СВІТЛАНА» Харківської обл., м. Люботин (акт від 07.12.2015 р.) та ВАТ «Люботинський хлібозавод» Харківської обл., м. Люботин (акт від 14.12.2015 р.). Упроваджено в навчальний процес ХДУХТ апарат ІЧ-сушіння з раціональною формою рефлектора (акт від 15.12.2014 р.). На фінансовій основі передані в тимчасове володіння ТзОВ «МС ХОЛОД» об'єкти інтелектуальної власності: патент України на винахід № 106461 «ІЧ-сушарка для сушіння органічної рослинної сировини» та патент України на корисну модель № 90048 «Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодово-ягідних паст».

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, формулюванні мети досліджень, постановці завдань досліджень, проведенні патентного пошуку та теоретичних розрахунків, розробці експериментальних установок, здійсненні наукових експериментів, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів, підготовці матеріалів до публікації та складанні заявок на винахід і корисні моделі, розробці інструкції з експлуатації сушарного апарата і проведенні заходів із впровадження науково-технічних розробок у виробництво та навчальний процес.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на всеукраїнській науково-практичній конференції «Вода в харчових продуктах і для харчових продуктів (м. Харків, 2013 р.), IV міжнародній науково-технічній конференції «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (м. Санкт-Петербург,

2013 р.), міжнародній науково-практичній конференції з елементами наукової школи для студентів і аспірантів (м. Санкт-Петербург, 2013 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства» (м. Алмати, 2014 р.), на міжвузівському науково-практичному семінарі «Нові технології і обладнання харчових виробництв» (м. Полтава, 2014 р.), IV міжнародній конференції «Наука в современном информационном обществе» (North Charleston, USA, 2014 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні засади сталого розвитку національного господарства» (м. Кам'янець-Подільський, 2014 р.), 80 міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2014 р.), всеукраїнській науково-практичній конференції до 25-річчя факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ «Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини» (м. Харків, 2015 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (м. Харків, 2016 р.).

Зразки наукових розробок були представлені на спеціалізованій виставці з міжнародною участю «Освіта Слобожанщини та кіберпростір – 2014» (м. Харків, 2014 р.), на виставках наукових розробок ХДУХТ (м. Харків, 2015 р.), на Сьомій спеціалізованій виставці наукових розробок з міжнародною участю «Освіта Слобожанщини та навчання за кордоном – 2015» (м. Харків, 2015 р.), що проводилася в рамках міжнародного інвестиційно-консультаційного бізнес-форуму «Європа без кордонів» (м. Харків, 2015 р.), на виставці наукових розробок у масштабах соціального заходу з популяризації науки для дітей і молоді «Наукові пікніки» (м. Харків, 2015 р.), на виставці наукових розробок, що проводилася в рамках масштабного заходу «Ніч науки в Харкові» (м. Харків, 2015 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 30 наукових праць, у тому числі: 10 статей, серед яких 6 – у наукових фахових виданнях України (з них 1 – у виданні, яке включено до наукометричних баз), 3 – у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямом, з якого підготовлено дисертацію, 1 – у електронному науковому періодичному виданні з напрямом, з якого підготовлено дисертацію; 1 патент України на винахід та 8 патентів України на корисну модель; 11 матеріалів конференції та тез доповідей.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 183 найменування, у тому числі 15 іноземних, та 15 додатків. Основний зміст роботи викладено на 156 сторінках друкованого тексту, що містить 54 рисунки та 24 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та показано її значення для вирішення завдання з підвищення енерго- та ресурсоефективності процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та його

апаратного оформлення. Сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та впровадження отриманих результатів, публікації автора з теми дисертаційної роботи, її структуру та обсяг.

У **першому розділі** «Аналіз сучасного стану виробництва сушених напівфабрикатів з плодово-ягідної сировини та процесу ІЧ-сушіння» здійснено узагальнення літературних даних для формулювання мети та завдань досліджень. Визначено перевагу використання ІЧ сушіння плодово-ягідної сировини, а існуюче устаткування характеризується тривалістю термічної обробки, нерівномірністю розподілу теплових потоків, відсутністю енергозбереження. Використання рефлекторів призводить до штучного збільшення металоємності та зменшення корисної площі апарата, тому необхідно використовувати їх раціональні геометричні форми залежно від просторового розміщення та намагання створення безрефлекторного устаткування з рівномірним розподілом теплових потоків. Аналіз ІЧ-випромінювачів зумовлює необхідність досліджень ГПРЕНВТ для створення сучасних низькотемпературних, безрефлекторних ІЧ-сушарок.

У **другому розділі** «Об'єкт, предмет, методики досліджень та експериментальні установки» визначено об'єкт, предмет досліджень дисертаційної роботи та розроблено принципову схему моделі експериментальної ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом для штатива із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм (рис. 1).

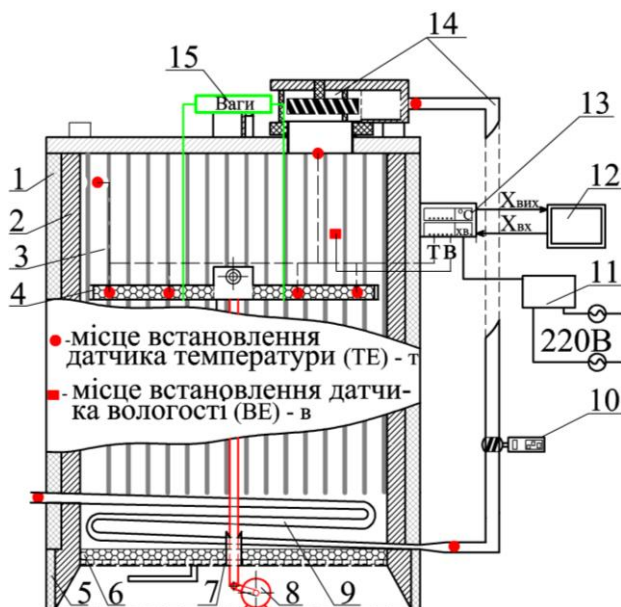


Рис. 1. Принципова схема ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом для штатива із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм: 1 – вертикальна циліндрична робоча камера; 2 – теплоізолюючий листовий ізолон; 3 – ГПРЕНВТ; 4 – сітчастий піддон; 5 – стійки; 6 – розподільча решітка; 7 – регулююча засувка; 8 – вібраційний механізм; 9 – теплообмінний спіральний пристрій; 10 – анемометр «DT-318»; 11 – лічильник електроенергії «Gross DDS-UA»; 12 – персональний комп'ютер (ПК); 13 – контрольно-вимірювальний пристрій «TRM101»; 14 – витяжний вентилятор, що з'єднаний з теплоізолюваним трубопроводом; 15 – ваги «Radwag»

Наведено методики з визначення: рівномірності розподілу теплового потоку в ІЧ-сушарках за допомогою комп'ютерної програми TracePro;

спектрально-оптичної характеристики яблук сорту Антонівка; структурно-механічних властивостей трикомпонентних плодово-ягідних паст.

У третьому розділі «Результати досліджень процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та апаратів для його реалізації» розроблено схему ІЧ-сушарка з верхнім розташуванням рефлектора (рис. 2) для визначення оптимальних висот розташування ІЧ-випромінювача та приймача за умов використання рефлекторів синусоїдальної і напівциліндричної форми в процесі сушіння плодово-ягідної сировини.

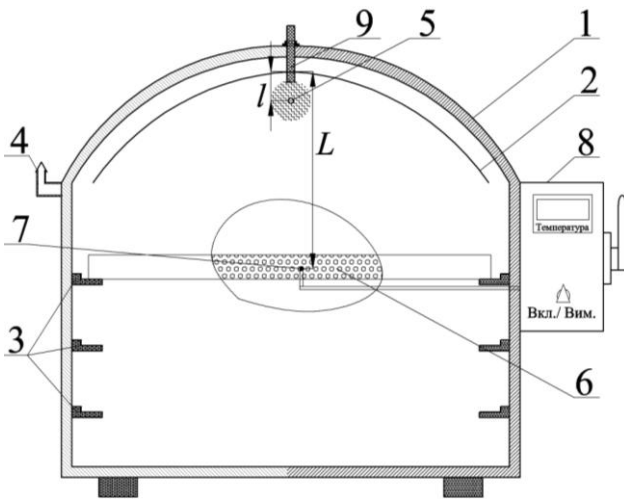


Рис. 2. Схема експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора: 1 – робоча камера; 2 – напівциліндричний або синусоїдальний рефлектор; 3 – напрямні для піддонів; 4 – патрубок для відведення пари; 5 – лінійний кварцовий ІЧ-випромінювач; 6 – сітчастий піддон; 7 – термопари; 8 – регулятор температури «ТРМ101»; 9 – шпилька; l – висота розташування ІЧ-випромінювача; L – висота розташування приймача

У результаті визначено прийнятні висоти розташування ІЧ-випромінювача та приймача за умов використання форми рефлекторів: напівциліндрична – висота розташування ІЧ-випромінювача $l = 0,05$ м, приймача $L = 0,225$ м із тривалістю процесу ІЧ-сушіння, $\tau = 150$ хв.; синусоїдальна – ($l = 0,025$ м, $L = 0,225$ м, тривалість процесу $\tau = 155$ хв.).

Установлено, що установка з одним випромінювачем має обмежену потужність та не завжди забезпечує потрібний тепловий потік на приймальній поверхні, а верхнє розташування рефлектора призводить до збільшення геометричних розмірів апарата.

Аналіз попередніх досліджень дозволив спроектувати ІЧ-сушарку з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами (рис. 3).

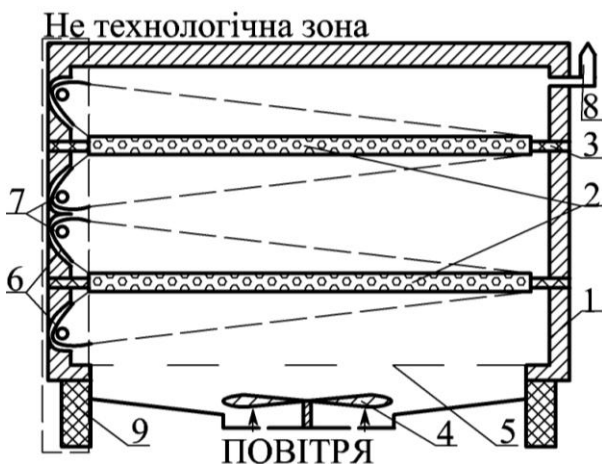


Рис. 3. ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами: 1 – теплоізолюючий корпус; 2 – приймальна поверхня (сітчастий піддон); 3 – напрямні для лотоків; 4 – нагнітач повітря; 5 – розподільча решітка; 6 – рефлектори; 7 – ІЧ-випромінювачі; 8 – патрубок відведення пароповітряної суміші; 9 – стійки

Для визначення рівномірності розподілу теплового потоку в експериментальній ІЧ-сушарці з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами потрібно розглянути її теплотехнічну систему з зазначенням схеми перерізу площиною (рис. 4), яка проведена нормально до осей рефлекторів та складається з кварцового прямолінійного ІЧ-випромінювача, рефлекторів та приймальної поверхні теплових променів (сітчастого піддона з плодово-ягідною сировиною).

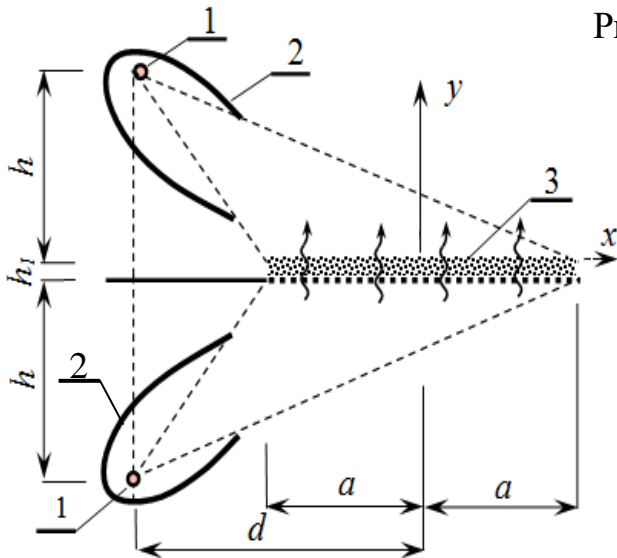


Рис. 4. Схема теплотехнічної установки з винесеними за межі приймальної поверхні рефлекторами: 1 – ІЧ-випромінювачі; 2 – рефлектори; 3 – приймальна поверхня (сітчастий піддон), де: x, y – осі координат; a – ширина приймача; h – висота розташування ІЧ-випромінювачів над приймачем з продуктом, h_1 – товщина заповненого приймача; d – віддаль у горизонтальному напрямку від середини приймача до ІЧ-випромінювачів; ξ – відносна координата

Густина ІЧ-опромінювання робочої поверхні верхнім рефлектором $q = \text{const}$ складається з двох величин:

$$q = q_1(x) + q_2(x), \quad (1)$$

де $q_1(x)$ – густина опромінювання поверхні продукту ІЧ-променями, що надходять безпосередньо від випромінювача, оминаючи рефлектор; $q_2(x)$ – густина опромінювання продукту ІЧ-променями, які віддзеркалилися від рефлектора.

Нехай один погонний метр ІЧ-випромінювача щосекунди випромінює Q одиниць теплової енергії. Тоді, якщо знехтувати втратами енергії на шляху від джерела до приймача, густина опромінювання робочої поверхні має дорівнювати:

$$q = \frac{Q}{2a}. \quad (2)$$

Згідно з попередніми розрахунками $p, p_1(\xi), p_2(\xi), (\xi = x/a)$,

$$q_1(x) = \frac{Qh}{2\pi[(x+a)^2 + h^2]}. \quad (3)$$

Перейдемо від густин $q, q_1(x), q_2(x)$ до безрозмірних величин $p, p_1(\xi), p_2(\xi)$, де відносна координата $\xi = x/a$, які називатимемо «функціями опромінювання». Для цього покладемо:

$$q = \frac{Q}{2a} \cdot p, \quad q_1(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p_1(\xi), \quad q_2(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p_2(\xi) \quad (4)$$

та введемо безрозмірні параметри: $k = h/\alpha$, $\delta = d/\alpha$, тоді випливає:

$$p = 1, \quad p_1(\xi) = \frac{k}{\pi} \cdot \frac{1}{(\xi - \delta)^2 + k^2}, \quad p_2(\xi) = 1 - p_1(\xi). \quad (5)$$

Залежно від геометричного профілю рефлектора розглянемо віддзеркалення променів і припустимо, що в довільну точку K поверхні продукту з відносною координатою ξ (рис. 5) потрапляє промінь, який відбився від точки M рефлектора. Положення точки M можна характеризувати двома координатами – ρ і φ , де радіус ρ є безрозмірною величиною.

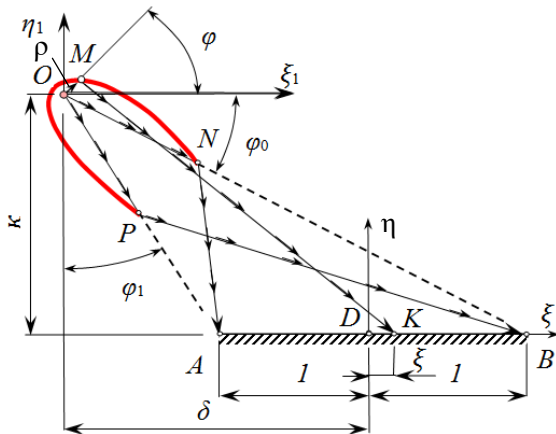


Рис. 5. Схема віддзеркалених від рефлектора ПЧ-променів

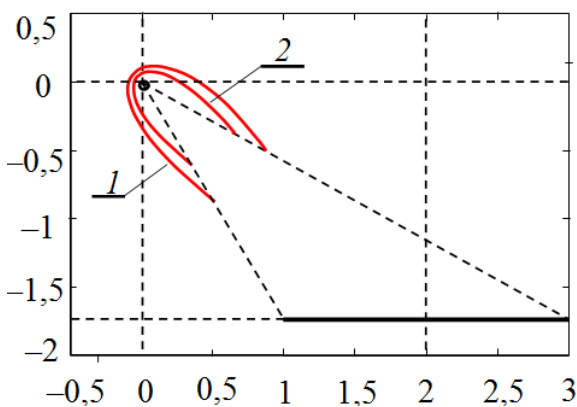


Рис. 6. Можливі раціональні форми рефлекторів

Змінні ρ , φ і ξ пов'язані між собою такою диференціальною залежністю:

$$\frac{d\rho}{d\xi} = -\rho \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot \cos \varphi + \xi + \delta}{(\rho_1 + \rho) \cdot \sin \varphi + k} \cdot \psi. \quad (6)$$

де:

$$\rho_1 = \sqrt{(\rho \cos \varphi - \xi)^2 + (\rho \sin \varphi + k)^2}, \quad \psi = \frac{d\varphi}{d\xi}.$$

Енергія, яка випромінюється за 1 с. одним погонним метром ПЧ-випромінювача в куті $\angle NOM$, дорівнює:

$$\frac{Q}{2\pi} \cdot (\varphi + \varphi_0) = \frac{Q}{2\pi} \cdot \left(\varphi + \text{ark tg} \frac{k}{\delta + 1} \right). \quad (7)$$

Рівняння (6) розв'язувалося методом Рунге-Кутта для випадку, коли $\delta = 2$ та $k = \sqrt{3}$ для двох початкових значень $\rho = \rho_N$, що дозволило визначити раціональні форми рефлекторів (рис. 6): $\rho_N = 1$ (1) та $\rho_N = 0,75$ (2), які забезпечують рівномірний розподіл теплової енергії на верхній та нижній приймальній поверхні в ПЧ-сушарці з винесеними за межі приймальної поверхні рефлекторами.

Для вдосконалення процесу ПЧ-сушіння були визначені раціональні діапазони поглинаючої здатності яблочної сировини, а саме: 3, 6, 9 та 12...15 мкм. Також за співвідношенням Вина визначено температуру робочої поверхні випромінювачів, що підтверджує ефективність використання в якості нагрівачого елементу ГПРЕНВТ (241...193 К) зі сприятливим діапазоном випромінюючої здатності ПЧ-хвилі 5...15 мкм (табл. 1).

Порівняно інерційні та динамічні властивості за температури 60° С: ТЕНу (тривалість нагрівання $\tau=68$ с, а вихід на постійну температуру робочої

поверхні без урахування інерційності $\tau=96$ с); кварцової лампи ($\tau=70$ с, $\tau'=100$ с); керамічного електронагрівача ($\tau=68$ с, $\tau'=94$ с); ГПРЕНВТ ($\tau=\tau'=87$ с), що характеризує рівномірну температуру робочої поверхні, низьку інерційність та чітку динаміку роботи останнього.

Таблиця 1

Визначення довжини ІЧ-хвилі відповідно до температури робочої поверхні ІЧ-випромінювача за співвідношенням Вина

Довжина хвилі ІЧ-випромінювача λ , мкм	Температура поверхні випромінювача, К	Тип ІЧ-випромінювачів
3...4	730...960	ТЕНи, кварцові лампи, керамічні електронагрівачі
6...7	420...483	
9...10	290...333	ГПРЕНВТ
12...15	241...193	немає

Визначено кінетику вологовмісту яблук сорту Антонівка при використанні кварцової лампи, ТЕНу та ГПРЕНВТ, яка показала, що використання в якості нагрівального елемента ГПРЕНВТ забезпечує найменшу тривалість процесу сушіння – 180 хв (рис. 7).

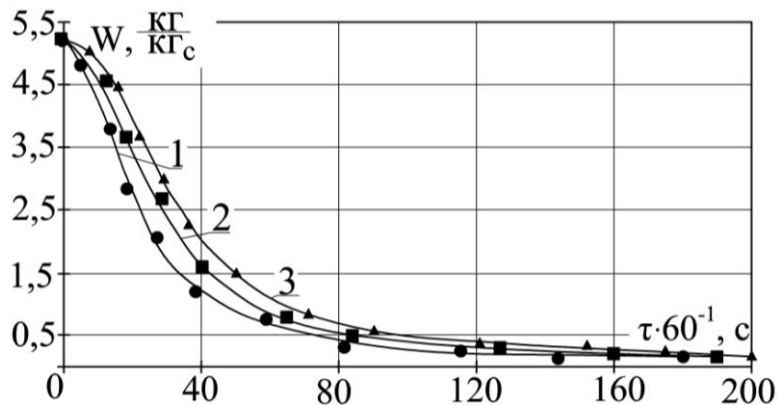


Рис. 7. Кінетика вологовмісту яблук сорту Антонівка: 1 – ГПРЕНВТ; 2 – кварцова лампа; 3 – ТЕН

Визначено вплив потужності нагрівальних елементів: ГПРЕНВТ (480 Вт), кварцової лампи (1000 Вт), ТЕНу (1500 Вт) на температуру нагрівання яблучної сировини нарізаної паралелепіпедом з площею поверхні $F = (3,78...34,0) \cdot 10^{-4}$ м. При тривалості процесу 60 с та відстані від випромінювача до приймача 0,15 м, встановлено максимальну сировини $t = 139^\circ \text{C}$ (ТЕН) та мінімальну її температуру $t = 61^\circ \text{C}$ (ГПРЕНВТ), що забезпечує прийнятну температуру для сушіння плодово-ягідної сировини та підтверджує ефективність використання ГПРЕНВТ для створення безрефлекторних ІЧ-сушарок.

При комбінованому застосуванні ПРЕНВТ та вібраційного механізму встановлено раціональну частоту вібрації сировини – 4 с^{-1} з тривалістю процесу 145 хв, відповідно до кінетики вологовмісту яблучної сировини, що забезпечує зменшення тривалості процесу сушіння на 21% (рис. 8).

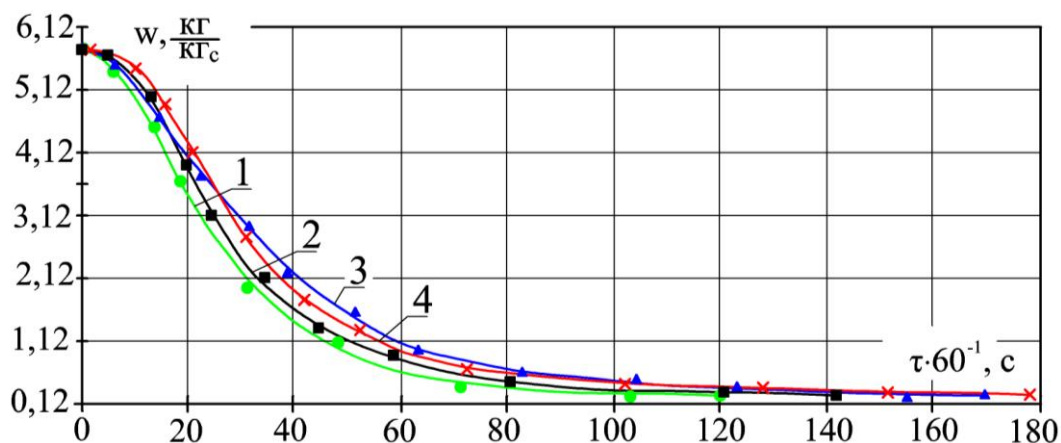


Рис. 8. Кінетика вологовмісту яблучної сировини залежно від частоти вібрації сітчастих піддонів у ВЦ-ІЧ-сушарці: 1 – 6 с^{-1} ; 2 – 4 с^{-1} ; 3 – 2 с^{-1} ; 4 – «чисте» ІЧ-сушіння

Недоліком існуючих ГПРЕНВТ за умов використання в ІЧ-сушарках є можливість попадання паровмісної складової у місця з'єднання з електромережею та невисока механічна міцність. Для усунення недоліків під час проєктування сушарок безрефлекторного типу вдосконалено конструкцію ГПРЕНВТ шляхом збільшення шарів захисної плівки, що забезпечує підвищення його міцності та наявність відведень для підключення до електромережі.

На підставі отриманих результатів сформульовані конструкторські передумови для вдосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та розробки сушарок безрефлекторного типу на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ.

Для виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів запропоновано вальцюву ІЧ-сушарку на основі ГПРЕНВТ з безпосередньою подачею сировини в зону сушіння (рис. 9).

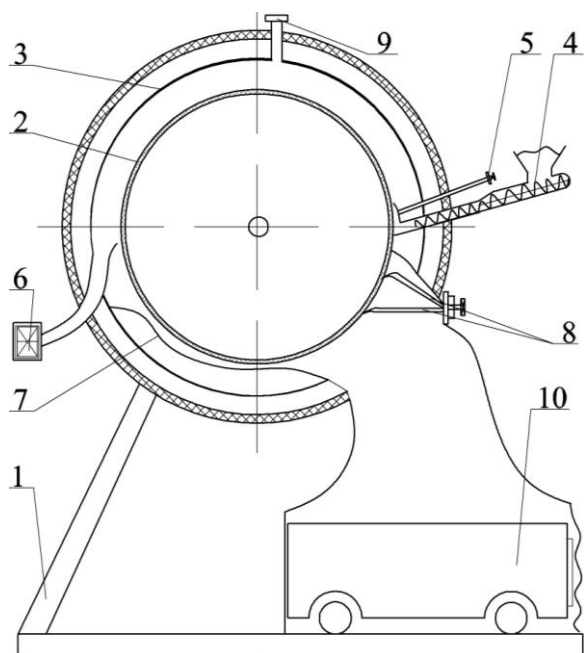


Рис. 9. Вальцюва ІЧ-сушарка безрефлекторного типу безперервної дії для сушіння багатокомпонентних напівфабрикатів: 1 – опора; 2 – рифлений барабан; 3 – ГПРЕНВТ; 4 – нагнітаючий шнек з прямокутною цавкою; 5 – прижимний пристрій з підпружиненою пластиною; 6 – вентилятор; 7 – захисний екран; 8 – зрізаючі ножі; 9 – патрубок відведення паровітряної суміші; 10 – накопичувальна ємність

З метою скорочення часу обробки плодово-ягідної сировини у вигляді пюре попередньо концентрується у роторно-плівковому апараті (РПА) до вмісту сухих речовин (СР) 28...30% за температури 50...70° С протягом 0,7...1 хв, після чого подається на досушування у вальцову ІЧ-сушарку безрефлекторного типу за температури 45...60° С та товщини шару сировини 1 мм (рис. 10).

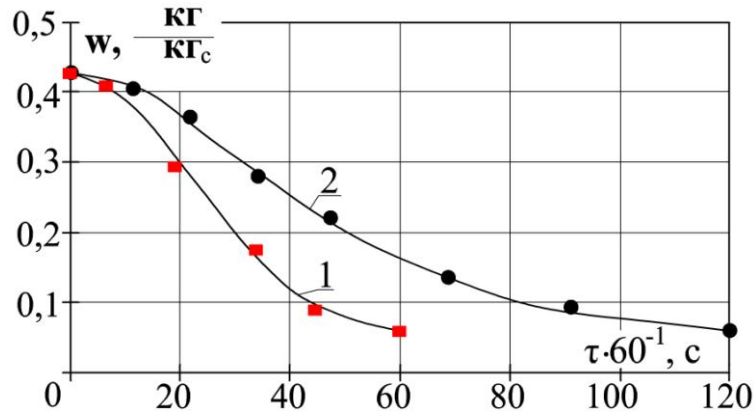


Рис. 10. Кінетика вологовмісту багатокomпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини при досушуванні у вальцовій ІЧ-сушарці (товщина шару сировини 1 мм): 1 – за температури 60° С; 2 – за температури 45° С

Для визначення впливу складових багатокomпонентних паст на формування структурно-механічних властивостей в отриманих харчових масах під час зміни співвідношення компонентів використовували дисперсність продукту, а саме диференціальну функцію розподілу (ДФР) пор за радіусами $f(r)$, яка характеризується середнім радіусом пористої структури продукту \bar{r} :

$$\bar{r} = \int_{r_{min}}^{r_{max}} r f(r) dr, \quad (8)$$

де r_{min} – мінімальний радіус мікрокапілярів; r_{max} – максимальний радіус мікрокапілярів.

Установлено, що в композиції №1 (яблуко, айва, бузина чорна) відбувається зниження дисперсності з вмістом айви від 25 до 35% та зростання дисперсності зі збільшенням концентрації айви до 45% ($\bar{r}=1,82$ нм, рис. 11). А в композиції №2 (яблуко, зизифус, чорниця) зі збільшенням вмісту зизифусу від 25 до 35% ($\bar{r}=1,5$ нм) відбувається збільшення дисперсності паст, а зі збільшенням вмісту зизифусу до 45%, навпаки, зниження дисперсності (рис 12).

Аналіз дисперсності дозволяє оцінити вплив кожної з домішок на структурно-механічні властивості отриманого напівфабрикату.

Стрімкий розвиток фермерських господарств розташованих біля місць збирання плодово-ягідної сировини зумовлює доцільність досліджень процесу сушіння в періодичних апаратах, наприклад, у розробленій ВЦ ІЧ-сушарці з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря.

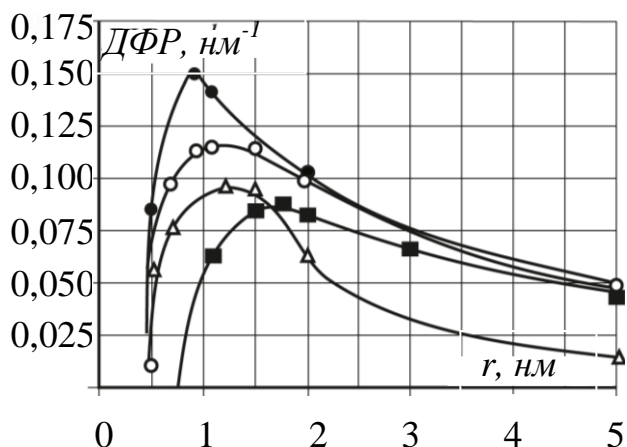


Рис. 11. Диференційна функція розподілу пор за радіусами в багатокомпонентній пасті №1 за різного вмісту плодово-ягідної сировини:

- – (1а) 60% яблука, 25% айви, 5% бузини чорної;
- △ – (1б) 70% яблука, 25% айви, 5% бузини чорної;
- – (1в) 50% яблука, 45% айви, 5% бузини чорної 5%;
- – контроль (100% яблучної сировини)

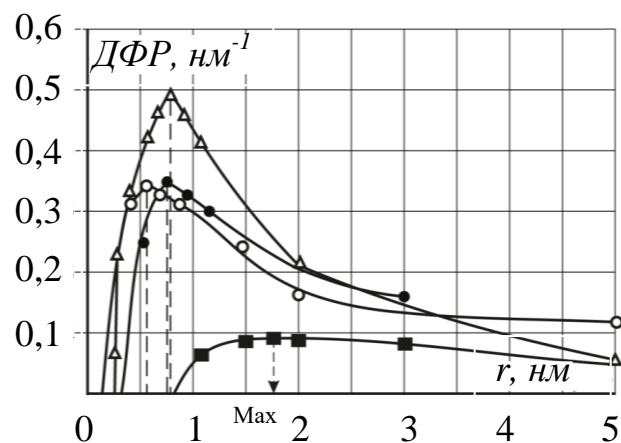


Рис. 12. Диференційна функція розподілу пор за радіусами в багатокомпонентній пасті №2 за різного вмісту плодово-ягідної сировини:

- – (2а) 60% яблука, 35% зизифуса, 5% чорниці;
- △ – (2б) – 70% яблука, 25% зизифуса, 5% чорниці;
- – (2в) – 50% яблука, 54% зизифусу, 5% чорниці;
- – контроль (100% яблучної сировини)

У **четвертому розділі** «Удосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та його апаратурне оформлення» запропоновано принципові схеми виробництва сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини на основі ІЧ-сушіння з використанням в якості нагріваючого елемента ГПРЕНВТ. Першою схемою виробництва передбачається попереднє концентрування багатокомпонентної сировини у роторно-плівковому апараті до вмісту 28...30% СР за температури 50...70° С протягом 0,7...1 хв та подальшим її досушуванням у вальцьовій ІЧ-сушарці за температур 45...60° С. Другою схемою передбачено проведення етапу сушіння попередньо нарізаної сировини в сушарці ВЦ ІЧ-20 з використанням вібрації та вторинного повітря. Визначено втрати вітаміну С при зберіганні сушеної яблучної сировини від 3...6 міс, що знаходиться в межах норм. Розроблена безрефлекторна сушарка ВЦ ІЧ-20 періодичної дії представлена на рис. 13.

Сушарка ВЦ ІЧ-20 на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ характеризується продуктивністю за випареною вологою 1,7 кг/год та витратою електроенергії на 1 кг випаруваної вологи $P = 0,85$ кВт·год/кг. Апарат може бути використаний на фермерських господарствах та в домашньому побуті відповідно до технічних вимог.

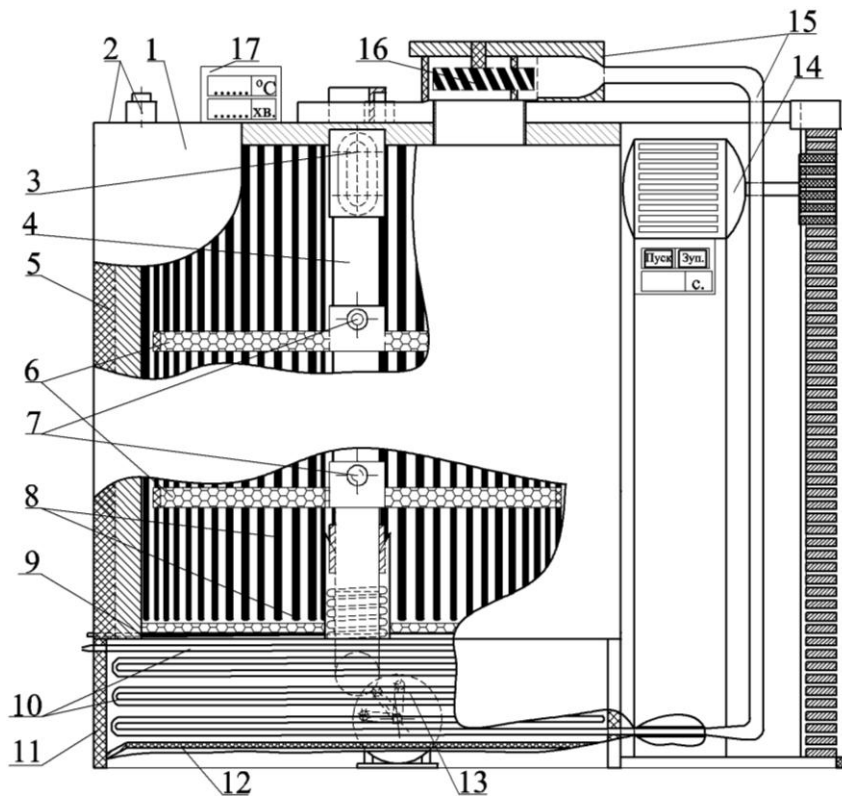


Рис. 13. Промислово-дослідницька сушарка ВЦ ІЧ-20: 1 – вертикальна циліндрична робоча камера; 2 – кришка із затяжними фіксаторами; 3 – фіксатор; 4 – штатив; 5 – теплоізолятор; 6 – сітчасті піддони; 7 – шпильки; 8 – ГПРЕНВТ; 9 – регулююча засувка; 10 – теплообмінний спіральний пристрій; 11 – стійки; 12 – розподільча решітка; 13 – вібраційний механізм; 14 – завантажувально-розвантажувальний механізм; 15 – нагнітаючий теплоізольований трубопровід; 16 – витяжний вентилятор; 17 – блок керування САУ

Розраховано ефективність використання теплообмінного спірального пристрою у сушарці ВЦ ІЧ-20, який забезпечить зниження сумарних витрат на 3,6%, витрат електроенергії на 1 кг випаровування вологи – на 6,6% та підвищення ККД апарата на 3,4%.

У п'ятому розділі «Практична реалізація результатів досліджень» розроблено інструкцію з експлуатації та технічного обслуговування ВЦ-ІЧ-сушарки та наведено перелік підприємств, на яких було здійснено впровадження (ТОВ «Сахновщанський завод продтоварів», ТОВ фірма Люботин «ЛТД», ТОВ Аграрно-промислова фірма «СВІТЛАНА», ВАТ «Люботинський хлібозавод» та на фінансовій основі передані в тимчасове володіння ТзОВ «МС ХОЛОД» об'єкти інтелектуальної власності). Економічний ефект від упровадження сушарки ВЦ ІЧ-20 визначається зниженням питомих енерговитрат на 36% порівняно із сушаркою на основі ТЕНів, річний економічний ефект становитиме 16,8 тис. грн, а термін окупності – 5 міс.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу літературних джерел встановлено необхідність розширення асортименту сушених виробів з високим вмістом біологічно активних речовин природного походження. Визначено переваги використання ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та обґрунтовано недоліки існуючого обладнання, які характеризуються тривалістю обробки, нерівномірним розподілом теплових потоків та низькими рівнем енергозбереження, що обумовлює необхідність досліджень в даному напрямку.

2. Визначено раціональні положення ІЧ-випромінювача і приймача в ІЧ-сушарці з верхнім розташуванням рефлектора (напівциліндричного, синусоїдального), що забезпечать рівномірності розподілу теплової енергії на приймачах. Розроблено математичну модель ІЧ-нагрівання при однобічному винесенні за межі приймача рефлекторів для визначення їх раціональної форми при проектуванні ІЧ-сушарок.

3. Визначено раціональні діапазони поглинаючої здатності яблучної сировини (3, 6, 9 та 12...15 мкм). Доведено раціональність використання нагрівального елемента ГПРЕНВТ для проведення процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини шляхом визначення його температури поверхні в діапазоні випромінюючої здатності 5...15 мкм.

4. Визначено раціональну частоту вібрації сировини (4 с^{-1}) при комбінованому застосуванні нагрівального елемента ГПРЕНВТ та вібраційного механізму, що забезпечує зменшення тривалості процесу сушіння на 21 %

5. Розроблено спосіб із визначення зміни структурно-механічних властивостей багатокомпонентних плодово-ягідних паст з різним вмістом компонентів, який заснований на визначенні дисперсності, а саме диференціальної функції розподілу пор за радіусом, що дозволяє оцінити вплив кожної з домішок на дисперсність отримуваних напівфабрикатів.

6. Вдосконалено безрефлекторний нагрівальний елемент ГПРЕНВТ шляхом збільшення шарів захисної плівки, чим забезпечується підвищення його міцності та наявністю відведень для підключення до електромережі. На основі вдосконаленого безрефлекторного нагрівального елемента ГПРЕНВТ розроблено два ІЧ-апарати безрефлекторного типу: вальцьову ІЧ-сушарку для сушіння багатокомпонентних напівфабрикатів з безпосередньою подачею сировини нагнітаючим шнеком на рифлену робочу поверхню барабана за умов обдування її повітряним потоком та наявністю зони досушування і захисного екрану в нижній частині для запобігання попадання сировини на випромінювач; сушарку ВЦ ІЧ-20 з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря.

7. Запропоновано принципові схеми виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів на основі ІЧ-сушіння з використанням в якості нагрівального елемента ГПРЕНВТ. Першою схемою передбачається попереднє концентрування багатокомпонентної сировини у роторно-плівковому апараті до вмісту 28...30% СР за температури 50...70° С протягом 0,7...1 хв та подальшим її

досушуванням у вальцьовій ІЧ-сушарці за температур 45...60° С. Другою схемою передбачено проведення етапу сушіння попередньо нарізаної сировини в сушарці ВЦ ІЧ-20 з використанням вібрації та вторинного повітря. Сушарка ВЦ ІЧ-20 характеризується продуктивністю за випареною вологою 1,7 кг/год та витратою електроенергії на 1 кг випаруваної вологи $P = 0,85 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$.

8. Здійснено заходи щодо впровадження наукових розробок у виробництво шляхом розробки та затвердження проектної документації на ВЦ ІЧ-сушарку та апробацію на підприємствах, виставках-ярмарках та наукових конференціях. Економічний ефект від упровадження сушарки ВЦ ІЧ-20 визначається зниженням питомих енерговитрат на 36% порівняно із сушаркою на основі ТЕНів, річний економічний ефект становитиме 16,8 тис. грн, а термін окупності – 5 міс.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Визначення профілів рефлекторів сушарок, які забезпечують рівномірне опромінювання продукту / В. П. Плевако, Л. В. Кіптєла, І. П. Педорич, А. М. Загорулько // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2013. – Вип. 44. – Т. 1. – С. 271–276. *Здобувачем запропоновано методу з визначення профілів рефлекторів і проведено експериментальні дослідження з підтвердження їх раціональної форми.*

2. Моделювання розповсюдження ІЧ-випромінювання в сушарках із циліндричною формою рефлектора / Л. В. Кіптєла, С. Ю. Саєнко, А. М. Загорулько // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2013. – Вип. 1 (17). – С. 123–129. *Здобувачем змодельовано розповсюдження теплових потоків в апараті з циліндричною формою рефлектора.*

3. IR-drying of non-traditional plant raw material / O. Cherevko, L. Kiptela, A. Zagorulko, A. Borysova // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. – 2013. – Year I, № 2. – Pp. 65–66. **Стаття у науковому періодичному виданні Республіки Болгарія.** *Здобувачем досліджено процес ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини.*

4. Киптєлая Л. В. Компьютерное моделирование распределения теплового потока в ИК-сушилке / Л. В. Киптєлая, С. Ю. Саєнко, А. Н. Загорулько // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2014. – Вип. 45. – Т. 3. – С. 89–93. *Здобувачем здійснено комп'ютерне моделювання з визначення рівномірності розподілу теплових потоків на приймачах.*

5. Інтенсифікація апаратів для виробництва порошкоподібних напівфабрикатів із рослинної сировини / Л. В. Кіптєла, О. Є. Загорулько, Н. О. Афукова, А. М. Загорулько // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2014. – Вип. 2 (20). – С. 94–102. *Здобувачем здійснено інтенсифікацію апаратів для виробництва порошкоподібних напівфабрикатів з рослинної сировини.*

6. Киптелая Л. В. ИК-сушилка органического плодоягодного сырья / Л. В. Киптелая, А. Н. Загорулько // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. – 2014. – Vol. 2. – Pp. 44–46. **Стаття у науковому періодичному виданні Республіки Словаччина.** *Здобувачем проведено дослідження з ІЧ-сушіння органічної плодово-ягідної сировини.*

7. Cherevko A. Modelling of thermal flow distribution in the infrared dryer / A. Cherevko, L. Kiptelaya, A. Zagorulko // The Advanced Science Journal. – 2014. – Issue 9. – Pp. 183–186. **Стаття у науковому періодичному виданні Сполучених Штатів Америки, яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Здобувачем проведено моделювання ІЧ-променів у вертикальній безрефлекторній ІЧ-сушарці.*

8. Киптелая Л. В. ИК-сушка плодоягодного сырья / Л. В. Киптелая, А. Н. Загорулько // Научный журнал Нац. исл. ун-т информ. техн. мех. и оптики. Серия: «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 3. – С. 80–86. **Стаття у науковому електронному періодичному виданні Російської Федерації.** *Здобувачем проведено дослідження з ІЧ-сушіння плодоягідної сировини.*

9. Загорулько А. Н. Исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок / А. Н. Загорулько, А. Е. Загорулько, Л. В. Киптелая // Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»: зб. наук. пр. / НТУ «ХП». – Х. : НТУ «ХП», 2015. – № 52 (1162). – С. 78–82. *Здобувачем наведено поетапні шляхи досліджень під час проектування енергоефективних ІЧ-сушарок.*

10. Кіптела Л. В. Вдосконалення обладнання для виробництва плодоягідних напівфабрикатів / Л. В. Кіптела, О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 2/10 (74). – С. 4–8. **Стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Здобувачем запропоновано поєднання двох апаратів з метою інтенсифікації технологічного процесу виробництва плодово-ягідних напівфабрикатів.*

11. Пат. на корисну модель 75479 Україна, МПК В01D 1/22. Роторний випарник / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько О. Є., Постольнік Д. В., Загорулько А. М.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201201439 ; заявл. 13.02.2012 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23. – 5 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки РПА та принцип дії.*

12. Пат. на корисну модель 75614 Україна, МПК В01D 1/24, А23В 7/028. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодово-ягідних паст / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько О. Є., Постольнік Д. В., Загорулько А. М.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – №u201205599 ; заявл. 07.05.2012 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки та принцип дії.*

13. Пат. на корисну модель 83943 Україна, МПК G01N 30/00 А23L1/06. Спосіб визначення міцності багатокомпонентної структури рослинної пасти /

Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Захаренко В. О., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и 2013 02710; заявл. 04.03.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, запропоновано методуку з визначення міцності багатокмпонентної структури рослинної пасти.*

14. Пат. на корисну модель 90048 Україна, МПК А23В 7/028, В01D 1/22. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодово-ягідних паст / Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Шустов А. В., Товпиґа Д. А.; заявник і патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и201314422 ; заявл. 09.12.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки та принцип дії.*

15. Пат. на корисну модель 90104 Україна, МПК А23В 7/028 В01D 1/22. ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и201314950 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки та принцип дії.*

16. Пат. на винахід 106461 Україна, МПК А23N 12/08 В01D 1/00. ІЧ-сушарка для сушіння органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № а201314949 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. – 5 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки та принцип дії.*

17. Пат. на корисну модель 103094 Україна, МПК А23В 7/00. Спосіб сушіння рослинної сировини в ІЧ-сушарці / Загорулько А. М., Кіптєла Л. В., Загорулько О. Є. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и 201413136 ; заявл. 08.12.2014 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, запропоновано технологічний процес та режимні параметри.*

18. Пат. на корисну модель 105349 Україна, МПК В01D 1/22. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодоягідних паст / Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Шустов А. В., Товпиґа Д. А. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и201510162 ; заявл. 19.10.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено принципову схему установки та принцип дії.*

19. Пат. на корисну модель 108041 Україна, МПК G05D 23/19, В01D 1/22, H05B 3/36. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу / Загорулько А. М., Загорулько О. Є.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № и201600827 ; заявл. 02. 20.2016 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук та розроблено вдосконалений ГПРЕНВТ.*

20. Кіптєла Л. В. Експериментальна ІЧ-сушарка плодово-ягідної сировини / Л. В. Кіптєла, А. М. Загорулько // Вода в харчових продуктах і для харчових продуктів : Всеукр. наук.-практ. конф, 16-17 травня 2013 р. : тези доп.

– Х. : ХДУХТ, 2013. – С. 28–29. *Здобувачем спроектовано експериментальну ІЧ-сушарку плодово-ягідної сировини.*

21. Кіптєла Л. В. Процес сушіння обліпихи ІЧ-випромінюванням / Л. В. Кіптєла, А. М. Загорулько, А. В. Шустов, Д. А. Товпіга // Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів. – Одеса, 2013. – Т. 1. – С. 122–123 с. *Здобувачем досліджено процес ІЧ-сушіння обліпихи.*

22. Киптєлая Л. В. Влияние размещения рефлектора в ИК-сушилке на процесс сушки плодово-ягодного сырья / Л. В. Киптєлая, А. Н. Загорулько // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке : IV Междунар. науч.-техн. конф., 13–15 ноября 2013 г. : материалы. – СПб. : Нац. исл. ун-т информ. техн. мех. и оптики, ин-т хол. и биотехнол. – С. 321–323. *Здобувачем визначено вплив розташування рефлектора в ІЧ-сушарці на процес сушіння плодово-ягідної сировини.*

23. Киптєлая Л. В. Производство фруктовой пасты с использованием дикорастущих плодов и ягод / Л. В. Киптєлая, А. Е. Загорулько, А. Н. Загорулько // Экономика и технологии в инновационном развитии общества XXI века : междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы для ст. и аспирантов, 2013 : материалы. – СПб. : Изд-во «Лема». – С. 91–94. *Здобувачем досліджено виробництво фруктових паст з використанням дикорослої плодово-ягідної сировини.*

24. Cherevko A. I. Heat flow distribution in the infrared dryer / A. I. Cherevko, L. V. Kiptela, A. N. Zagorulko // Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства : междунар. науч.-практ. конф., 16–17 октября 2014 г. : материалы. – Алмата : АТУ, 2014. – С. 143–145. *Здобувачем досліджено процес ІЧ-сушіння.*

25. Кіптєла Л. В. Вертикальна ІЧ-сушарка / Л. В. Кіптєла, А. М. Загорулько // Нові технології і обладнання харчових виробництв : міжвуз. наук.-практ. семінару, 20 березня 2014 р. : матеріали. – Полтава : ВНЗ заклад Укоопспілки «ПУЕТ», 2014. – С. 39–41. *Здобувачем спроектовано вертикальну ІЧ-сушарку.*

26. Киптєлая Л. В. Моделирование теплового потока в ИК-сушилке / Л. В. Киптєлая, С. Ю. Саенко, А. Н. Загорулько // Наука в современном информационном обществе : IV Междунар. конф., 28–29 августа 2014г. : материалы. – North Charleston, USA, 2014. – С. 111–114. *Здобувачем проведено моделювання теплового потоку в ІЧ-сушарці.*

27. Загорулько А. М. Спосіб сушіння рослинної капілярно-пористої сировини / А. М. Загорулько // Інноваційні засади сталого розвитку національного господарства : міжнар. наук.-практ. конф., 21–22 листопада 2014 р. : матеріали. – Кам'янець-Подільський : Подільський державний аграрно-технічний університет, 2014. – У 2-х ч. Ч. 2. – С. 209–211. *Здобувачем розроблено спосіб сушіння рослинної капілярно-пористої сировини.*

28. Загорулько А. Вертикальна ІЧ-сушарка органічної сировини. / А. Загорулько, Л. Кіптєла // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 80 міжнар. наук. конф. молодих учених, асп. і студ., 10–11 квітня 2014 р. : матеріали – К. : НУХТ, 2014. – Ч. 2. –

С. 282–283. *Здобувачем досліджено вертикальну ІЧ-сушарку органічної сировини.*

29. Черевко О. І. Удосконалення ІЧ-сушарок рослинної сировини / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, А. М. Загорулько // Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини : Всеукр. наук.-практ. конф. до 25-річчя факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ, 29 жовтня 2015 р. : тези доп. – Х. : ХДУХТ, 2015. – С. 70. *Здобувачем наведено шляхи вдосконалення ІЧ-сушарок рослинної сировини.*

30. Кіптела Л. В. Удосконалення процесів ІЧ-сушіння плодоягідної сировини та їх енергоефективне апаратурне устаткування / Л. В. Кіптела, О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність : міжнар. наук.-практ. конф., 19 травня 2016 р. : тези доп. – Х. : ХДУХТ, 2016. – Ч. 1. – С. 287–288. *Здобувачем представлено шляхи вдосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та спроектовано енергоефективне устаткування для його реалізації.*

АНОТАЦІЯ

Загорулько А.М. Удосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та його апаратурне оформлення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання підвищення енерго- та ресурсоефективності процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та робробці раціонального устаткування для його реалізації.

В ІЧ-сушарці з верхнім розташуванням рефлектору визначено раціональні положення ІЧ-випромінювача і приймача. Розроблено математичну модель з визначення раціональних форм рефлекторів ІЧ-сушарки з винесенням їх за межі приймача, що забезпечать рівномірність теплової енергії на приймачах. Визначено раціональні діапазони поглинаючої здатності та частоту вібрації яблучної сировини. Вдосконалено гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу шляхом збільшення міцності та наявності відведень для підключення електромережі. Запропоновано принципови схеми виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів на основі розроблених безрефлекторних апаратів: вальцьова ІЧ-сушарка з безпосередньою подачею сировини в зону сушіння та вертикальна циліндрична ІЧ-сушарка з вібраційним механізмом та спіральним теплообмінним пристроєм. Визначено економічну ефективність та здійснено промислову апробацію й впровадження науково-технічної розробки.

Ключові слова: плодово-ягідна сировина, ІЧ-сушіння, гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу, вальцьова ІЧ-сушарка, вертикальна циліндрична ІЧ-сушарка, рефлектор, безрефлекторність, вібрація.

АННОТАЦИЯ

Загорулько А.Н. Совершенствование процесса ИК-сушки плодово-ягодного сырья и его аппаратурное оформление. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи повышения энерго- и ресурсоэффективности процесса ИК-сушки плодово-ягодного сырья и разработке рационального оборудования для его реализации.

В ИК-сушилке с верхним расположением рефлектора определены рациональные положения ИК-излучателя и приемника. Разработана математическая модель для определения рациональных форм рефлекторов ИК-сушки с вынесением их за пределы приемника, обеспечивающие равномерность тепловой энергии на приемниках. Определены рациональные диапазоны поглощающей способности и частота вибрации яблочного сырья. Усовершенствован гибкий пленочный резистивный электронагреватель излучающего типа за счет увеличения прочности и наличия отводов для подключения к электросети. Предложены принципиальные схемы производства сушеных плодово-ягодных полуфабрикатов на основе разработанных аппаратов безрефлекторного типа: вальцовая ИК-сушилка с непосредственной подачей сырья в зону сушки и вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка с вибрационным механизмом и спиральным теплообменным устройством. Определена экономическая эффективность и осуществлена промышленная апробация, и внедрение научно-технической разработки.

Ключевые слова: плодово-ягодное сырье, ИК-сушка, гибкий пленочный резистивный электронагреватель излучающего типа, вальцовая ИК-сушилка, вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка, рефлектор, безрефлекторность, вибрация.

ANNOTATION

A.M. Zahorulko. Improvement of the process of fruit and berry raw material IR-drying and its equipment design. – Manuscript.

Thesis for Candidate's degree of technical sciences by specialty 05.18.12 – Processes and Equipment of Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries.– Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The dissertation is devoted to solution of the applied scientific problems of increasing energy and resource efficiency of the process of fruit and berry raw material IR drying and development of efficient equipment for its implementation.

The dissertation work (dissertation) defines rational position IR emitter and receiver in experimental models of infrared dryers with top reflector: hemicylindrical

$h_{\text{IR rad.}} - 0.05 \text{ m}$ and $h_{\text{p.p.}} - 0.225 \text{ m}$ with the IR drying process time, $\tau = 150 \text{ min.}$; sinusoidal $h_{\text{IR rad.}} - 0.025 \text{ m}$ and $h_{\text{p.p.}} - 0.225 \text{ m}$, $\tau = 155 \text{ min.}$ accordingly, which provide uniform heat flow at the receiver.

The dissertator has developed the mathematical model for determining the rational form of reflectors, which ensures uniform distribution of heat energy on the top and bottom surfaces of the receivers in the IR dryer along with the reflectors being taken off the boundaries of the receiving surface.

The dissertator has defined acceptable IR ranges for absorbing ability of Antonovka apples – 3, 6, 9 and 12...15 microns. Based on the ratios of wine, the temperature of the working surface of FFRREH (Flexible Film Resistive Radiant Electric Heater) (241...193 K) is defined, and its acceptable range (5...15 microns) is proved. The inertial and dynamic properties of TEH (tubular electric heater), quartz lamps, ceramic electric heater and FFRREH are compared, and the low inertance of FFRREH ($\tau = 87 \text{ s}$) is proved, which, at the same time, is the uniform temperature of the surface and characterizes the distinct dynamics of its operation. While cutting the apple raw materials in the form of parallelepiped with an area of 0.7...2.6 m, its minimum heating temperature is determined – 55° C – subject to the use of FFRREH (480 W) with the duration of drying process of 60 s and the distance to the receiver of 0.35 m, and the maximum possible heating temperature – 178° C (TEH, 1500 W), with the duration of the process of 600 s and the distance to the receiver of 0.15 m.

The dissertator proposes equipment for production of dried three-component semi-finished products from fruit and berry raw materials with combination of the process of preparatory concentrating the paste in the advanced rotary-film evaporator up to the content of 28...30% DI (dry ingredients) at temperature $50...70^\circ \text{ C}$ for 0.7...1 min and then finishing drying in the designed non-reflected rotary drum IR-dryer ($45...60^\circ \text{ C}$). The technological scheme for production of three-component dried semi-finished products is proposed. The influence of impurities in the three-component pastes on the structural-mechanical properties is determined in accordance with the proposed compositions: in the composition No. 1 (apple, quince, black elderberry) at the content of quince from 25 to 35% the dispersion level is reduced, and upon increasing concentration of quince to 45% ($\bar{r} = 1.82 \text{ nm}$) the dispersion level grows; in the composition No. 2 (apple, zizifus, blueberries) upon increasing the content of zizifus from 25 to 35% ($\bar{r} = 1.5 \text{ nm}$) there is an increase of the dispersion level of the pastes, and upon increasing the content of zizifus up to 45%, on the contrary, the dispersion level is lowered.

The thesis proves the acceptable frequency of the vibration mechanism in the designed (vertical cylindrical) VC IR-dryer: 4 s^{-1} with the duration of the process of 145 min, that is 21% less in comparison with the "clean" IR-driers. The efficiency of the use of the spiral heat exchange device is calculated, which will provide reduction of the total cost by 3.6%, electricity consumption per 1 kg of evaporation of moisture – by 6.6%, and increase of the efficiency factor of the device – by 3.4%.

The dissertator has developed the industrial exploratory prototype of the dryer VC IR-20 with periodic effect, non-reflected type with the rational form of the working chamber based on the advanced Flexible Film Resistive Radiant Electric Heater, which is characterized by the consumption of heat for evaporation of 1 kg

moisture $q = 4462$ kJ/kg, the consumption of electricity per 1 kg of evaporated moisture $P = 0.85$ kW·h/kg. The integrated spiral heat exchange ensures reduction of the total cost by 3.6%, and increase of the efficiency factor of the equipment by 3.4%. The activities have been carried out to introduce the equipment into production, to develop the design documentation for the dryer VC IR-20 and its testing at enterprises. The economic effect of introduction of the VC IR-20 is determined by reduction of the specific energy consumption by 36% in comparison with the dryer on the basis of TEHs, the annual economic effect will amount to 16.8 thous. UAH, and the payback period is 5 months.

Keywords: fruit and berry raw materials, IR-drying, Flexible Film Resistive Radiant Electric Heater, rotary drum IR-dryer, vertical cylindrical IR-dryer, reflector, non-reflectness, vibration.

Автор висловлює вдячність к.т.н., доценту Загорулько Олексію Євгеновичу за консультації та допомогу, що були надані під час виконання дисертаційної роботи.

Підписано до друку 10.11.2016р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 130 прим. Зам. № 31

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354

www.modelist.in.ua