

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕПЛОВІ АПАРАТИ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ
КОНЦЕНТРОВАНИХ І СУШЕНИХ
НАПІВФАБРИКАТІВ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ**

Монографія

Харків
ХДУХТ
2018

УДК 664.8.036.001.76

ББК 36.91-5

I-57

Автори:

О. І. Черевко, Л. В. Кіптеле, В. М. Михайлов,
А. М. Загорулько, О. Є. Загорулько

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. О. В. Богомолов,
д-р техн. наук, проф. В. О. Потапов

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі, протокол №14 від 6.07.2018 р.

Інноваційні теплові апарати для виробництва плодово-ягідних концентрованих і сушених напівфабрикатів гарантованої якості : монографія / О. І. Черевко, Л. В. Кіптеле, В. М. Михайлов, А. М. Загорулько, О. Є. Загорулько. – Х. : ХДУХТ, 2018. – 155 с. ISBN

У монографії розглянуто вирішення науково-прикладних завдань із підвищення енерго- та ресурсоефективності процесів концентрування та ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та розробки раціонального устаткування для його реалізації. Досліджено процеси концентрування та ІЧ-сушіння в низці експериментальних апаратів із метою розробки сучасних конструкцій, які характеризуються підвищеними експлуатаційними показниками, що забезпечить гарантовану якість отриманих концентрованих багатокомпонентних паст, сушених порошкоподібних напівфабрикатів на їх основі та різаної плодово-ягідної продукції загалом.

Призначено для фахівців харчової промисловості, студентів ЗВО, магістрантів, аспірантів зі спеціальності «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв».

УДК 664.8.036.001.76

ББК 36.91-5

© Черевко О. І., Кіптеле Л. В.,
Михайлов В. М., Загорулько А. М.,
Загорулько О. Є., 2018

© Харківський державний
університет харчування
та торгівлі, 2018

ISBN

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ І СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТИВ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ	7
1.1. Стан переробної галузі плодово-ягідної сировини України та вибір предмета досліджень ІЧ-сушіння	7
1.2. Попередня теплова обробка плодово-ягідної сировини	10
1.3. Обладнання для концентрування пастоподібної плодово-ягідної сировини	13
1.4. Способи переробки плодово-ягідної сировини в сушені напівфабрикати	21
1.5. Аналіз сучасних ІЧ-сушарок, їх металоемності та енергозбереження	24
1.6. Вплив рефлекторів на рівномірність розподілу теплових потоків у ІЧ-сушарках і матеріал для їх виготовлення	25
1.7. Аналіз сучасних ІЧ-випромінювачів	28
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІЧ-СУШІННЯ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ	31
2.1. Етапи досліджень із проектування ІЧ-сушарок	31
2.1.1. Експериментальна ІЧ-сушарка з верхнім розташуванням рефлектора	35
2.1.2. Моделювання розподілу теплового потоку в моделі експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора	40
2.1.3. ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами	44
2.2. Визначення поглинаючої здатності ІЧ-випромінювання плодово-ягідною сировиною на прикладі яблука	52
2.3. Теоретично-практичне обґрунтування вибору ІЧ-випромінювача	56
2.3.1. Визначення інерційності та динамічних властивостей ІЧ-випромінювачів	62
2.3.2. Графічно-аналітичний метод визначення корисної площі ГПРЕНВТ у ВЦ ІЧ-сушарці	63
2.3.3. Дослідження процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини	64
2.3.4. Визначення рівномірності розподілу теплової енергії у вертикальній циліндричній та вальцьовій ІЧ-сушарках	70
2.3.5. Визначення ефективності комбінованої взаємодії ГПРЕНВТ та вібраційного механізму у ВЦ ІЧ-сушарці	75

2.4. Обладнання для виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів	77
2.5. Розробка універсального багатофункціонального апарата для попередньої обробки плодово-ягідної сировини	83
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ, КОЛЬОРОВИХ ТА ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ	92
3.1. Спосіб визначення структурно-механічних властивостей багатокомпонентних плодово-ягідних паст	92
3.2. Визначення кольорових характеристик плодово-ягідних пюре, паст і сушених напівфабрикатів спектральним методом	98
3.3. Підтвердження попередньо отриманих спектрально-кольорових характеристик природних пюре, паст і сушених напівфабрикатів методом цифрової обробки	106
3.4. Обґрунтування доцільності попередньої обробки яблучної сировини перед ІЧ-сушінням	109
3.4.1. Зміна органолептичних показників та вмісту вітаміну С на прикладі яблучної сировини з попередньою обробкою	112
3.4.2. Зміна органолептичних показників та вмісту вітаміну С в яблучній сировині без обробок	113
3.5. Методики, використані під час дослідження інноваційних теплових апаратів для виробництва плодово-ягідних концентрованих і сушених напівфабрикатів гарантованої якості	115
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ, СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ТА ЙОГО АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ	121
4.1. Технологічний процес виробництва пастоподібних і порошкоподібних багатокомпонентних плодово-ягідних сушених напівфабрикатів	121
4.1.1. Апаратурне устаткування технологічної лінії з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів	123
4.1.2. Удосконалення роторного плівкового апарата на основі ГПРЕНВТ для виготовлення пастоподібного напівфабрикату	125
4.1.3. Розробка вальцової ІЧ-сушарки на основі ГПРЕНВТ для отримання порошкоподібного сушеного напівфабрикату	127
4.2. Технологічний процес виробництва різаних сушених плодово-ягідних напівфабрикатів	129

4.2.1. Розробка безрефлекторної вертикальної циліндричної ІЧ-сушарки періодичної дії на основі ГПРЕНВТ	131
4.2.2. Розробка універсальної ІЧ-сушарки природної сировини безперервної дії на основі ГПРЕНВТ	133
ВИСНОВКИ	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	141

ВСТУП

Одним із першочергових завдань на сьогодні є забезпечення населення країни продуктами харчування з високим вмістом біологічно активних речовин (БАР). У цьому плані інноваційна діяльність повинна розвиватися в напрямках розробки, упровадження, освоєння та аналізу ефективності вдосконалення ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на скорочення тривалості процесів і мінімізацію втрат БАР та підвищення якості продукції в цілому. Інтенсифікація процесів переробки плодово-ягідної сировини можлива шляхом удосконалення технології концентрування та ІЧ-сушіння плодів, ягід та овочів, що забезпечить максимальне збереження початкових властивостей у якісній вихідній продукції.

В основу дослідження покладено розробку тепломасообмінних процесів і вдосконалення обладнання для концентрування та ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини в напівфабрикати високої біологічної цінності та якості, що спрямовано на практичне здійснення високоєфективних енергозберігальних технологічних процесів, які дозволять розширити функціональні можливості обладнання та підвищити показники якості отриманих напівфабрикатів.

На сьогодні одним зі способів переробки плодово-ягідної сировини в сушені напівфабрикати є використання ІЧ-технології. Існуюче сушарне устаткування має рефлекторні блоки, які збільшують їх металоемність і не завжди забезпечують рівномірність розподілу теплового потоку на приймальних поверхнях, що призводить до втрати 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 із застосуванням сучасних малоінерційних та металоемних випромінювачів, що не потребують використання рефлекторів і забезпечують рівномірність теплового потоку. Отже, актуальним є вдосконалення процесу виробництва не лише концентрованих, а й сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини та його апаратурного оформлення.

РОЗДІЛ 1
**АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ
КОНЦЕНТРОВАНИХ І СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ
ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ**

**1.1. Стан переробної галузі плодово-ягідної сировини України
та вибір предмета досліджень П-сушіння**

Здавна Україна славиться родючими чорноземами та має помірний клімат, що є сприятливим для вирощування великої кількості природних напівфабрикатів і готових продуктів із лікувально-профілактичними властивостями, значним вмістом вітамінів та інших мікробіологічних елементів. На території України збирається близько 1,6 млн тонн плодово-ягідної сировини на рік, проте фактична її переробка становить усього 65 тис. тонн.

На сьогодні ринок природної продукції займає важливе місце в умовах виробництва валової продукції для внутрішнього використання та експорту. Основними формами розвитку цього напрямку є поява значної кількості фермерських господарств та інших невеликих промислових об'єднань. За роки незалежності України ці об'єднання забезпечують загальний обсяг виробництва на рівні 87%, це перш за все досягається за рахунок фінансової підтримки уряду України та проведення реформ у галузях вирощування, виробництва та переробки природної сировини [1; 4]. Так, відповідно до урядової програми, до 2025 року планується значне збільшення виробничої потужності плодово-ягідної сировини для забезпечення потреб споживача сушеними напівфабрикатами з природним вмістом БАР [5; 6].

Оскільки природні властивості плодово-ягідної сировини мають короткотривалий термін зберігання, виникає потреба у реалізації її одразу ж після збирання або ж переробляти у продукти з тривалим терміном зберігання. Одним із поширених способів переробки плодово-ягідної сировини є виробництво сушених напівфабрикатів, що широко використовуються в домашньому й громадському харчуванні для виготовлення компотів, фруктових супів, як вітамінів домішки в харчоконцентратній, кондитерській і хлібобулочній промисловості, а також для створення висококалорійних пайків для військово-службовців Збройних сил України та гуманітарної допомоги. Із літературних джерел відомо, що калорійність сушених природних напівфабрикатів є значно вищою, ніж калорійність м'яса, хліба та картоплі (1010–1360 кДж/100 г), при цьому отримана продукція має

лікувально-профілактичні властивості [7; 9]. У табл. 1.1 наведені дані з виробництва основних видів продукції харчової промисловості.

Таблиця 1.1 – Дані з виробництва основних видів продукції харчової промисловості

Вид продукції	2015 р.	2016 р.	2017 р.
Консерви плодів та ягідні (фруктові), млн умовних банок:	2491	3570	5030
варення, повидло	75,5	67,8	70,7
соки фруктові, ягідні	1800	2700	4950
сушені плоди і ягоди, т	140	160	200

Вибір плодово-ягідної сировини як предмета дослідження ІЧ-сушіння є обґрунтованим, оскільки це дешева природна сировина з БАР і лікувально-профілактичними властивостями, що вирощується на території України у великих обсягах та використовується в більшості технологічних виробництв [10; 14].

Під час ІЧ-сушіння використовували таку плодово-ягідну сировину: яблуко, айву, зизифус, чорницю, бузину чорну, журавлину, ожину, глід та ін. Кращими сортами яблук, придатними для сушіння, є Білий налив, Слава переможця, Мантет, Пепін, Антонівка та ін. Середній хімічний склад яблук: вода – 86,5%, загальна кількість вуглеводів – 11,3%, у тому числі цукру – 10,0%, клітковина – 0,6%; білки – 0,4%, органічні кислоти – 0,7%, зола – 0,5%. Найважливішою складовою яблук є значна кількість фруктози, глюкози й сахарози. Серед органічних кислот: яблучна, лимонна та в незначних кількостях саліцилова й борна. Мінеральні речовини яблук (у мг %): калій – 98, кальцій – 19, фосфор – 13, магній – 10, залізо – 2,5. Також у своєму складі мають вітаміни (у мг %): каротин – 0,1, В₁ – 0,04, В₂ – 0,03. Калорійність 100 г яблук становить 213 Дж [15; 16].

Зрілі плоди айви містять: фруктозу – 6,12%, глюкозу – 3,29%, сахарозу – 2,38%, органічні кислоти – 0,42–2,50%, яблучну – 0,40–0,51% та ін. Кількість кислот залежить від сорту плодів і часу їх збирання. Вітамін С – 3,0–24 мг/%, вітамін В₁ – 0,024 мг/%, вітамін В₂ – 0,07 мг/%, також містяться каротин, калій та інші мікроелементи, корисні для людини. Плоди айви мають загальнозміцнювальну, сечогінну, в'язку й протибактеріальну дію [17].

Плоди зизифуса збагачені аскорбіновою кислотою, білками, цукрами, кислотами, вітамінами (А, В, С, В-каротин), амінокислотами, мікроелементами, жирами, органічними кислотами, флавоноїдами. Використовуються в їжу у свіжому або сушеному вигляді. Зизифус

уважається цінною лікарською та харчовою рослиною, що має заспокійливу, гіпотензивну, тонізуючу, сечогінну дію та використовується для виробництва БАД [18].

Плоди чорниці містять: вуглеводи – 7,4% (глюкозу, фруктозу, сахарозу, пектинові речовини), органічні кислоти – 0,90–1,28% (лимонну, молочну, яблучну), вітаміни (аскорбінову кислоту – 5 мг/%, тіамін – 0,045 мг/%, рибофлавін – 0,08 мг/%, каротин – 0,70–1,2 мг/%), дубильні речовини, ефірну олію, сполуки марганцю й заліза. Вміст аскорбінової кислоти становить до 250 мг/100 г. Поєднання в'язких і антисептичних властивостей плодів чорниці робить їх цінними в разі запалення шлунково-кишкового тракту (при гострих і хронічних ентероколітах, дизентерії, для регуляції функціональної діяльності травного каналу), особливо в дитячій практиці. Сушені плоди чорниці живають у вигляді настоїв, відварів або киселів, також вони входять до складу шлункового чаю [19].

Ягоди бузини чорної містять: аскорбінову кислоту – 10–49 мг/%, каротин, дубильні речовини – 0,29–0,34% і тирозин, мають потогінні й послаблюючі властивості [20].

Найважливішими компонентами журавлини є органічні кислоти (2–5%) і цукри (3–4%). Основними кислотами є яблучна, хінінова та лимонна – 2,4–3,3%. Особлива роль належить бензойній кислоті, яка має антисептичні властивості. Цукри представлені в основному глюкозою (2,4%) і фруктозою (0,3%). Крім того, у ягодах міститься пектин – 0,7–1% [20].

Плоди ожини – це натуральний і абсолютно безпечний замітник аспірину, що має жарознижуючий ефект. Ягоди надають лікувальну дію практично на всі органи: систему травлення, нервову, сечостатеву й серцево-судинну системи, а також запобігають виникненню різних новоутворень, гальмують ріст ракових пухлин. Вживання ожини може поліпшити діяльність судин головного мозку, активізувати процеси мислення та покращити пам'ять.

Ожина містить повний комплекс поживних і лікарських речовин, серед яких сахароза, глюкоза, фруктоза (до 5%), лимонна, винна, яблучна, саліцилова й інші органічні кислоти, вітаміни групи В, С, Е, К, Р, РР, провітамін А, мінеральні речовини (солі калію, міді й марганцю), дубильні та ароматичні сполуки, пектинові речовини, клітковина та інші макро- і мікроелементи.

Плоди глоду містять антиоксиданти, тому сприяють покращенню кровообігу, регулюють скорочення серцевого м'яза та допомагають очистити судини. Урсолова кислота виявляє

кардіостимулюючу дію та розширює судини. Тому найчастіше ягоди застосовують при стенокардії, гіпертонії, аритмії, неврозі та безсонні.

Виробництво сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини для забезпечення потреб споживчої кооперації України дасть змогу розширити асортимент продукції природного походження та дозволить отримувати харчову продукцію з лікувально-профілактичними властивостями, що є необхідним за умов погіршення екологічного стану.

Розширення асортименту природних плодово-ягідних сушених напівфабрикатів забезпечить подальше їх використання в багатьох технологічних лініях (хлібобулочній, молочній, фармацевтичній та ін.), що приведе до появи принципово нових різновидів продукції з природним вмістом БАР. Деякі вироби матимуть дієтичні та лікувально-профілактичні природні властивості [21].

Сушені напівфабрикати з плодово-ягідної сировини використовують під час виробництва концентратів перших страв, плодово-ягідних гарнірів для других страв, сухих сніданків і десертів, комбінованих сушених пряно-ароматичних домішок, призначених для виробництва консервів, та в іншій харчовій продукції. Сушені плодово-ягідні напівфабрикати також використовують для швидкого приготування їжі в закладах громадського харчування, що забезпечує розширення асортименту споживчої продукції для дітей, школярів і військовослужбовців. Істотною перевагою виробництва сушених напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини є зручність їх транспортування, відносно тривалий термін зберігання, простота технологічного процесу виробництва, устаткування для його реалізації та приготування харчової продукції [21; 22].

1.2. Попередня теплова обробка плодово-ягідної сировини

Зростання попиту на споживання високоякісної плодово-ягідної сировини зумовлює доцільність пошуку інноваційних підходів з інтенсифікації технологічних тепломасообмінних процесів та обладнання для їх реалізації [1; 2]. Виробництво продуктів харчування з природної сировини потребує особливого підходу до неї одразу після її збирання в зрілому стані. Недотримання технологічних режимів, починаючи з перевезення та закінчуючи реалізацією кінцевої продукції, призведе до неминучої втрати корисних природних властивостей [3].

Важливу роль в цьому разі відіграє обладнання, яке використовується; здебільшого воно є одноопераційним, що значною

мірою ускладнює універсальність його застосування. Вирішення цього питання зумовлює необхідність в інноваційному підході до вирішення технологічно-конструктивних завдань зі створення багатофункціонального обладнання на основі багатоопераційного призначення.

До найбільш поширених операцій попередньої теплової обробки під час переробки плодово-ягідної сировини належать: витримування, підсушування, бланшування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення та частково екстрагування. Кожна зазначена попередня операція є особливою з точки зору її реалізації. Здебільшого вона потребує використання високоефективного та металоемного обладнання. Проте інколи таке обладнання не здатне забезпечити високої якості продукції, що отримується, та потребує складних інженерно-технічних комунікацій. Усе це зумовлює необхідність пошуку способів об'єднання тепломасообмінних процесів із переробки плодово-ягідної сировини в єдиному сучасному універсальному багатофункціональному обладнанні.

Під час інтенсифікації існуючого технологічного обладнання та розробки принципово нового виникає потреба в літературному аналізі загальних понять щодо технологічних особливостей. Це зумовлено тим, що вплив тепломасообмінного процесу, а саме попередньої теплової обробки, наприклад ягід лохини, згідно з дослідженнями значною мірою впливає на отримані фізичні та мікробіологічні показники [4].

У зв'язку з цим розглянемо окремо найпоширеніші тепломасообмінні процеси, а саме: витримування (у цукровому сиропі, кислотах згідно з технологічними вимогами), бланшування, підсушування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення дрібнодисперсної фракції в рідині або технологічних однорідних сумішах і частково екстрагування [5]. Сьогодні використовуються різноманітні види обладнання для проведення тепломасообмінних процесів природної сировини, серед них: підігрівачі, бланшувачі, витримувачі, інші апарати періодичної та безперервної дії. Здебільшого це обладнання має високу продуктивність і характеризується безперервністю проведення технологічних процесів зі складними технічними комунікаціями та складністю обслуговування [6].

Технологічну операцію з витримування (у цукровому сиропі або органічних кислотах певної концентрації) використовують для розм'якшення тканинної структури рослинної сировини. Це приводить до підвищення проникної здатності міжклітинної структури під час подальшої обробки.

Для розм'якшення м'якоті плодів і ягід, полегшення відокремлення її від грубих частин – насіння, шкірки та ін., а також для руйнування деяких ферментів сировину бланшують [6; 7]. Зокрема, бланшування за класичною методикою проводять у гарячій воді, водяних розчинах солі, цукру або органічних кислот і лугів на водяній парі. Бланшування забезпечує збереження природних властивостей сировини, зокрема кольору, зменшення об'єму та розм'якшення її структури, вибілювання та зменшення вмісту повітряного залишку в міжклітинній структурі. Режими бланшування підбирають дослідним шляхом для кожного конкретного випадку залежно від виду, сорту, ступеня стиглості й розміру плодів, а також конструкції обладнання, що використовується [7].

Конструктивною реалізацією процесу бланшування здебільшого є стрічкові, барабанні та шнекові апарати безперервної дії. Принцип дії наведених конструкцій заснований на короткотривалому зануренні продукту в ємність із водою, у якій під тиском барботується пара. Унаслідок цього й здійснюється бланшування. Існують також бланшувачі періодичної дії у вигляді парових котлів із гарячою водою, усередину яких завантажуються ємності із сировиною. Проте й ці апарати є одноопераційними зі складним технологічним використанням та обслуговуванням [6].

Операцію з підсушування застосовують для запобігання зайвої гіркоти й терпкості органічної сировини. Зокрема використовують температуру в межах 50...60 °C протягом 30–50 хв [7].

Під час обробки плодово-ягідної сировини застосовують також уварювання для виробництва паст, варення та інших продуктів. Його метою є розм'якшення тканини плодів, видалення з них вологи та повітря, введення цукру, знищення мікроорганізмів. Цей процес може проводитися за атмосферного тиску чи під вакуумом. Доцільність застосування вакууму зумовлена прагненням знизити температуру кипіння, що за атмосферного тиску може перевищувати 100 °C для продуктів із вмістом цукру понад 60% [8].

Операція розварювання використовується для розм'якшення природної структури сировини. Це сприяє збереженню тканинної цілісності, соковитості, яскравішого забарвлення м'якоті перед протиранням для виготовлення в подальшому, наприклад, пюреподібних напівфабрикатів [8]. Реалізація цього процесу здійснюється за рахунок подавання пари в закриту герметичну ємність із розташованим у ній перемішувальним пристроєм.

Екстрагування базується на масоперенесенні речовини з метою досягнення рівноважного стану між екстрагентом і концентрованою

речовиною або органічними розчинниками. Для інтенсифікації процесу використовують вакуумування та псевдозрідження. Апарати для екстрагування є одноопераційними. Здебільшого під час екстрагування здійснюють класифікацію об'єктів екстрагування для окремого обладнання, що ускладнює перебіг процесу [9]. Операцію настоювання застосовують переважно для приготування концентрованих лікувальних консервів для дітей. Для цього трави заливають водою з температурою (98 ± 2) °C, доводять до кипіння або настоюють протягом 10–60 хв.

Більшість тепломасообмінних процесів та існуюче обладнання для їх реалізації характеризуються загальними конструктивно-технологічними недоліками. Основними серед них є одноопераційність, енерго- та металоємність, складність технічних комунікацій, використання та обслуговування. При цьому, крім технологічно-конструкторських недоліків, виникає складність із виготовленням високоякісної плодово-ягідної сировини. Саме це зумовлює потребу в пошуку способів об'єднання тепломасообмінних процесів у єдиному універсальному багатofункціональному апараті (УБА). Це обладнання має забезпечувати високу продуктивність і якість природного органічного напівфабрикату, що отримується, характеризуватися мобільністю та простою технологічного обслуговування.

1.3. Обладнання для концентрування пастоподібної плодово-ягідної сировини

Апарати для концентрування плодово-ягідної сировини можна розподілити на: ті, що працюють під вакуумом, і ті, що працюють за атмосферного тиску. Найбільш перспективними будуть апарати, які працюють під вакуумом, що дозволяє за рахунок зниження температури кипіння продукту під час концентрування зберегти біологічно активні речовини, які містяться в рослинній сировині. Унаслідок цього підвищується якість і харчова цінність кінцевого продукту.

Для варіння та випарювання вологи з рослинної сировини традиційно використовуються два види випарних апаратів: відкриті, які працюють за атмосферного тиску, – двутільні варильні котли та вакуум-випарні апарати, у яких випарювання вологи виконують під вакуумом [17].

Варильні котли випускаються таких типів: 5а, 6а, 2а, 28а, МЗС-2С-244а, МЗС-2С-244б, Д9-41А, місткістю від 0,06 до 0,15 м³. Ці

котли використовують для варіння сиропів, розсолу, юшки, джемів, соусів.

Випарні апарати МЗС-320 (ВНИИКОП-2), МЗС-320М, МЗ-2С-241а, МЗ-2С-241аМ можуть використовуватися не тільки як вакуум-апарати, але і як збирачі, підігрівачі, деаератори, змішувачі. Ці апарати мають принципову будову, аналогічну будові реакторів. Апарати МЗС-320 та МЗ-2С-241аМ обладнані вакуум-насосами. Апарат МЗС-320 має об'єм 1 м^3 , МЗ-2С-241а – $0,55 \text{ м}^3$, МЗ-2С-241аМ – $0,5 \text{ м}^3$ [15; 16].

Глибоке концентрування продуктів є технологічним процесом, що поєднує процеси перенесення тепла та маси. Одночасно з цими процесами відбувається зміна структурно-механічних властивостей вихідного продукту. Основним завданням сучасної техніки концентрування харчових продуктів є створення нових комбінованих методів, що дозволили б разом з інтенсифікацією одержувати кінцевий продукт із необхідними властивостями.

Удосконалення та розробка нових апаратів для концентрування рослинної сировини, в основному, полягає в зменшенні температури та часу випарювання. Одним із напрямів удосконалення є створення апарата з високоінтенсифікованим веденням процесу на базі роторних плівкових апаратів (РПА). У зв'язку з цим нами проведено аналіз інформаційних джерел за поданим напрямом, визначено шлях розвитку цього виду устаткування та тенденції його конструкторських рішень у світі в цілому.

Застосування РПА дозволяє значно інтенсифікувати процес уварювання [70] фруктових пюре з плодово-ягідної сировини та здійснювати необхідне його концентрування за один прохід через апарат за тривалості цього процесу декілька секунд під час згущення плодкових соків із яблук, абрикос, вишні, винограду, персиків до 10–16% сухих речовин (СР) і концентрованих до 40–60% СР. У РПА практично виключаються необоротні зміни їх якісних показників, зберігаються вітаміни, знижуються енерговитрати на здійснення цього процесу. Процес випарювання цих продуктів зазвичай здійснюється за залишкового тиску 8–21 кПа і температури 60–95 °С.

У плівкових апаратах продукт стікає по поверхні теплообміну тонкою плівкою (завтовшки 2 мм і менше), яка має дуже малий термічний і дифузійний опір, що дозволяє істотно інтенсифікувати тепломасоперенесення та видалення вологи з продукту. Ключовим моментом для забезпечення вискоєфективної роботи апарата є досягнення рівномірного розподілу рідкого продукту, що стікає, (тобто сталості товщини плівки) по всій поверхні теплообміну.

Принципова особливість РПА, що визначає високу їх ефективність, полягає в тому, що формування плівкового плинну продукту та його інтенсивна турбулізація здійснюються в них під впливом лопатей, закріплених на валу обертового ротора. У результаті цього гідродинаміка плинну продукту, що оброблюється РПА, є більш активною, а інтенсивність теплофізичних процесів більш високою, ніж у плівкових апаратах інших типів.

Слід зазначити, що витрати енергії на обертання ротора РПА порівняно малі та з лишком компенсуються значним збільшенням інтенсивності термообробки харчових продуктів і підвищенням їх якісних показників у результаті скорочення тривалості процесу термообробки порівняно з апаратами інших конструкцій.

Важливою особливістю РПА є можливість здійснення в них термообробки високов'язких продуктів (із в'язкістю до 1000 Па·с), як правило, без утворення відкладень на робочій поверхні корпусу, тому що під час роботи РПА градієнти швидкості в плівці продукту звичайно досягають порядку 500–5000 с⁻¹.

Можливість підключення апарата до вакуумної лінії та проведення термообробки під вакуумом забезпечує високий ступінь концентрування продукту порядку 1:5–1:50 (співвідношення витрат вхідного та вихідного продуктів), а також глибокий відгін легко летючих компонентів із продукту, що обробляється, у результаті зниження температури процесу та негайного видалення з апарата вторинної пари, що утворюється [70].

Дотепер під час виробництва паст із рослинної сировини РПА використовувалися тільки для томатної пасти з вмістом СР 30% шляхом концентрування томатного соку. Виробництво паст із пектиновмісної сировини в РПА не вивчене, хоча відомо, що пасти, отримані з пюре, більше збагачені біологічно активними речовинами, ніж із соків.

Роторні плівкові випарники можна розподілити на дві основні групи. До першої належать випарники, у яких процес відбувається в тонкому шарі рідини, що створюється на внутрішній поверхні нерухомого корпусу за допомогою обертового ротора. До другої групи належать випарники, у яких процес здійснюється в тонкому шарі рідини, що рухається під дією відцентрової сили у внутрішній поверхні обертових конусів, циліндрів чи спіралей дисків.

Найбільше поширення одержали РПА першої групи, що внаслідок їх високої ефективності й універсальності дозволяють проводити різні процеси тепломасообміну.

Перша відома конструкція роторного апарата з мішалкою була запропонована К. Мюллером і запатентована в 1944 р. [71]. Конструкція апарата К. Мюллера має всі основні елементи тонкоплівкових апаратів, що містяться в усіх подальших розробках. Ротор мішалки оснащено жорстко закріпленими лопатями між вершинами яких і поверхнею, що гріє, є невеликий зазор. Апарат цього типу сьогодні серійно виробляються фірмою «Luwa-SMS» (Швейцарія). У шістдесятих роках паралельно з фірмою «Luwa-SMS» багато інших проводили роботи зі створення власних конструкцій роторних апаратів. Можна відзначити апарат типу «Sambaу», розроблений фірмою «Farbenfabrikin Bayer AG» (ФРН) [72]. Апарати «Sambaу» мають ротор, оснащений шарнірно закріпленими лопатями, що під дією відцентрової сили притискаються до поверхні, що гріє, і утворюють на ній дуже тонку плівку рідини.

У 1956 р. у США інженер Гудхайм запатентував апарат [73], у якому ротор і корпус мають конічну форму. Така конструкція апарата дозволяє змінювати зазор між вершинами лопаті ротора та поверхнею, що гріє. При цьому змінюється величина складової відцентрової сили, що спрямована вбік більшого діаметра конуса й гальмує рідину, що рухається. Завдяки гальмуючій дії в зазначеній складовій досягається зміна часу перебування продукту в апараті. Патент охоплює як вертикальну, так і горизонтальну конструкцію апаратів із прямим і зворотним конусом.

Апарати цього типу випускаються фірмою «Contro International» (США) під ліцензією фірми «SMS» (ФРН) і називаються «Sako». У свою чергу фірма «Contro International» випускає під ліцензією апарати типу «Sambaу», які називаються «Contro».

Сьогодні об'єднання двох фірм «Luwa» і «SMS» у концерн привело до випуску устаткування під однією торговою маркою. Апарати «Luwa SMS» із шарнірними лопатями випускаються під маркою «В», у той час як апарати з твердими лопатями позначаються «L». Останнім часом фірма «Luwa SMS» випускає маятникові елементи ротора під маркою «Р», що мають здатність твердого та шарнірного ротора. Із цієї причини у світовій практиці має місце тенденція до зменшення випуску апаратів із системою ротора під маркою «В».

Окремо слід зазначити запатентовану Р. Бюхи (ФРН) конструкцію плівкового ректифікатора для поділу температуронестійких сумішей під вакуумом [74]. Принцип дії цього апарата полягає в змінному випаровуванні рідини на поверхні, що гріє, і конденсації на обертовому охолодженому роторі, що використовується

у вироблених фірмою «Luwa SMS» тонкоплівкових ректифікаційних апаратах для поділу температуронестійких продуктів.

Відомі конструкції тонкоплівкових дистиляторів, у яких конденсатор розміщено на осі апарата. Апарати цього типу внаслідок малої відстані між поверхнею, що гріє, і поверхнею конденсації застосовуються для процесу молекулярної дистиляції. На зазначеному принципі базуються конструкції тонкоплівкового дистилятора, що випускається в Німеччині фірмою «Karl Kanzler» і називається «Ротафільм» за ліцензією американської фірми «А. Смит». Дуже близька за принципом дії конструкція дистиляторів фірми «Leibold» (ФРН).

Деякі властивості рідких плівок прямо залежать від механізму їх розтікання. Механічне перемішування рідини в плівці впливає не тільки на функціональні властивості останньої, а позначається на її внутрішніх властивостях. Так через високу напругу, що створюється в плівці, можна показати, що змінюється в'язкість рідини, яка обробляється, це викликає необхідність застосовувати техніку тонких плівок до продуктів із великою в'язкістю. Слід зазначити, що в тонкоплівковій технології час обробки продукту незначний, звідки впливає, що отримані об'єми апаратів відносно невеликі. Крім того, апарати часто мають форму циліндра, оскільки вони стійкі до механічних напруг і дозволяють легко забезпечити герметичність. Розглядаючи устаткування із застосуванням тонкоплівкової технології, а саме РПА, ми бачимо, що тільки дуже мала частина корисного обсягу зайнята тонкою плівкою, а інша заповнена газом із підвищеним чи зниженим тиском.

Розглянемо РПА. Він є циліндром, що підігрівається звичайно ззовні, усередині якого розміщено аксіальний ротор. На початку продукт розмазується у вигляді плівки у верхній частині циліндра, потім поширюється зверху вниз по спіральній траєкторії та виводиться в нижній частині апарата.

Такий загальний підхід може бути реалізований багатьма способами. Важливо, яким способом наноситься перший шар верхньої частини апарата. Від конструкції елемента ротора, що застосовується, залежить турбулентність, яку потрібно збудити в плівці, що визначає високі коефіцієнти теплопередачі тощо.

Застосування тонкоплівкових технологій на практиці дуже широке. У цю сферу входять: концентрування, кристалізація, сушіння, адсорбція, десорбція, хімічні реакції, ректифікація, молекулярна дистиляція і фільтрація, тобто всі основні види фізико-хімічних і хімічних процесів [75; 79].

Розглянемо концентрування. Ця операція часто використовується для підвищення концентрації речовини й давно застосовується з використанням тонких плівок. Через обмеження, що залежать від природи процесу, концентрування проводиться із застосуванням падаючих плівок, що механічно перемішуються. Одержання вторинної пари може бути самостійною метою, як наприклад у процесі дистиляції. У цьому разі роторні плівкові випарники використовуються як бойлер, оскільки продукти, що обробляються, чутливі до нагрівання й особливо, якщо вони мають підвищену в'язкість. Під час використання цього способу забезпечується не тільки висока якість кубового залишку, але й висока якість дистиляту. Це відбувається тому, що залишок не розкладається і не призводить до забруднення дистиляту. У зв'язку з цим технологія концентрування із застосуванням техніки тонких плівок відкриває великі перспективи для впровадження в харчову промисловість.

Від конструкції плівкоутворювальних елементів залежить плин плівки продукту на робочій поверхні апарата, а також теплообмін. Так застосування РПА із шарнірно закріпленими лопатями дозволяє здійснити інтенсивне випарювання цукрових розчинів, які мають початкову концентрацію СР від 18 до 60% [80; 81].

Правильне уявлення про гідродинаміку плину рідини в РПА є необхідною умовою для з'ясування закономірностей процесів тепло- і масообміну та складання методу розрахунку [82; 84].

Основним питанням є з'ясування закономірностей і швидкості руху плівки, а також характеру впливу на неї лопатей обертового ротора. Так, наприклад, у 60–70-і роки більшість дослідників уважала, що плівка в апараті може розглядатися як вільнопадаюча й число Рейнольдса може бути для неї визначене за відомою формулою.

$$Re = \frac{4\Gamma}{\eta g}, \quad (1.1)$$

де Γ – щільність зрошення (кг/м³·с); η – динамічний коефіцієнт в'язкості (Па·с); g – прискорення вільного падіння (м/с²).

Ці висновки наведено в працях А. Ленгера і О. Веддсттра, К. Дітера, С. Білета [85–87].

У питанні руху плівки в апараті із шарнірно закріпленими лопатями точки зору дослідників більш загальні. Під час фотографування гідродинамічного процесу в скляній моделі апарата була визначена так звана носова хвиля, що йде перед крайкою лопаті. У цьому напрямі проводилися роботи А. Шнайдером [88],

С. Кіршбаумом і К. Дітером [89]. Рідина, що міститься в безупинній взаємодії з плівкою, увесь час поновлює останню.

При цьому транспортування рідини вздовж випарника здійснюється переважно в носовій хвилі. Дослідники відзначають, що швидкість руху поверхні плівки в момент проходження над нею крайки лопаті дорівнює окружній швидкості останньої. Але при цьому дуже швидко приймаємо величину швидкості вільнопадаючої плівки відповідної товщини, режим якої буде розглядатися як ламінарний.

Д. Брауер [90], який досліджував стан плин у вільнопадаючої плівки, установив, що турбулентний плин починається за $Re = 1600$. За А. Крамером, турбулентність починається за $Re > 1000$. Д. Касаткін наводить критичні значення критерію Рейнольдса, що відповідають переходу ламінарного руху плівки в турбулентний, рівні 2320. Із 70-х до 90-х років увагу дослідників у нашій країні та за кордоном було прикуто до вивчення характеру й причин взаємодії носових хвиль і ламінарного підшару генерованого рідинного потоку, ці роботи проводилися УКРНДХІММАШ у лабораторії РПА [91; 92]. Було визначено, що геометричні розміри носових хвиль залежать від фізико-хімічних характеристик продукту, що обробляється, і частоти обертання роторного вузла апарата. Під час цього спостереження гідродинамічних явищ у скляній моделі видно, що носова хвиля, яка йде перед крайкою лопаті, ніби ковзає по поверхні рідинного шару апарата. Але найкращим, на погляд дослідників, є асиметричний рух потоку рідини в носовій хвилі по вихрових (гвинтових) траєкторіях. Це питання вивчалось в 50-х роках О. Левелшпилем [93], і було виявлено, що на інтенсивність перемішування рідинних потоків впливає характер цих вихрів. Фундаментальні дослідження та вивчення питань вихрів у рідинних потоках проводилися Д. Тейлором [94]. Було виявлено одну основну закономірність: за малих значень параметра Д. Тейлора зовнішній вплив слабо позначається на розмірах ламінарної ділянки шару. У цьому разі все визначається внутрішньою стійкістю руху в шарі. За порівняно великих значень параметра Тейлора цей вплив різко підсилюється, товщина ламінарної ділянки швидко скорочується. Із цієї інформації випливає, що шлях інтенсифікації гідродинамічних і теплообмінних явищ полягає в збільшенні частоти обертання роторного пристрою. Але нескінченне збільшення частоти ротора не призводить до очікуваних результатів. Збільшуючи відцентрове зусилля на шарнірний зв'язок лопаті, ми йдемо до зменшення товщини плівки і тим самим збільшуємо час перебування продукту, що обробляється, у зоні теплообміну й, крім того, необхідно враховувати один з основних параметрів, що

визначають працездатність РПА, – це питому витрату (G/F – тобто відношення загальної витрати G та площі корпусу апарата F чи параметра змочування). За даними П. Трамбуза – директора Французького інституту нафти (м. Солез, Франція) [95], ця величина ($\text{м}^3/\text{год}\cdot\text{м}^2$) коливається в межах 0,2–4,5.

В основному, у літературних джерелах під час вивчення теплопередачі в РПА увага приділяється випарюванню. Це пояснюється тим, що процес теплообміну під час нагрівання розглядається звичайно разом із процесом випарювання. При цьому конкретизується, що у зв'язку з великою інтенсивністю процесу теплопередачі в тонкоплівкових апаратах відпадає необхідність у попередньому підігріванні продукту перед входом у апарат. Роль підігрівника в цьому разі відіграє частина поверхні випарника, що гріє, де продукт підігрівається до температури кипіння. При цьому величини зони підігріву в апараті змінюються залежно від навантаження за продуктом. Питання дослідження закономірностей теплообміну під час випарювання охоплюють також залежність від конструктивного рішення роторного пристрою апарата. К. Дитер [86] показав, що для жорсткого роторного пристрою коефіцієнт теплопередачі прямо залежить від теплового навантаження поверхні теплообміну. Визначальним параметром, що впливає на залежність коефіцієнта теплопередачі, є навантаження за рідиною чи, висловлюючись більш конкретно, питома продуктивність. Ця закономірність підтверджується працями багатьох авторів [85; 92].

Застосування роторних плівкових апаратів дозволяє організувати безупинний процес уварювання пастоподібних продуктів із плодово-ягідної сировини й істотно підвищити якість кінцевого продукту. Під час проведення процесів випарювання РПА має такі переваги порівняно з вакуум-випарними апаратами: менша тривалість процесу (зазвичай десятки секунд); більш висока інтенсивність термообробки продукту; значно менші габаритні розміри.

Інтенсифікація роботи РПА під час концентрування плодово-ягідної сировини полягає не тільки в суворому підбиранні вхідних параметрів, але й конструктивному оформленні самого роторного апарата. Це більше стосується плівкоутворювальних елементів і способу обігріву робочої камери. Для розрахунку та конструювання роторних апаратів необхідно дослідити структурно-механічні властивості, гідродинаміку плівкового плинину й теплообмін шнуреподібних мас із плодово-ягідної сировини.

1.4. Способи переробки плодово-ягідної сировини в сушені напівфабрикати

Ураховуючи природні властивості природної плодово-ягідної сировини та незначний термін її зберігання, можливі окислювальні процеси, що призведуть до втрат БАР та псування продукції. Крім того, сировина може бути непридатна до споживання у разі зараження мікроорганізмами. Виникає необхідність використання значних кількостей технологічних операцій та способів для переробки плодово-ягідної сировини з метою запобігання втрат природних ресурсів.

На сьогодні застосовують такі способи переробки природної продукції в сушені напівфабрикати: конвективний, сублімаційний, кондуктивний, терморадіаційний (інфрачервоний), теплову стерилізацію та ін. Наведені способи відрізняються конструктивними параметрами устаткування для їх проведення, способами волого видалення та мають свої переваги та недоліки [23; 28].

Конвективний спосіб сушіння здійснюється здебільшого на конвеєрних сушарках із використанням у ролі сушарного агента попередньо нагрітого в калорифері повітря. Конструктивними недоліками цього устаткування є металоємність (великі габарити), невисока якість отриманої продукції за рахунок пересихання поверхневих тканинних шарів і часткового їх розтріскування, що призводить до втрат БАР. Відносні переваги способу полягають у переробці значних обсягів сировини [24; 29; 43].

Сублімаційний спосіб сушіння здійснюється за рахунок заморожування у вакуумній камері з одночасною сублімацією льоду в парову фазу та її із внутрішніх шарів плодово-ягідної сировини, що запобігає розтріскуванню поверхневих тканинних шарів та зберігає більшість БАР. Отримана сублімаційна продукція має залишкову вологість 3–10%, що забезпечує тривале зберігання за умов фасування в картонну тару, оскільки напівфабрикати чутливі до фізичного впливу та володіють крихкістю. До основних недоліків класичних способів сублімації належать невисока швидкість виділення парової фази порівняно з іншими способами (конвективний), конструктивна складність і металоємність устаткування [30–33].

Кондуктивний спосіб сушіння використовується безпосередньо для виготовлення великих обсягів плодово-ягідних пюре та паст. Особливістю цього способу є короткотривале висушування харчової маси за рахунок намазування її на обертальні рифлені поверхні пустотілих барабанів, внутрішня поверхня яких обігрівається гарячою парою (150–180 °С), що зумовлює швидке випаровування

вологовмісної складової сировини. Спосіб зумовлює отримання сушених напівфабрикатів невисокої якості за рахунок високого температурного режиму, має значну енерго-, металоємність і складність технічного обслуговування парового устаткування та сушарки.

Спосіб НВЧ-сушіння. Останнім часом цьому способу приділяють велику увагу. У процесі НВЧ-сушіння передача тепла сировині здійснюється шляхом опромінення його енергією НВЧ, у результаті сировини поглинає електромагнітну енергію по всьому об'єму, що призводить до випаровування вологи. Швидкість сушіння при цьому істотно зростає [35–36].

На сьогодні широкого використання набуває спосіб терморадіаційної обробки природної сировини з використанням інфрачервоної енергії різних діапазонних хвиль.

Використання ІЧ-випромінювання як одного зі способів переробки природної сировини забезпечує використання 98% підведеної теплової енергії безпосередньо до природної складової сировини, забезпечуючи високий коефіцієнт корисної дії (ККД) технологічного процесу та простоту устаткування, на відміну від інших відомих способів сушіння [31; 34; 47].

Порівняння існуючих способів сушіння (табл. 1.2) підтверджує перевагу за більшістю показниками (конструктивними, енергетичними та якісними) саме ІЧ-способу сушіння плодово-ягідної сировини, що підтверджує необхідність у детальних дослідженнях в даному напрямку [29–49].

Термодинамічні властивості ІЧ-випромінювання та використання низькотемпературних режимів сушіння плодово-ягідної сировини забезпечить раціональне збереження БАР, лікувально-профілактичних властивостей порівняно з іншими способами консервування, а також зменшення фактичної ваги початкової сировини в 4–10 разів від початкової.

Природні властивості сушених напівфабрикатів відновлюються під час короткотривалого замочування в окропі протягом 10–15 хв та максимально нагадують свіжозібрану сировину [49]. Приблизний обсяг сушених напівфабрикатів у 3–5 разів менший за обсяг свіжої продукції, а середня вага становить $\frac{1}{7}$ до $\frac{1}{15}$ від маси сировини, що забезпечує істотні переваги під час її транспортування порівняно зі свіжою.

Таблиця 1.2 – Порівняння технічних параметрів способів сушіння

Спосіб сушіння	Параметри				Здатність до зберігання та екологічна безпека
	Спосіб передавання теплової енергії	Питома площа за якою випаровується (м ² /кг), витрати електроенергії на випаровування вологи, кВт·год/кг	Тривалість сушіння (год), відновлюваність (%) та залишкова волога (%)	Якість отриманих сушених напівфабрикатів	
Конвективний	Передавання теплової енергії плодово-ягідній сировині за рахунок використання сушильних агентів (нагріте повітря або парогазові суміші)	0,07, 1,8–3,0	7–10, 60–70, 7–16	Висока якість сировини за рахунок нарізання та попереднього бланшування. Цим способом сушіння виготовляють близько 80% сушених напівфабрикатів	0,5 року, безпечний
Сублімаційний	Складається з двох етапів: сублімації льоду із замороженої плодово-ягідної сировини та подальшого теплового сушіння під вакуумом	0,26 2,7–3,00	9–20, 83–95, 3–10	Мас схожі з вихідною сировинною властивості	більше 1 року, небезпечний (хладони)
НВЧ-сушіння	Генератори тепла, що створюють надвисокочастотне електромагнітне поле	0,18, 1,7–1,9	до 3,5, 83–95, 3–6	Рівномірне нагрівання об'єму сировини, але використовується здебільшого в поєднанні з конвекційним підсушуванням	1 рік, вплив НВЧ достатньо невизначений
Інфрачервоний	Перетворення електричної енергії в теплову ІЧ-промені	0,04, 0,7–1,5	до 4, 90–95, 4–15	Сушена сировина максимально зберігає природні властивості вихідної сировини, а властивості ІЧ-випромінювання дозволяють проводити одночасне знезаражування	більше 1 року, безпечний

М'який температурний режим ПЧ-сушіння плодово-ягідної сировини (40...60 °С) забезпечує зберігання БАР, міжклітинної поверхневої структури, запобігає істотному нагріванню устаткування, а отже, зменшує втрати тепла крізь теплоізольовані огорожувальні конструкції [48].

1.5. Аналіз сучасних ПЧ-сушарок, їх металоємності та енергозбереження

Актуальним напрямом для підприємств харчової промисловості на сьогодні є вдосконалення, розробка універсального або принципово нового технологічного устаткування, що дозволить знизити енерго- та металоємність апаратурно-технологічної схеми ліній. Це досягається за рахунок одночасного поєднання певних технологічних процесів в одному або в комплексі апаратів, що забезпечить інтенсифікацію процесів під час виробництва конкурентоспроможних сушених напівфабрикатів на базах існуючих невеликих технологічних ліній, розташованих безпосередньо в районах збирання плодово-ягідної сировини. Основними перевагами сушених напівфабрикатів є висока якість, значне зниження виробничих, економічних витрат на транспортування, що забезпечує раціональну собівартість отриманої продукції [50–52].

Існуючі ПЧ-сушарки для переробки природної сировини характеризується тривалістю термічної обробки, нерівномірністю розподілу теплових потоків на приймальних поверхнях (сітчастих піддонах з плодоягідною сировиною), відсутністю енергозберігаючих властивостей, що призводить до підвищення енерговитрат, зниження якості сировини та підвищення ціни на отримані напівфабрикати.

Зважаючи на складне становище в Україні, головною метою харчових виробництв є збереження енергоресурсів під час проведення технологічних процесів сушіння на існуючому обладнанні за рахунок його модернізації або створення принципово нового устаткування.

Беручи до уваги недоліки існуючого обладнання, можна зробити висновки, що більшість сушарних апаратів мають значну енерго- та металоємність. Лише деякі окремі групи цього обладнання є енергозберігаючими.

Існуючі конструкції сушарок здебільшого витрачають енергію на перетворення електричної енергії в теплову під час використання ПЧ-випромінювачів, а також на нагрівання внутрішньо-камерного об'єму повітря за рахунок кондуктивних методів безпосередньо від поверхонь металевих сітчастих піддонів. При цьому більшість апаратів

не використовують вторинний теплоносій (гаряче повітря) та здебільшого спрямовують його в довкілля.

До основних недоліків існуючого устаткування (табл. 1.3) належить [52–58]:

- неможливість забезпечування рівномірності розподілу теплових потоків від ІЧ-випромінювачів за рахунок складності виготовлення рефлекторних блоків з раціональною формою;

- збільшення металоємності апаратів за рахунок використання рефлекторних блоків;

- неврахування спектрально-оптичної складової об'єктів – «плодово-ягідна сировина – ІЧ-випромінювач»;

- відсутність енергозбереження та використання вібрації і вторинного теплоносія для інтенсифікації процесу ІЧ-сушіння.

Таблиця 1.3 – Порівняльний аналіз деяких сучасних ІЧ-сушарок

Тип апарата	Параметри			
	металоємність	наявність рефлектора	тип випромінювача	енергозбереження
КТУ-200	значна	так	ТЕН	відсутнє
Інфрачервона сушарка	значна	так	ТЕН	відсутнє
Інфрачервона сушильна шафа	значна	так	кварцові лампи	відсутнє
Сушильна камера СОФ	мінімальна	ні	темний випромінювач	відсутнє

Зазначені недоліки існуючого устаткування належать лише до конструктивно-апаратних не доопрацювань, що впливають на отримувану якість сушіння плодово-ягідних напівфабрикатів [22; 31; 39; 52–58]. Тому є актуальним розробка сучасних автоматизованих раціональних ІЧ-сушарки безперервної та періодичної дії з енергозберігаючими комплексами.

1.6. Вплив рефлекторів на рівномірність розподілу теплових потоків у ІЧ-сушарках і матеріал для їх виготовлення

У сучасних ІЧ-сушарках як ІЧ-випромінювачі використовують ТЕНи, кварцові лампи та інші електричні джерела. Але під час використання даних випромінювачів виникає потреба у використанні рефлекторних блоків з різними геометричними формами, по перше для

фокусування теплових потоків на приймальних поверхнях, а по-друге в якості захисних екранів, оскільки відомі різновиди випромінювачів характеризуються високими температурами робочих поверхонь (табл. 1.5). Використання рефлекторних блоків в тепловому устаткуванні забезпечує підвищення спектрально-оптичної та конструктивної ефективності апарату, але при цьому призводить до вимушеного збільшення металоємкості конструкції, а отже, її вартості [60–62].

Під час вибору рефлекторних блоків необхідно враховувати конструктивні параметри апарату, умови роботи його теплотехнічної системи та довжину хвилі ІЧ-випромінювача (λ), оскільки саме ці параметри впливають на віддзеркалюючу здатність рефлекторних поверхонь та його енергоефективність.

Під час використання в ІЧ-сушарках високотемпературних ІЧ-випромінювачів, які неминуче забезпечують нагрівання рефлекторних блоків до значних температурних (не нижче 850 °С) під час здійснення технологічних процесів сушіння. Тому для виготовлення рефлектору використовують: мідь, нержавіючу сталь та алюміній з подальшою механічною обробкою поліруванням для отримання необхідного коефіцієнта віддзеркалення [63–64].

Найпоширенішими геометричними формами рефлекторів для ІЧ-сушарок є: циліндрична, синусоїдальна, параболічна та інші [65–66]. На сьогодні існує значна кількість досліджень із визначення раціональних форм рефлекторних блоків залежно від їх геометричної форми, просторового розміщення та типу використовуваного ІЧ-випромінювача, що наведено в працях відомих науковців: А.С. Гинзбурга, П.Д. Лебедева, А.Г. Блоха, Ю.М. Тормосова, В.П. Плевака, С.М. Костенка, С.Ю. Саєнка, О.О. Завалія та ін., але загальних методів із вирішення цього завдання з досягнення рівномірності розподілу теплового поля від ІЧ-випромінювача та рефлекторних блоків на приймачі ще не знайдено. Вирішення цього завдання залежить від конструктивних, спектрально-оптичних, енергетичних, просторових умов необхідних для виконання технологічних вимог процесу для забезпечення рівномірності розподілу теплових потоків на приймальні поверхні.

У табл. 1.4. наведено необхідність використання рефлекторних блоків в залежності від типу ІЧ-випромінювача, за умов врахування попередньо наведених даних у табл. 1.4 [24; 26–29; 45; 49; 67; 63–68; 62–66].

Рефлектори забезпечують штучне збільшення металоємності та зменшення корисної площі апарату (табл. 1.4), тому необхідно удосконалювати сушарне устаткування шляхом використання їх

раціональних геометричних форм залежно від просторового розміщення та намагання створення безрефлекторного устаткування з рівномірним розподілом теплових потоків.

Таблиця 1.4 – Необхідність використання рефлекторних блоків залежно від типу ІЧ-випромінювача

Тип ІЧ-випромінювача	Властивості		
	необхідність використання рефлектора	раціональні форми рефлекторів	вплив рефлектора на конструктивні параметри камери
ТЕН	Потрібен за рахунок високої температури робочої поверхні, має роль захисного елемента	Найчастіше прямокутна, оскільки залежить від геометричної форми випромінювача	Зменшення корисної площі робочої камери апарата, збільшення геометричних розмірів і металоємності
Трубчаста кварцова лампа	Потрібен за рахунок високої температури робочої поверхні, має роль захисного та фокусуючого елемента	Циліндрична, напівциліндрична, синусоїдальна та інші залежно від геометричної форми випромінювача	Зменшення корисної площі робочої камери апарата, збільшення геометричних розмірів і металоємності
Керамічний електронагрівач	Потрібен за рахунок високої температури робочої поверхні, має роль захисного та фокусуючого елемента	Залежить від геометричної форми випромінювача	Зменшення корисної площі робочої камери апарата, збільшення геометричних розмірів і металоємності
ГПРЕНВТ	Не потрібен за рахунок конструктивних властивостей нагрівача, що має однобічну ізотермічну поверхню	Властивості ГПРЕНВТ забезпечують повторення більшості раціональних форм ІЧ-камер за умов радіуса максимального згинання 10°	Раціональна геометрична камера, корисна її площа та мінімальна металоємність

Аналіз ІЧ-випромінювачів зумовлює необхідність досліджень використання гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу для створення сучасних низькотемпературних, безрефлекторних ІЧ-сушарок [53].

1.7. Аналіз сучасних ІЧ-випромінювачів

Згідно з технічною класифікацією розрізняють газові та електричні ІЧ-випромінювачі, але широкого застосування набувають електричні нагрівачі, які працюють за рахунок перетворення електричної енергії в теплову з відповідною довжиною ІЧ-хвилі та характеризуються наступними технічно-конструктивними параметрами: напругою (U), потужністю (P), робочою температурою (T), геометрією та розмірами (d , l), а також спектрально-оптичними властивостями (λ , ϵ) [24; 29; 40; 45; 49]. Електричні ІЧ-випромінювачі розподіляють на:

1. *Лінійні кварцові ІЧ-випромінювачі* – конструкція являє собою циліндричну трубку з кварцового скла, за віссю якої встановлюється моноспіральне або біспіральне тіло розжарювання з вольфрамового дроту або ніхромової спіралі [45; 63–70]. Лінійні кварцові ІЧ-випромінювачі мають довжину хвилі $\lambda = 3\text{--}4$ мкм.

Істотними недоліками є: фіксоване положення випромінювача теплової енергії (горизонтальне), що зумовлене параметрами нагрівачої нитки та порушенням йодного циклу в нижній частині трубки, значна вартість нагрівача, необхідність використання рефлекторних блоків для фокусування теплового потоку. У вітчизняних сушарках використовуються здебільшого, кварцові лампи типу КГТ 220-1000 з максимумом випромінювання $\lambda = 1,1$ мкм [71].

2. *Трубчасті електронагрівачі (ТЕНи)* є найпоширенішими ІЧ-випромінювачами на сьогодні, що використовуються в сушарному устаткуванні. Як нагрівальний елемент використовується ніхромові спіраль із температурою накалювання 1200 °С [72; 73]. Основними недоліками є: фіксовані геометричні розміри, неремонтопридатність, висока температура робочої поверхні та металоемність, що призводить до значної інерційності об'єкта.

3. *Керамічні ІЧ-випромінювачі* – конструктивно являють собою керамічні конструкції, у які запресована ніхромові спіраль. Застосування керамічного кожуху зумовлене високою термостійкістю й механічною міцністю. Широке застосування цих випромінювачів в харчовій промисловості зумовлене перевагами над дзеркальними лампами та ТЕНами [74; 75].

4. На сьогодні все частіше починають використовувати саме *неметалеві ІЧ-випромінювачі*, що характеризуються чіткою динамікою роботи, простотою автоматизації процесу, низькою температурою робочої поверхні. Одним із таких ІЧ-випромінювачів є «гнучкі плівкові резистивні електронагрівачі випромінюючого типу» (ГПРЕНВТ) – як випромінювач використовуються напівпровідникові хімічні сполуки (ніхром, карбон та ін.). ГПРЕНВТ швидко поширюються по всьому світу, оскільки має переваги порівняно з існуючими електричними ІЧ-випромінювачами: просту монтажування, відсутність металоемності, що забезпечує низьку інерційність та просту автоматизації, легкість конструкції ІЧ-випромінювача та низьку енергоемність, невисоку температуру робочої поверхні (40...85 °С) (табл. 1.5) [76–80]. На сьогодні ці нагрівачі виготовляються у українською компанією НПК «Монокристалл» [81].

Таблиця 1.5 – Порівняльна характеристики сучасних ІЧ-випромінювачів

Назва ІЧ-випромінювача	Основні технічні параметри та можливість ремонту	Геометрична форма ІЧ-випромінювача та вплив на геометричну форму рефлектора (за наявності) або ж форму ІЧ-сушарки	Металоемність та інерційність ІЧ-випромінювача, ступінь автоматизації
1	2	3	4
ТЕН	від 0,5–3 кВт, $t_{\max} = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, ККД = 0,95, $\lambda = 3\text{ мкм}$, $P_{\text{потуж.}} = 2,2\text{ Вт/см}^2$, $\tau_{\text{роб.}} = 10000\text{ год}$, ремонт не підлягають	Фіксовані геометричні форми та розміри, за рахунок високої температури робочої поверхні потребують використання захисного рефлекторного блока	Висока металоемність, інерційність, що ускладнює автоматизацію
Трубчаста кварцова лампа	від 1–2,5 кВт, $t_{\max} = 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, ККД = 0,92, $\lambda = 1,3\text{–}3\text{ мкм}$, $P_{\text{потуж.}} = 2\text{ Вт/см}^2$, $\tau_{\text{роб.}} = 8000\text{ год}$, ремонт не підлягають	Фіксовані геометричні форми та розміри (лише горизонтальне встановлення), за рахунок високої температури робочої поверхні та напрямку світлової енергії потребують використання захисного рефлекторного блока, що призведе до збільшення металоемності конструкції	Інерційність та незначна металоемність за рахунок вимушеного використання захисного фокусуєного рефлекторного блока, що ускладнює автоматизацію

Продовження табл. 1.5

1	2	3	4
Керамічний електро-нагрівач	від 1–2,8 кВт, $t_{\max} = 1000$ оС, ККД = 0,93, $\lambda = 1,2–3$ мкм, $P_{\text{потуж.}} = 2,1$ Вт/см ² , $\tau_{\text{роб.}} = 9000$ год, підлягають ремонту за рахунок заміни спіралі	Фіксовані геометричні форми та розміри, за рахунок високої температури робочої поверхні, потребують використання захисного рефлекторного блоку, що призводить до збільшення металоемності конструкції	Значна сміність, інерційність, що ускладнює автоматизацію
Гнучкий плівковий резистивний електро-нагрівач випромінюючого типу (ГПРЕнВТ)	від 0,100–0,480 кВт, $t_{\max} = 45 \dots 85$ оС, ККД = 0,98, $\varepsilon = 0,96$, $\lambda = 9–15$ мкм, $P_{\text{потуж.}} = 35 \dots 80$ Вт/м ² , $\tau_{\text{роб.}} = 15000$ год, підлягають ремонту	Гнучкі геометричні форми та достатньо невисока температура робочих поверхонь, без можливості використання фокусуючих рефлекторів	Відсутня металоемність, низька інерційність, проста монтажна та автоматизація

ГПРЕнВТ конструктивно являє собою ніхромові прямокутні смуги з певним кроком між ними, призначеним для нейтралізації можливого, але не підтверженого електромагнітного поля від випромінюючих (грюючих) смуг, з'єднаних із мідною шиною за допомогою захисного срібного напилення, що перешкоджає нагріванню безпосередньо мідної шини, а отже, забезпечує її довговічність. ГПРЕнВТ здатен забезпечувати повторення будь-якої конструктивної форми робочої камери ІЧ-сушарки з максимальним кутом згинання ГПРЕнВТ $\approx 10^\circ$. ГПРЕнВТ являє собою ізотермічну поверхню, що дозволяє використовувати його для створення безрефлекторних ІЧ-сушарок [60].

Для визначення ефективного ІЧ-випромінювача наводимо порівняльні характеристики ІЧ-випромінювачів у табл. 1.5 [53; 63–81]. Аналіз ІЧ-випромінювачів зумовлює необхідність досліджень використання гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕнВТ) для створення сучасних низькотемпературних безрефлекторних ІЧ-сушарок плодово-ягідної сировини.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІЧ-СУШІННЯ ПЛОДОВО- ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ

2.1. Етапи досліджень із проектування ІЧ-сушарок

Для дослідження процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та визначення етапів із проектування раціональних апаратів у Науково-навчальному центрі «Новітні біо технології та обладнання для виробництва харчової продукції з високими оздоровчими властивостями» при Харківському державному університеті харчування та торгівлі на кафедрі процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв було спроектовано експериментальні моделі ІЧ-апаратів, які дозволять визначити:

- прийнятні висоти розташування ІЧ-випромінювача та приймача за умови використання синусоїдального та напівциліндричного рефлекторів у разі їх розміщення над приймачем для забезпечення рівномірності розподілу теплових потоків на приймачеві;

- раціональні форми рефлекторів за умови одnobічного розташування їх за межами приймача для забезпечення рівномірності розподілу теплової енергії на поверхнях приймача;

- доцільність використання безрефлекторного ГПРЕНВТ для створення сушарок безрефлекторного типу з раціональною геометричною формою;

- доцільність використання вібраційного механізму для запобігання злипанню сировини в процесі ІЧ-сушіння та спірального теплообмінного пристрою для використання вторинного повітря.

Дослідження здійснювали відповідно до плану проведення досліджень процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини в запропонованій послідовності (рис. 3.1) [82].

Першим етапом було створення експериментальної моделі ІЧ-сушарки для визначення раціональних положень ІЧ-випромінювача і приймача в ІЧ-сушарці при верхньому положенні рефлектора. Саме ці параметри істотною мірою впливають на процес ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини.

У результаті було розроблено модель експериментальної ІЧ-сушарки «шафного типу» з можливістю верхнього розташування рефлекторів напівциліндричної та синусоїдальної геометричної форми, детальний опис конструкції наведено в розд. 2, п.п. 2.1.1.

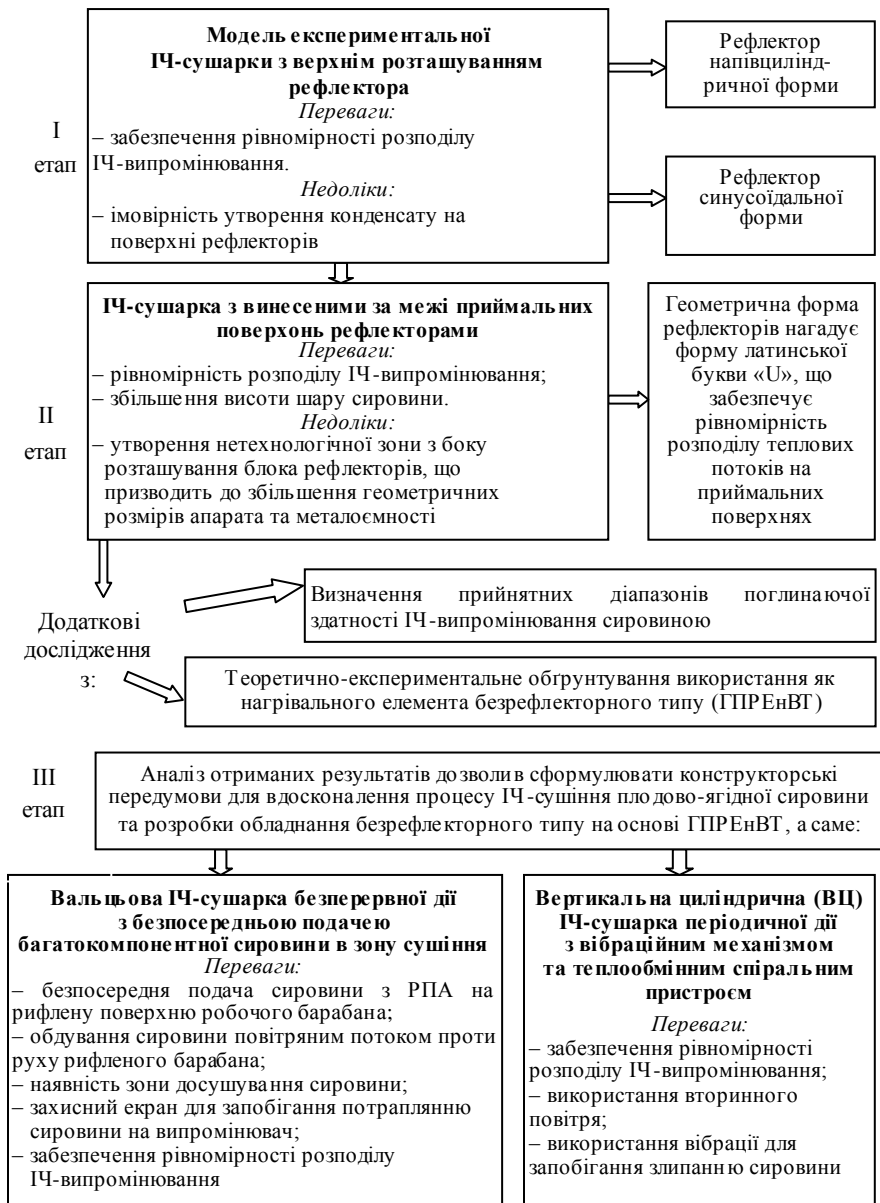


Рисунок 2.1 – Етапи досліджень із проектування ІЧ-сушарок для виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів

Створена модель дозволила визначити оптимальні положення ІЧ-випромінювача і приймача залежно від геометричної форми рефлекторів для забезпечення рівномірності розподілу теплового потоку на приймачеві. Серед недоліків апаратів відповідно до запропонованої моделі є імовірність утворення конденсату на поверхні рефлекторів, що призводить до зниження їх віддзеркалюючої спроможності та збільшення геометричних розмірів за рахунок верхнього розташування рефлектору над приймачем.

Аналізуючи отримані експериментальні дані, було запропоновано вдосконалити попередню модель експериментального апарата з метою усунення виявлених недоліків та покращення технічних параметрів.

У результаті було спроектовано ІЧ-сушарку з винесеними за межі приймальної поверхні (сітчастого піддона) рефлекторами певної геометричної форми. Для визначення раціональних форми рефлекторів для забезпечення рівномірності розподілу теплової енергії на поверхнях приймача розроблено математичну модель ІЧ-нагрівання при однобічному розташуванні рефлекторів за межами приймача. Результати досліджень більш детально наведено в розд. 2, п.п. 2.1.3. Запропонована конструкція ІЧ-сушарки дозволила усунути недоліки попередньої експериментальної моделі та підвищити технічні параметри апарату.

Розроблена ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами може бути реалізована на ринках збуту сушарного устаткування для сушіння плодово-ягідної сировини з рівномірним розподілом теплового потоку на приймачах зі збільшеною товщиною нарізання шару сировини, оскільки серед недоліків є лише утворення незначної нетехнологічної зони з боку розташування рефлекторних блоків.

Для визначення та підтвердження рівномірності розподілу теплової енергії на приймачах окрім математичного моделювання використовували комп'ютерну програму TrayPro.

Для отримання детального розуміння шляхів удосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини на основі попередньо отриманих експериментальних даних з 1-го та 2-го етапу досліджень (рис. 2.1), було прийнято рішення з проведення додаткових досліджень із визначення прийнятних діапазонів поглинаючої здатності ІЧ-випромінювання плодово-ягідною сировиною та встановлення раціонального діапазону ІЧ-хвилі при використанні під час сушіння безрефлекторного ГПРЕНВТ як нагрівального елемента з подальшим визначення ефективності його використання (розд. 2, п. 2.3.1, 2.3.2),

які дозволили сформульовані конструкторські передумови для вдосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини та розробки обладнання безрефлекторного типу на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ, а саме:

– вальцову ІЧ-сушарку безперервної дії з безпосередньою подачею попередньо концентрованої до вмісту 28–30% СР багатокomпонентної плодово-ягідної сировини 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. Запропонований апарат працює в комплексі з роторно-плівковим апаратом (РПА) та призначений для розташування на лініях виробництва сушених багатокomпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів. Детальний опис запропонованих конструкцій наведено в п. 2.4;

– вертикальну циліндричну ІЧ-сушарку (ВЦ ІЧ-сушарка) періодичної дії з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря. Розроблений апарат може бути використаний в міні-лініях розташованих безпосередньо біля місць збирання та переробки плодово-ягідної сировини або ж у домашньому побуті.

Розроблені апарати запатентовані в Українському інституті інтелектуальної власності «Укрпатент»: «Вальцова ІЧ-сушарки для сушіння плодово-ягідних паст» [86–87] та «Вертикальна циліндрична ІЧ-сушарка» [88–89], що підтверджує наявність наукової новизни в практичних розробках, а також підтвердження доцільності проведення досліджень у цьому напрямку з метою отримання сушених напівфабрикатів з плодово-ягідної сировини.

На сьогодні 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. Тому було прийнято рішення спрямувати детальні дослідження із процесів сушіння плодово-ягідної сировини безпосередньо на періодичну «Вертикальну циліндричну ІЧ-сушарку» з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря, яка призначена для використання на фермерських господарствах та у домашньому побуті. Цей апарат здатен розміщуватися безпосередньо в місцях збирання плодово-ягідної сировини, на відміну від раніше запропонованого

устаткування «Вальцова ІЧ-сушарка – РПА», що використовується безпосередньо на підприємствах зі значної продуктивності.

2.1.1. Експериментальна ІЧ-сушарка з верхнім розташуванням рефлектора

Із метою проведення початкових етапів дослідження процесів сушіння плодово-ягідної сировини розроблена схема експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлекторів різної геометричної форми, а саме циліндричного та синусоїдального перерізу для визначення оптимальних положень ІЧ-випромінювача і приймача. Запропонована схема сушарки складалася з робочої камери (1), циліндричного або синусоїдального рефлектора (2), напрямних для піддонів (3), патрубку для відведення пари (конденсату) під час проведення процесів ІЧ-сушіння (4), лінійного кварцового ІЧ-випромінювача (5) з номінальною потужністю 1 кВт, сітчастого піддона для продукту (6), термопар (7), блока керування з вмонтованим регулятором температури «ТРМ101» (8) та монтажної шпильки (9). Схему експериментальної установки наведено на рис. 2.2.

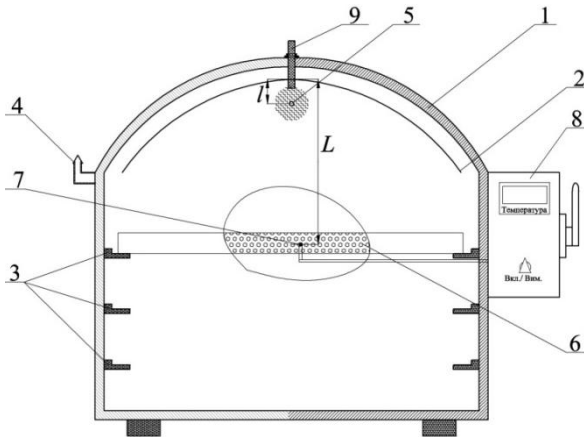


Рисунок 2.2 – Схема експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора: 1 – робоча камера; 2 – циліндричний або синусоїдальний рефлектор; 3 – напрямні для піддонів; 4 – патрубок для відведення пари; 5 – лінійний кварцовий ІЧ-випромінювач; 6 – сітчастий піддон для плодово-ягідної сировини; 7 – термопар; 8 – регулятор температури «ТРМ101»; 9 – монтажна шпилька; L – висота розташування ІЧ-випромінювача; L – висота розташування приймача

Зміна рефлекторів різних геометричних форм та просторового розташування лінійного кварцового ІЧ-випромінювача здійснюється за допомогою монтажної шпильки (9) [90].

Технічні параметри експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора

Технічний параметр	Од. вим.	Значення
Напруга живлення	Вт	220
Споживча потужність ІЧ-випромінювача	кВт	1
Підтримувана температура в робочій камері	°С	40...60 ± 2
Тривалість виходу на робочий режим	с	7
Вага установки (в упаковці)	кг	20
Габаритні розміри	м	0,5×0,6×0,6

Під час проведення досліджень в експериментальній ІЧ-сушарці було перевірено вплив наступних чинників: різної геометричної форми рефлекторів на забезпечення рівномірності розподілу теплових потоків на приймальних поверхнях, зміни висот розміщення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача та приймальної поверхні (сітчастого піддона), згідно із зазначеними параметрами для цих умов, що наведені на рис. 2.3 на зміну вологості плодово-ягідної сировини та тривалість процесу ІЧ-сушіння.

Для визначення ефективності процесу ІЧ-сушіння при різних відстанях приймальної поверхні та лінійного кварцового ІЧ-випромінювача до рефлекторів з різною геометричною формою були проведені експериментальні дослідження, аналіз яких дозволив визначити вплив запропонованих параметрів на процес ІЧ-сушіння. Результати запропонованих досліджень дозволили зробити висновки щодо обґрунтування вибору раціональних за геометричною формою рефлекторів залежно від обраних факторів.

Під час експериментальних досліджень було визначено вплив просторового розташування, згідно зі схемою (рис. 3.3), приймальної поверхні – $h_{п.п.}$ (сітчастого піддона) зі значеннями: 0,175, 0,225, 0,275 м та відстанями лінійного кварцового ІЧ-випромінювача $h_{ІЧ-випр.}$: а – 0,075 м, б – 0,05 мм, в – 0,025 мм, при запропонованій товщині шару яблучної сировини $h_{ябл.}$ – 7, 17 та 24 мм. Як відгук рівняння регресії була обрана вологість, оскільки саме вона є основною ознакою сушеного напівфабрика ту.

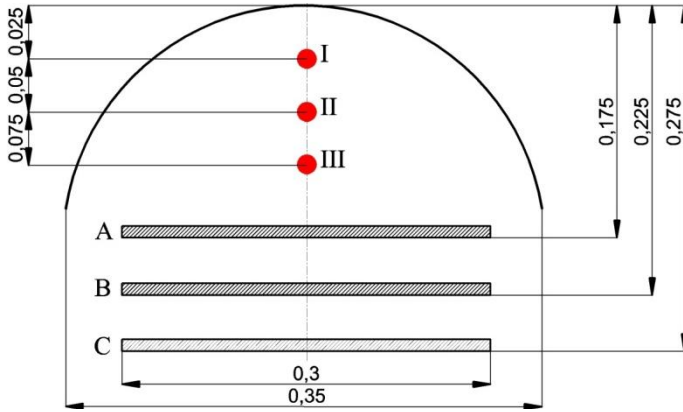


Рисунок 2.3 – Схема геометричного розташування лінійного кварцового ІЧ-випромінювача та приймальної поверхні (сітчастого піддона з плодово-ягідною сировиною) від запропонованих рефлекторів

Кількісними керованими чинниками обрано такі параметри: X_1 – відстань до продукту зі значеннями: 0,175, 0,225 та 0,275 м; X_2 – відстань ІЧ-випромінювача до вершини рефлектора: 0,025, 0,05 та 0,075 м; X_3 – тривалість сушіння зі значеннями: 1800, 5400 та 9000 с; X_4 – висота шару сировини зі значеннями: 0,007, 0,017 та 0,024 мм. План 4-х факторного експерименту із зазначенням верхнього та нижнього рівнів вказуємо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – План 4-х факторного експерименту

Рівень факторів	Назва фактора			
	Відстань приймальної поверхні до вершини рефлектора, м X_1	Відстань ІЧ-випромінювача до вершини рефлектора, м X_2	Тривалість сушіння, хв X_3	Висота шару сировини, м X_4
Нижній	0,175	0,025	30	0,007
Основний	0,225	0,050	90	0,017
Верхній	0,275	0,075	150	0,024

Під час дослідження процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини було проведено експеримент для 3-х рівнів, отже, кількість спостережень складала $3^4 = 81$ за умови необхідного мінімуму $3^x \cdot 6 = 18$.

Функцією відгуку Y було обрано остаточну вологість плодово-ягідної сировини, яка стабілізувалася у процесі ІЧ-сушіння. У результаті проведення статистичної обробки експериментальних даних отримано лінійне рівняння регресії (3.1), яке накладає зв'язок між чинниками експерименту та відгуком

$$Y = 45,0866 + 0,0441 \cdot x_1 - 0,0347 \cdot x_2 - 0,2825 \cdot x_3 + 8,3972 \cdot x_4. \quad (2.1)$$

Гіпотеза є достовірною, на що вказує критерій Фішера (значущість $F < 0,5\%$). Коефіцієнти кореляції та детермінації становлять, відповідно, 95% та 90%, отже, кінцева вологість істотно залежить від сукупного впливу обраних факторів [112–114].

Відповідно до статистичної значущості за такого плану експерименту найвпливовішим чинником є час ІЧ-сушіння (X_3), відстань приймальної поверхні до вершини рефлектора (X_1) та висота шару плодово-ягідної сировини (X_4). Із рівняння 3.1 статистична незначущість другого фактора (X_2) ні в якому разі не є приводом до виключення його з плану, бо це призведе до зміни рівняння регресії. Статистична значущість стохастичної похибки вказує на те, що всі фактори експерименту істотно впливають на відгук (Y), і план експерименту було підтверджено.

Аналізуючи кінетику вологовмісту яблучної сировини за умов використання лінійного кварцового ІЧ-випромінювача від рефлектора $h_{\text{ІЧ-випр.}} (l) - 0,075$ м (рис. 2.4 а) та за умов висоти шару сировини $h_{\text{ябл.}} - 0,007$ м, раціональною висотою розташування приймальної поверхні є висота $h_{\text{п.п.}} (L) - 0,225$ м з тривалістю процесу ІЧ-сушіння 150 хв (рис. 2.4 а ■). Хоча за висоти розташування приймача $h_{\text{п.п.}} - 0,175$ м тривалість сушіння менша (120 хв, рис. 2.4 а ●), але за умов використання рефлектора циліндричного перерізу спостерігалось утворення певної смуги зразка невисокої якості, це підтверджується й результатами комп'ютерного моделювання з рівномірності розподілу теплового потоку на приймальній поверхні, а в разі застосування рефлектора синусоїдального перерізу, навпаки, нерівномірний розподіл теплового потоку спостерігається в центрі приймальної поверхні.

А за висоти розташування приймальної поверхні $h_{\text{п.п.}} - 0,275$ м спостерігається збільшення тривалості процесу ІЧ-сушіння (170 хв, рис. 2.4 а ▲).

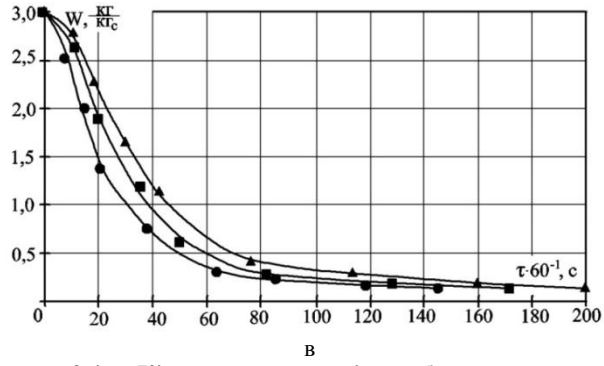
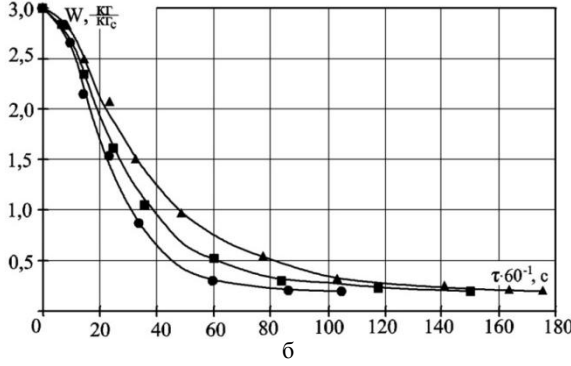
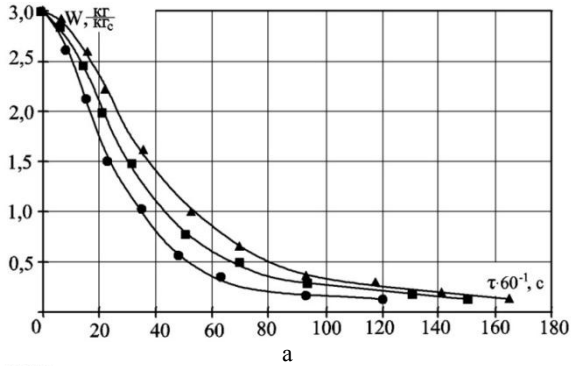


Рисунок 2.4 – Кінетика вологовмісту яблучної сировини за умов віддалення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача від рефлектора ($h_{\text{ІЧ-випр.}}$): а – 0,025 м; б – 0,05 м; в – 0,075 м, та відстань приймальної поверхні до вершини рефлектора ($h_{\text{п.п.}}$): ● – 0,175 м; ■ – 0,225 м; ▲ – 0,275 м

За умов розміщення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача на відстані $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,05$ м (рис. 2.4 б) та за умов висоти шару сировини $h_{\text{ябл.}} = 0,007$ м прийнятною висотою розташування приймальної поверхні є висота $h_{\text{п.п.}} = 0,225$ м з тривалістю процесу ІЧ-сушіння 150 хв (рис. 2.4 б■). За інших висот спостерігається пригорання в граничних межах приймальної поверхні ($h_{\text{п.п.}} = 0,175$ м) або ж штучне збільшення тривалості процесів сушіння сировини ($h_{\text{п.п.}} = 0,275$ м). Ці висновки підтверджуються отриманими результатами комп'ютерного моделювання.

Аналізуючи отриману залежність при подальшому розташуванні лінійного кварцового ІЧ-випромінювача на відстані $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,025$ м від рефлектора під час використання синусоїдального або ж напівциліндричного рефлектора (рис. 2.4 в), можна стверджувати, що тривалість процесу сушіння сировини значною мірою збільшується порівняно з отриманими результатами за висот розташування ІЧ-випромінювача $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,05$ м та $0,075$ м, а зовнішній вигляд її є досить придатним для споживання (результати отримані під час досліджень), це пояснюється нерівномірністю розподілу теплового потоку.

Отримані дані підтверджують пересушування поверхневих шарів сировини та штучне збільшення тривалості процесу, а отже, і витрата електроенергії, що є недоцільним для процесів ІЧ-сушіння.

Для визначення рівномірності розподілу теплового потоку на приймальній поверхні в ІЧ-сушарці з верхнім розташуванням рефлектора, використовували комп'ютерну програму TracePro, а результати моделювання більш детально наведені в розд. 2, п.п. 2.1.2.

2.1.2. Моделювання розподілу теплового потоку в моделі експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора

У спроектованій ІЧ-сушарці (рис. 2.2) основним конструктивним елементом є рефлектори напівциліндричного або синусоїдального перерізу, які були виготовлені зі гнучкого алюмінієвого листа розмірами $0,4 \times 0,2$ м із подальшим поліруванням для забезпечення максимального коефіцієнта віддзеркалення поверхні [76].

Під час цього експериментального дослідження визначалися оптимальні положення ІЧ-випромінювача і приймача в ІЧ-сушарці при верхньому положенні рефлектора змінної геометричної форми для забезпечення рівномірності розподілу теплового потоку на

приймальній поверхні в процесі ІЧ-сушіння пло дово-ягідної сировини, згідно зі схемою геометричного розташування, наведеного на рис. 2.3, та плану 4-факторного експерименту (табл. 2.2), під час застосування комп'ютерної програми TracePro.

Наведено проєкції променів та розподіл теплового потоку на приймальну поверхню разі використання напівциліндричного рефлектора в робочій камері (рис. 2.5, 2.6) за умови відстані лінійного кварцового ІЧ-випромінювача $h_{\text{ІЧ-випр.}}$ – 0,05 м та висоти приймальної поверхні $h_{\text{п.п.}}$ – 0,225 м та синусоїдального рефлектора (рис. 2.7, 2.8) за умов віддаленні лінійного кварцового ІЧ-випромінювача $h_{\text{ІЧ-випр.}}$ – 0,025 м та висоті приймальної поверхні $h_{\text{п.п.}}$ – 0,225 м.

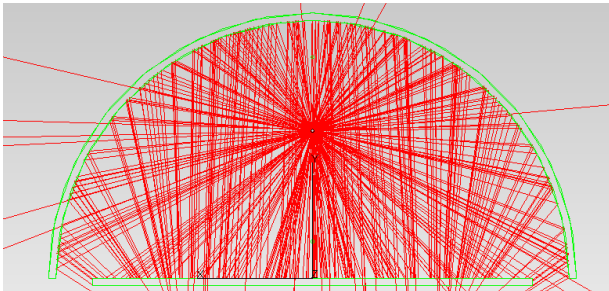


Рисунок 2.5 – Проєкція променів теплового потоку на приймальну поверхню за умов застосування напівциліндричного рефлектора ($h_{\text{ІЧ-випр.}}$ – 0,05 м, $h_{\text{п.п.}}$ – 0,225 м)

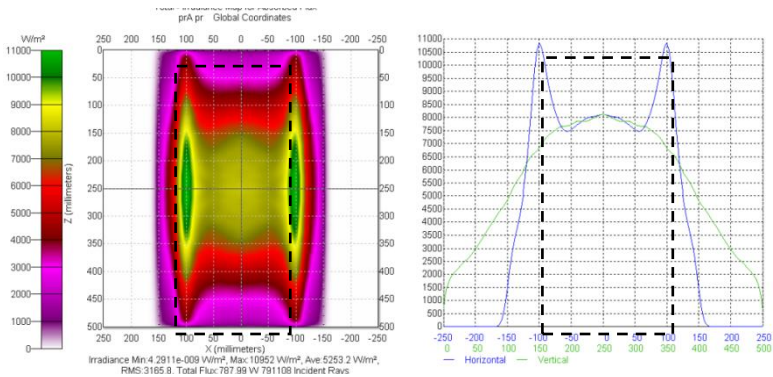


Рисунок 2.6 – Розподіл теплового потоку на приймальній поверхні за умов застосування напівциліндричного рефлектора ($h_{\text{ІЧ-випр.}}$ – 0,05 м, $h_{\text{п.п.}}$ – 0,225 м)

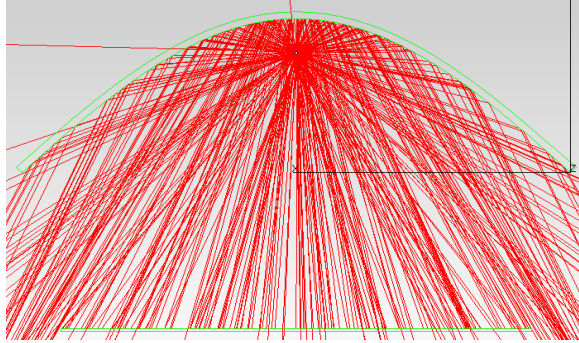


Рисунок 2.7 – Проекція променів теплового потоку на приймальну поверхню за умов застосування синусоїдального рефлектора ($h_{\text{ІЧ-випр.}} - 0,025 \text{ м}$, $h_{\text{п.п.}} - 0,225 \text{ м}$)

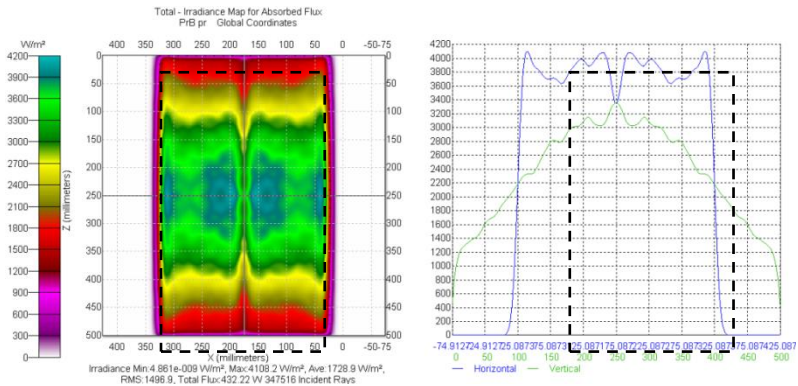


Рисунок 2.8 – Розподіл теплового потоку на приймальній поверхні за умов застосування синусоїдального рефлектора ($h_{\text{ІЧ-випр.}} - 0,025 \text{ м}$, $h_{\text{п.п.}} - 0,225 \text{ м}$)

Аналізуючи результати комп'ютерного моделювання проекції променів та розподілу теплового потоку на приймальну поверхню залежно від використання напівциліндричного або синусоїдального рефлектора, отримані за допомогою програми TracePro, та різних висот розташування лінійного кварцового ІЧ-випромінювача й приймальної поверхні згідно зі схемою (рис. 2.3), можна зробити висновок, що раціональною умовою для проведення процесів ІЧ-сушіння у разі використання напівциліндричного рефлектора є відстань ІЧ-випромінювача $h_{\text{ІЧ-випр.}} - 0,05 \text{ м}$ та приймальної поверхні $h_{\text{п.п.}} - 0,225 \text{ м}$ (рис. 2.5, 2.6).

А за умови використання синусоїдального рефлектора, прийнятною висотою є: $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,025$ м та $h_{\text{п.п.}} = 0,225$ м (рис. 2.7, 2.8). За інших геометричних висот спостерігався менш рівномірний розподіл проекції променів, а отже й тепловий потік, що призводило до появи явищ пригорання в граничних межах приймальної поверхні з плодово-ягідної сировини або ж руйнування її поверхневих шарів [120].

Отже, раціональною геометричною формою рефлекторів для забезпечення рівномірності розподілу теплової енергії та простоти його виготовлення є напівциліндрична.

Слід відзначити вагомий фактор, який спостерігався під час досліджень та який з технічної точки зору довелося вирішувати: при розташуванні рефлектора будь-якої геометричної форми над приймальною поверхнею під час технологічного процесу поступово спостерігалася імовірність забруднення його віддзеркалюючої поверхні випаровуваннями або ж утворенням шару суги, що в подальшому призводило до погіршення параметрів роботи ІЧ-апарата. Для усунення цього недоліку було запропоновано конструктивне рішення з винесення за межі приймальних поверхонь рефлекторних блоків з ІЧ-випромінювачами безпосередньо з одного боку апарата, а не як це раніше досліджувалося в працях О.О. Завалія за умов винесення рефлекторів по обидва боки приймача [91].

Винесення рефлектора в геометричному просторі в бік від центра робочої поверхні призводить до його «стискання» й за формою він починає нагадувати латинську літеру «U» з наближеними один до одного кінцями [92]. Це твердження добре ілюструється на рис. 2.9, де згідно з позначенням: 1 – лінійний кварцовий ІЧ-випромінювач, 2 – рефлектор, 3 – приймальна поверхня.

Із конструктивної точки зору розробка запропонованого рефлектора можлива, але слід відзначити, що отриманий конструктивний елемент має істотну чутливість до неточностей у геометричній формі, що неминуче виникають під час технічного процесу виготовлення. У результаті чого картина розповсюдження ІЧ-променів, а отже, і теплових променів може суттєво спотворюватися.

Під час детальних експериментальних досліджень підтверджено, що теплотехнічна установка з одним ІЧ-випромінювачем має обмежену потужність, а отже, не завжди здатна забезпечити потрібний з технологічної точки зору тепловий потік, що потрапляє на приймальну поверхню. При цьому модель ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора призводить до примусового збільшення

геометричних розмірів робочої камери, оскільки над кожною приймальною поверхнею з плодово-ягідною сировиною потрібно розміщувати рефлектор певної геометричної форми [93].

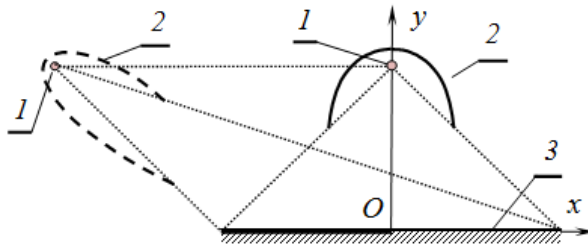


Рисунок 2.9 – Зміна форми рефлектора за його геометричного зміщення від центра приймальної поверхні: 1 – ІЧ-випромінювач; 2 – рефлектор; 3 – приймальна поверхня (сітчастий піддон)

Експериментальні дані, отримані під час дослідження моделі ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора, дозволили окреслити передумови для подальшого вдосконалення її конструкції та запропонувати розробку обладнання з однобічним розташуванням рефлекторів за межами приймача (п.п. 2.1.3).

2.1.3. ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами

У результаті було запропоновано розробити ІЧ-сушарку з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами, що представлена на рис. 2.10, яка складається з: теплоізолюючого корпуса (1), сітчастих піддонів із плодово-ягідною сировиною (2), напрямних для піддонів (3), нагнітача повітря (4), розподільної решітки (5), рефлекторів (6), ІЧ-випромінювачів (7), патрубку відведення пароповітряної суміші (8) і стійок (9).

Для визначення раціональних форми рефлекторів при однобічному їх розташуванні за межами приймача, що забезпечать рівномірний розподіл теплової енергії на поверхнях приймача в запропонованій ІЧ-сушарці розроблено математичну модель ІЧ-нагрівання відповідно до її тепло технічної системи, що наведена на рис. 2.11, із зазначенням схеми перерізу запропонованої ІЧ-сушарки з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами, яка проведена нормально до осей рефлекторів та складається з кварцового

прямолінійного ІЧ-випромінювача (1), рефлекторів (2) та приймальної поверхні теплових променів (сітчастого піддона з плодово-ягідною сировиною) (3).

Не технологічна зона

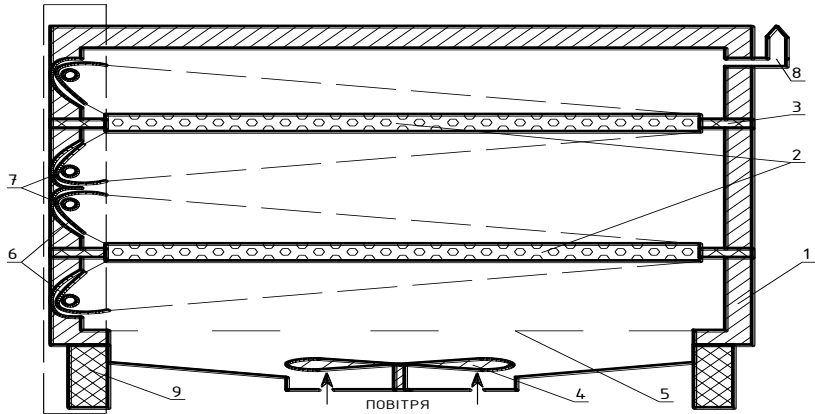


Рисунок 2.10 – ІЧ-сушарка з винесеними за межі приймальних поверхень рефлекторами: 1 – теплоізолюючий корпус; 2 – приймальна поверхня (сітчастий піддон); 3 – напрямні для піддонів; 4 – нагнітач повітря; 5 – розподільна решітка; 6 – рефлектори; 7 – ІЧ-випромінювачі; 8 – патрубок відведення пароповітряної суміші; 9 – стійки

Із метою інтенсифікації технологічного процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини з конструктивної точки зору було запропоновано підведення свіжого повітря за рахунок нагнітача повітря (4) в нижню частину робочої камери, яке після попереднього підігрівання на нижній поверхні сітчастого піддона проходить крізь плодово-ягідну сировину у верхній простір камери, після чого відводиться до навколишнього середовища за допомогою патрубка відведення пароповітряної суміші (8) [94].

Ураховуючи попередні експериментальні, теоретичні та практичні висновки, які були отримані під час виконання роботи, не обійшло зазначити, що всі дослідження будемо проводити в пласкій постановці, за умов нехтування втратами частини енергії теплових променів на шляху від ІЧ-випромінювачів до приймача (сітчастого піддона) з плодово-ягідною сировиною – ці втрати досить незначною мірою впливають на геометричну форму рефлекторів.

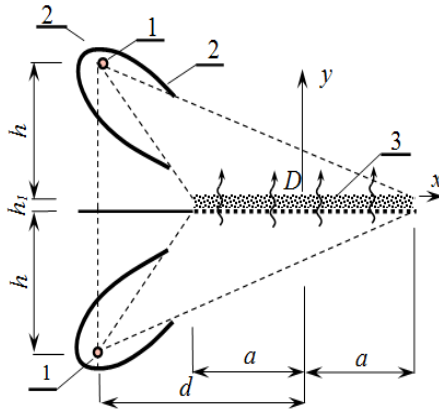


Рисунок 2.11 – Схема теплотехнічної установки з винесеними за межі приймальної поверхні рефлекторами: 1 – ІЧ-випромінювачі; 2 – рефлектори; 3 – приймальна поверхня (сітчастий піддон) де: x, y – осі координат; a – ширина приймача; h – висота розташування ІЧ-випромінювачів над приймачем із продуктом; h_1 – товщина заповненого приймача; d – віддаль у горизонтальному напрямку від середини приймача до ІЧ-випромінювачів; ξ – відносна координата

У результаті можна зробити висновки, що запропоновані рефлектори повинні мати однаковий геометричний профіль і нам достатньо визначити параметри лише одного з них, нехай це буде верхній рефлектор, а подальші дослідження проводимо у координатній системі O_1x, O_1y так, як це показано на рис. 3.11.

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

$$q = q_1(x) + q_2(x), \quad (2.2)$$

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:

$$q = \frac{Q}{2a}. \quad (2.3)$$

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

$$q_1(x) = \frac{Qh}{2\pi[(x+a)^2 + h^2]}. \quad (2.4)$$

Як і в усіх цитованих працях, 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

$$q = \frac{Q}{2a} \cdot p, \quad q_1(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p_1(\xi), \quad q_2(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p. \quad (2.5)$$

та введемо такі безрозмірні параметри:

$$k = \frac{h}{a}, \quad \delta = \frac{d}{a}. \quad (2.6)$$

Тоді з наведених залежностей випливає:

$$p = 1, \quad p_1(\xi) = \frac{k}{\pi} \cdot \frac{1}{(\xi - \delta)^2 + k^2}, \quad p_2(\xi) = 1 - p_1(\xi). \quad (2.7)$$

Рис. 2.12 ілюструє, як змінюються функції ПЧ-опромінювання за умов зміни ξ ($-1 \leq \xi \leq 1$) у разі, коли $\delta = 2$ й $k = \sqrt{3}$.

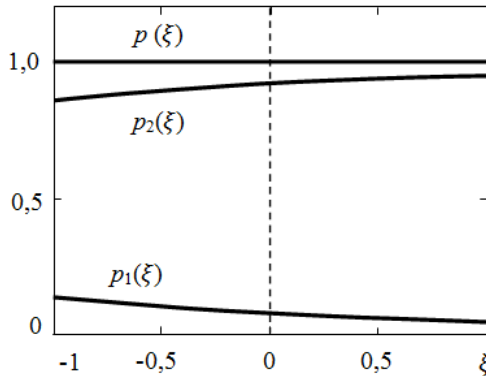


Рисунок 2.12 – Характер зміни функцій опромінювання

Тепер, коли характер зміни функцій ІЧ-опромінювання відомий, можна перейти до визначення геометричного профілю рефлектора. Для цього розглянемо віддзеркалення променів і припустимо, що в довільну точку K поверхні продукту з відносною координатою ξ (рис. 2.13) потрапляє промінь, який відбився від точки M рефлектора.

Положення точки M можна характеризувати двома координатами – ρ і φ , де радіус ρ є безрозмірною величиною.

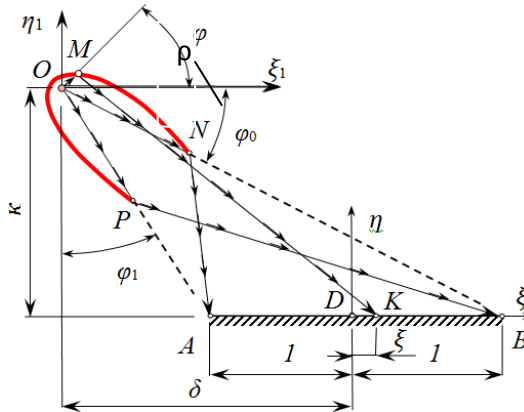


Рисунок 2.13 – Схема віддзеркалених від рефлектора ІЧ-променів

Змінні ρ, φ і ξ пов'язані між собою такою диференціальною залежністю [77]:

$$\frac{d\rho}{d\xi} = -\rho \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot \cos \varphi + \xi + \delta}{(\rho_1 + \rho) \cdot \sin \varphi + k} \cdot \psi, \quad (2.8)$$

де

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

Ця залежність може стати диференціальним рівнянням, якщо вдається встановити зв'язок між кутковою координатою « φ » і лінійною « ξ ».

Таким зв'язком можна просто задаватися. Тоді кожному обраному способу потрапляння відбитих променів на робочу поверхню відповідатиме своя форма профілю рефлектора [95].

Розглянемо один із найпростіших. Для цього почнемо монотонно рухати точку M у бік збільшення φ (тобто проти ходу годинникової стрілки) так, щоб вона пробігла весь контур рефлектора від точки N до P . При цьому будемо вважати, що точка K поверхні продукту (туди потрапляє віддзеркалений промінь) теж буде рухатися монотонно, починаючи від A до B .

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

$$\frac{Q}{2\pi} \cdot (\varphi + \varphi_0) = \frac{Q}{2\pi} \cdot \left(\varphi + \text{ark tg} \frac{k}{\delta + 1} \right). \quad (2.9)$$

Якщо втрат енергії на шляху до продукту немає, то вона вся потрапляє на ділянку AK і може бути обчислена так:

$$\int_{-a}^x q_2(x) dx = \frac{Q}{2a} \cdot \int_{-1}^{\xi} p_2(\xi) d\xi, \quad (2.10)$$

де $p_2(\xi)$ треба взяти із залежностей (2.7).

Прирівнюючи вирази (2.9) і (2.10) та беручи інтеграл від $p_2(\xi)$, остаточно знаходимо

$$\varphi(\xi) = \pi(\xi + 1) - \varphi_0 - \text{ark tg} \frac{k(\xi + 1)}{(\delta - 1) \cdot (\xi + \delta) + k^2} \quad (2.11)$$

$$\left(\varphi_0 = \text{ark tg} \frac{k}{\delta + 1} \right)$$

Рівняння (2.8) розв'язувалося методом Рунге-Кутта для випадку, коли $\delta = 2$ та $k = \sqrt{3}$, та двох початкових значень $\rho = \rho_N$, а саме: $\rho_N = 1$; $\rho_N = 0,75$.

На рис. 2.14 відповідно до цих значень наведено можливі раціональні форми рефлекторів ГЧ-сушарки з винесеними за межі приймальних поверхонь рефлекторами. Крива 1 відповідає випадку, коли $\rho_N = 1$, та крива 2 – $\rho_N = 0,75$ (уздовж осей координат відкладено відносні розміри).

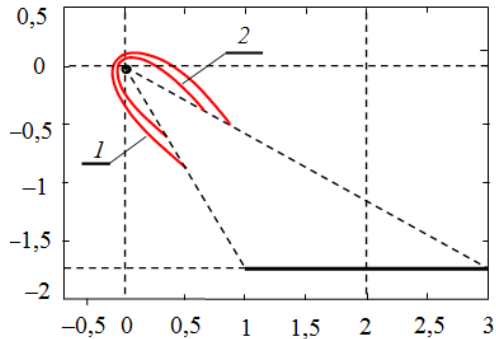


Рисунок 2.14 – Можливі раціональні форми рефлекторів

На рис. 2.15 подано схему теплових променів у ІЧ-сушарці, що віддзеркалилися від геометричного профілю рефлектора.

На рис. 2.16 наведено теплові промені, що потрапляють на приймальну поверхню (сітчастий піддон з плодово-ягідною сировиною), оминаючи рефлектор.

Отже, поставлене завдання вирішено. Таке розміщення рефлекторів на відповідному рівні забезпечить рівномірний розподіл теплового потоку від ІЧ-випромінювачів на плоску приймальну поверхню, що забезпечить рівномірне нагрівання плодово-ягідної сировини як на верхній поверхні приймача, так і на нижній його поверхні, це дозволить знехтувати вібраційними процесами для перемішування сировини за умов її значної товщини та забезпечує можливість рівномірного сушіння сировини в ІЧ-полі.

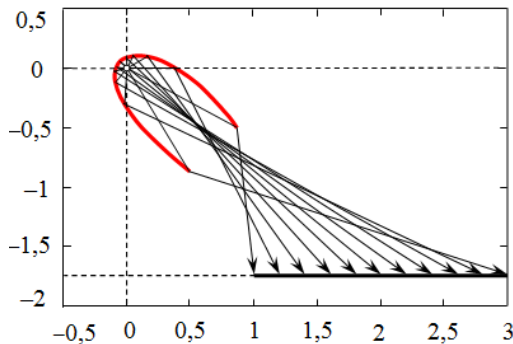


Рисунок 2.15 – Схема теплових променів, що віддзеркалилися від рефлектора

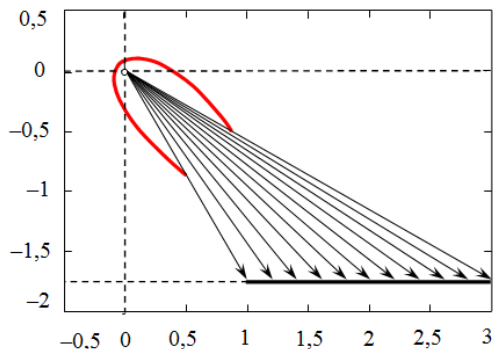


Рисунок 2.16 – Схема теплових променів, що потрапляють на робочу поверхню, оминаючи рефлектор

Для підтвердження достовірності математичного моделювання та отриманого результату було досліджено данні температурного поля у реальному часі за допомогою розташованих на сітчастому приймачеві термопар з'єднаних із ТРМ 101 (рис. 2.17).

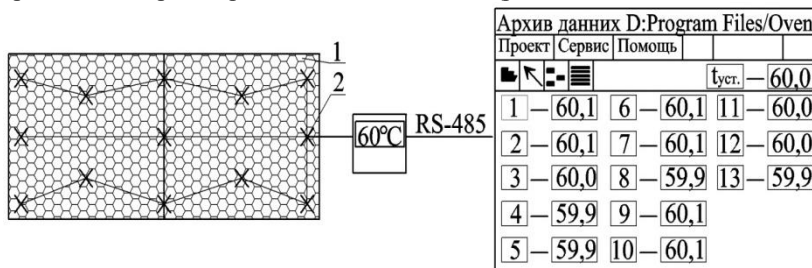


Рисунок 2.17 – Схема розташування термопар на приймальній поверхні (сітчастому піддоні) із зазначенням у реальному часі за встановленого температурного режиму (60 °С): 1 – сітчастий піддон; 2 – термопара

Аналізуючи отримані дані з контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ101», можна стверджувати, що опромінювання ІЧ-променями приймальної поверхні є рівномірним, а незначне відхилення температурного поля від встановленого температурного параметра в 60 °С, – у межах експериментальної похибки, оскільки коливання температурної різниці становить – 2...+1 °С.

Перевагами запропонованої ІЧ-сушарки є можливість збільшення товщини нарізання шару плодово-ягідної сировини за рахунок одночасного опромінювання нижньої та верхньої площин

приймача, що є одним з найважливіших факторів під час проведення процесів ІЧ-сушіння.

Запропонована ІЧ-сушарка з винесеними рефлекторними блоками за межі приймальних поверхонь має конструктивну ефективність у порівнянні з попередньою конструкцією (рис. 2.2), та забезпечує рівномірність розподілу теплового потоку на приймачах, серед недоліків: утворення незначної нетехнологічної зони з боку розташування рефлекторних блоків з ІЧ-випромінювачами (рис. 2.10), але незважаючи на це, апарат може використовуватися піз час реалізації процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини.

Отримані результати експериментально-практичних досліджень дозволили отримано значну кількість передумов для формулювання подальшого удосконалення процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини, що забезпечить проектування більш раціонального устаткування з використанням сучасних безрефлекторних ІЧ-випромінювачів. За умов проведення додаткових досліджень з визначення поглинаючої здатності яблучної сировини та встановлення раціонального діапазону ІЧ-хвилі для підтвердження ефективності використання як нагрівального елемента під час сушіння безрефлекторного, який відповідно до результатів літературного аналізу має певні переваги за спектрально-конструктивними властивостями (розд. 1, п. 1.5, табл. 1.5) в порівнянні з іншими випромінювачами (ТЕН, кварцова лампа та ін.). У зв'язку з цим було прийнято рішення про необхідність проведення додаткових досліджень з підтвердження попередніх теоретичних висновків.

2.2. Визначення поглинаючої здатності ІЧ-випромінювання плодово-ягідною сировиною на прикладі яблука

Під час проектування ІЧ-сушарок необхідно враховувати не лише конструктивні й технічні параметри апаратів, наприклад, геометричні форми рефлекторів, а й спектрально-оптичні параметри (властивості) безпосередньо ІЧ-випромінювача та плодово-ягідної сировини.

Урахування спектрально-оптичних параметрів об'єкта «ІЧ-випромінювач – плодово-ягідна сировина» дозволить визначити оптимальні умови проведення технологічних процесів ІЧ-сушіння та підібрати відповідний тип ІЧ-випромінювача за спектральними параметрами (ступінь чорноти, довжина ІЧ-хвилі та інші технічні параметри), що дозволить ефективно керувати тепловим процесом і забезпечувати раціональні витрати електроенергії. Експериментальні дані сприятимуть створенню сучасних ІЧ-сушарок [96–99].

Під час проведення спектральних досліджень здебільшого використовують співвідношення Вина, яке дозволяє визначати довжину хвилі попередньо обраних ІЧ-випромінювачів залежно від значень температурного параметра їх робочої поверхні. Отримані розрахункові дані дозволяють визначити безпосередній вплив температури нагрівача на якісні параметри одержаної сушеної сировини.

Плодово-ягідна сировина характеризується різноманітним хімічним складом, але вона також має значний об'єм вологи у своєму складі, що забезпечує значне поглинання ІЧ-випромінювання в певних діапазонах хвиль. Проведення експериментальних досліджень з визначення спектральної здатності природної сировини дозволяє перш за все визначити прийнятні діапазони ІЧ-хвиль для проведення процесів ІЧ-сушіння [100–102].

Від параметрів перетворення електричної енергії в теплову залежить якість її сприйняття безпосередньо сировиною. Корисну дію цього перетворення можна розрахувати за рівнянням (2.12)

$$\beta = \frac{\Phi_{\text{еф.}}}{\Phi}, \quad (2.12)$$

де Φ – ІЧ-випромінювання, що надходить безпосередньо від ГПРЕНВТ, Вт; $\Phi_{\text{еф}}$ – ефективно сприйнятий плодоягідною сировиною тепловий потік, Вт.

Спектральна складова теплового потоку ІЧ-випромінювача впливає на характер поглинання, віддзеркалення та пропускання зазначених потоків плодово-ягідною сировиною за рахунок вибіркової здатності сприйняття в різних довжинах ІЧ-хвиль.

За допомогою спектрометра OME Elman на базі Інституту монокристалів НАН України були отримані залежності коефіцієнта пропускання яблучної сировини для сорту «Антонівка» з початковою вологістю 86% залежно від зміни довжини ІЧ-хвилі в області спектра (рис. 2.18).

Із метою визначення спектральних параметрів плодово-ягідної сировини на прикладі яблучної сировини «Антонівка» з початковою вологістю 86% нами за допомогою OME Elman на базі Інституту монокристалів НАН України були проведені дослідження, що дозволили установити раціональні діапазони ІЧ-хвиль для здійснення технологічних процесів сушіння. Під час досліджень як джерело ІЧ-випромінювання використовували силітовий стрижень (глобар), що фактично відповідає закону Планка для ІЧ-випромінювання абсолютно

чорного тіла за відносним розподілом інтенсивності, а як розчинник – спеціальну таблетку (kBr) [13; 102–103].

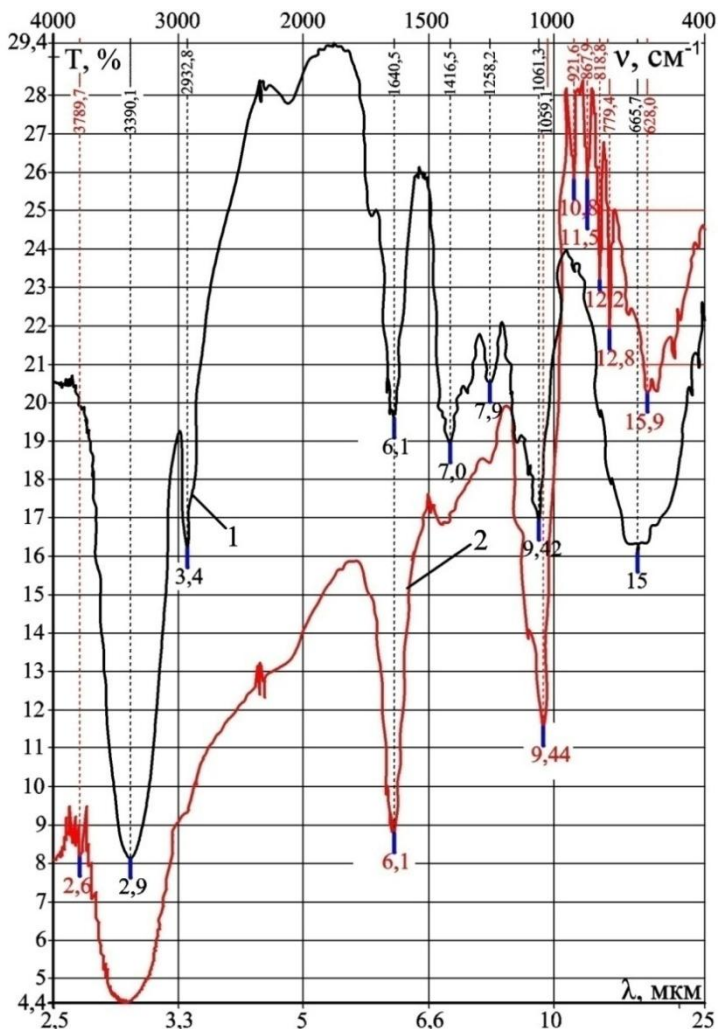


Рисунок 2.18 – Інтерферограма поглинаючої здатності яблучної сировини сорту «Антонівка», отримана за допомогою спектрометра OME Elman:
 1 – сира яблучна сировина; 2 – сушена яблучна сировина

У результаті було визначено чітко виражені чотири раціональні діапазони поглинаючої здатності яблучної сировиною ІЧ-хвиль, а саме: 3, 6, 9 та 12–15 мкм – що є прийнятними для проведення процесів ІЧ-сушіння.

Для підтвердження попередньо отриманих експериментальних даних спектроскопії та визначення оптимальних температурних параметрів робочих поверхонь ІЧ-випромінювачів [77].

$$\lambda = \frac{2896}{T} [\text{мкм}], \quad (2.13)$$

де T – температура робочої поверхні ІЧ-випромінювача, К; λ – довжина хвилі ІЧ-випромінювача, у цьому випадку є розрахунковою.

Отримані розрахункові дані з визначення довжини ІЧ-хвиль згідно зі співвідношенням Вина (рівняння 2.13) наведено в табл. 2.3.

Сучасні ІЧ-випромінювачі (ТЕНи, трубчасті кварцові лампи, керамічні електронагрівачі) мають високі температурні параметри робочих поверхонь із діапазоном температур від 420–960 К (розд. 1, табл. 1.5 та табл. 2.1) та високу інерційність. Це ускладнює їх використання для сушіння плодово-ягідної сировини, оскільки раціональним температурним діапазоном для забезпечення раціонального збереження БАР є 45...60 °С [22].

Таблиця 2.3 – Визначення довжини ІЧ-хвилі відповідно до температури робочої поверхні ІЧ-випромінювача за співвідношенням Вина

Довжина хвилі ІЧ-випромінювача λ , мкм	Температура поверхні ІЧ-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

Ураховуючи розрахункові дані (табл. 2.1), можна зробити висновок, що ТЕНи, кварцові лампи та керамічні електронагрівачі повним обсягом не здатні виконувати вимоги процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини за рахунок високої металоємності, інерційності, фіксованих геометричних розмірів, високої температури робочої поверхні, змушені працювати у невідповідних згідно із конструкторськими умовами циклічних режимах, що призведе до виходу їх із ладу. На відміну від параметрів ГПРЕнВТ.

2.3. Теоретично-практичне обґрунтування вибору ІЧ-випромінювача

Під час проектування автоматизованих ІЧ-сушарок значну увагу приділяють саме обґрунтованому вибору ІЧ-випромінювача. Проведені експериментальні дослідження підтверджують залежність коефіцієнту корисної дії ІЧ-сушарки (η) та ефективності її використання безпосередньо від обраного ІЧ-випромінювача, оскільки саме він визначає:

- спектрально-оптичні параметри об'єкта взаємодії «ІЧ-випромінювач – плодово-ягідна сировина»;
- енерго- та металосмність (геометричну форму робочої камери апарата);
- ступінь автоматизації (чіткість контролю вхідного та вихідного параметра, зокрема температури) [70; 104].

Розглянемо узагальнену технологічну блок-схему сучасних сушарок, для уявлення детальної картини як об'єкт досліджень – ІЧ-сушарки (рис. 2.19).

В ІЧ-сушарках після встановлення технологічних параметрів (t , $^{\circ}\text{C}$ та ін. (i)), з врахуванням до різновиду плодово-ягідної сировини, здійснюється програмування «Керуючого пристрою» та завантаження сировини за допомогою завантажувально-розвантажувального механізму (4) до робочого об'єму сушарки.

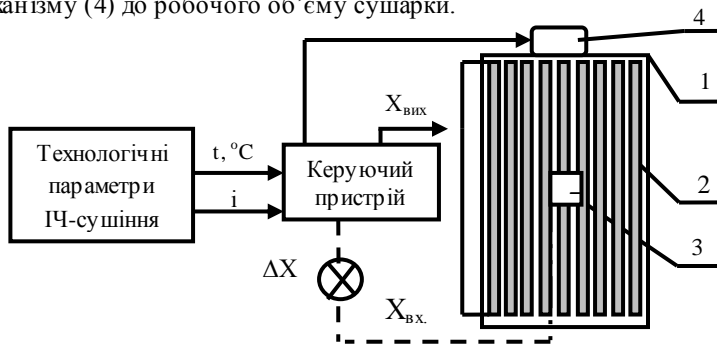


Рисунок 2.19 – Узагальнена технологічна блок-схема сучасної ІЧ-сушарки: 1 – робоча камера ІЧ-сушарки; 2 – ІЧ-випромінювач; 3 – вимірювальний датчик; 4 – завантажувально-розвантажувальний механізм

Після чого з «Керуючого пристрою» надходить аналоговий сигнал « $X_{\text{вих}}$ », що забезпечує вмикання ІЧ-випромінювача (2), який розташований у робочій камері ІЧ-сушарки (1). Також камера

ІЧ-сушарки забезпечена вимірювальним датчиком «Е» (3), призначеним для вимірювання та контролювання встановлених технологічних параметрів. Вихідний сигнал « $X_{\text{вих}}$ » (рис. 2.19), який надходить із датчика «Е», аналізується та порівнюється зі встановленими параметрами в «Керуючому пристрої».

Після закінчення технологічного процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини з «Керуючого пристрою» надходить сигнал до завантажувально-розвантажувального механізму (4) та сушений напівфабрикат надходить на подальшу реалізацію або зберігання.

Обираючи ІЧ-випромінювач, необхідно враховувати його конструктивні, технологічні та теплотехнічні параметри, а саме:

- інерційність, динаміку, геометричну форму та металоємність;
- об'єм корисної площі цього ІЧ-випромінювача;
- спектрально-оптичні параметри плодово-ягідної сировини (згідно з якою визначаються оптимальні довжини ІЧ-хвиль).

Із метою теоретичного вибору прийняттого ІЧ-випромінювача для проектування сучасних ефективних ІЧ-сушарок необхідно розглянути порівняльну характеристику, наведену в розд. 1, табл. 1.5, що містить літературні та попередньо підтвержені експериментальні дані ІЧ-випромінювачів, отримані під час виконання етапів проектування сушарного обладнання (рис. 2.1). Для обґрунтованого вибору ефективного ІЧ-випромінювача необхідно попередньо визначити такі його властивості:

- інерційність, динамічні властивості випромінювача;
- корисну площу (безпосередньо ГПРЕНВТ) графічно-аналітичним методом.

Дослідження здійснювали з урахуванням літературних даних (розд. 1, табл. 1.5) та з технічної точки зору на попередньо розробленій моделі ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом для штатива із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм вертикальний циліндричний, у якій як нагрівальний елемент використовується ГПРЕНВТ, що має однібічну ізотермічну поверхню [105; 106]. Принципову її схему наведено на рис. 2.20.

Модель апарата дозволяє використовувати відпрацьоване вторинне повітря для підігрівання «холодного» повітря, що надходить до нижньої частини робочої камери ІЧ-сушарки.

Апарат забезпечений вібраційним механізмом для штатива із сітчастими піддонами для запобігання злипанню сировини й забезпечення її перемішування під час теплової обробки, що дозволяє визначити раціональну частоту вібрації сировини в процесі

ІЧ-сушіння. Загальний вигляд експериментальної ВЦ ІЧ-сушарки наведено на рис. 2.21.

Із метою дослідження кінетики процесу ІЧ-сушіння використовували яблучну сировину, зокрема «Антонівку» з початковою вологістю 86% за умови застосування вторинного повітря та вібраційного механізму штатива із сітчастими піддонами. Тривалість процесу теплової обробки контролювали за секундоміром. Під час визначення кінетики маси внаслідок видалення вологи в процесі сушіння здійснювали контрольне зважування на вагах «Radwag», підключених за допомогою інтерфейсу RS-482 до ПК.

Для забезпечення максимального збереження БАР використовувати температурний режим у межах 45...60 °С, що дозволяє отримувати якісні сушені плодово-ягідні напівфабрикати.

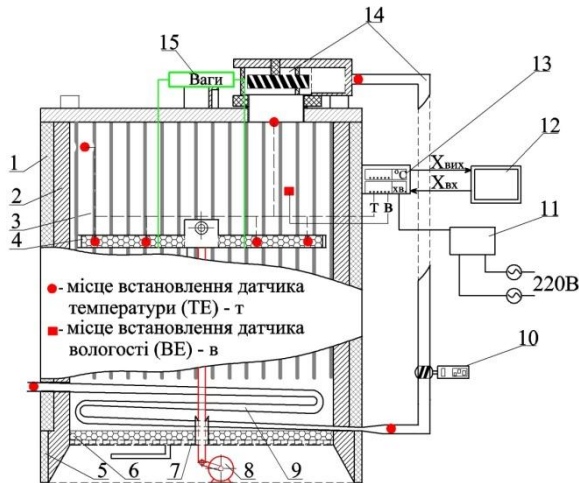


Рисунок 2.20 – Принципова схема ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом для штатива із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм: 1 – вертикальна циліндрична робоча камера; 2 – теплоізолюючий листовий ізолон; 3 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу (ГПРЕНВТ); 4 – сітчастий піддон; 5 – стійки; 6 – розподільна решітка; 7 – регулювальна заслінка; 8 – вібраційний механізм; 9 – теплообмінний спіральний пристрій; 10 – анемометр «ДТ-318»; 11 – лічильник електроенергії «Gross DDS-UA»; 12 – персональний комп'ютер (ПК); 13 – контрольний-вимірювальний пристрій «ТРМ101»; 14 – витяжний вентилятор, з'єднаний із теплоізолюючим трубопроводом; 15 – ваги «Radwag»



Рисунок 2.21 – Загальний вигляд експериментальної ВЦ ІЧ-сушарки

Фіксування та вимірювання зміни температури дослідного зразка здійснювалося термопарами типу ХА (хромель-алюмелеві термопари) за допомогою контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ 101» згідно зі схемою розташування (рис. 2.20). Таке геометричне розташування вимірювальних елементів і використання ваг «Radwag» дозволяє отримувати детальну інформацію про зміну температури та ваги сітчастого піддона із сировиною в робочій камері апарата в реальному часі. Процес ІЧ-сушіння здійснювався за умови трикратного повторення фіксованої ваги дослідного зразка, що в середньому характеризувалося його кінцевою вологістю в межах 10–15%.

В експериментальній ІЧ-сушарці визначалися температурні параметри:

- на вході повітря до робочої камери ІЧ-сушарки;
- на ГПРЕНВТ;
- у повітряному середовищі робочої камери ІЧ-сушарки;
- на сітчастому піддоні (згідно зі схемою розташування термопар, розд. 2, рис. 2.29);
- на виході з робочої камери сушарки;
- на вході та виході зі спірального теплообмінного пристрою.

Температура повітря навколишнього середовища під час проведення дослідів змінювалася в межах від 20 °С до 25 °С, але така зміна значною мірою не впливала на похибку вимірювань.

Під час дослідження процесів ІЧ-сушіння яблучної сировини спостерігалася витрата теплової енергії безпосередньо на її нагрівання відповідно до технологічних вимог до попередньо встановлених температурних параметрів. Після досягнення встановленого температурного параметра спостерігалася інтенсивне видалення

рідинної складової з дослідної сировини за рахунок безпосереднього переміщення вологи з внутрішнього об'єму до поверхневих шарів із подальшим випаровуванням у повітряне середовище робочої камери апарата. Із метою запобігання утворенню явищ конденсації вологи на ІЧ-випромінювачах апарат забезпечений витяжним вентилятором, що забезпечує вимушену конвекцію зі швидкістю повітряного потоку 0,15 м/с (швидкість повітряного потоку вимірювалася анемометром (10)). Саме така швидкість забезпечить відведення повітря підвищеної вологості з робочої камери та дозволить не порушувати умови рівномірності температурного поля на приймальних поверхнях від ІЧ-випромінювача.

Також із метою дослідження й визначення режимних параметрів проведення процесів ІЧ-сушіння запропоновано використання системи управління та регулювання параметрів, що базувалася на основі контрольно-вимірювального пристрою фірми «ОВЕН» типу «ТРМ101». Цей контролер забезпечує одночасне вимірювання одразу декількох попередньо заданих оператором не залежних один від одного параметрів (температури, вологості) вмикання або вимикання відцентрового вентилятора [107].

Перед початком процесу ІЧ-сушіння яблучну сировину підготовлюють відповідно до розробленої принципової схеми (розд. 4, рис. 4.4 – різані сушені яблука), після чого оператор установлює необхідний температурний режим у межах 45...60 °С за допомогою контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ101» (13), з'єданого з ПК (12) для забезпечення візуального спостереження за проведенням процесу сушіння. Після завантаження сітчастого піддона до робочого об'єму ВЦ ІЧ-сушарки та з'єднання його з вагами «Radwag» (15) [108] забезпечується відображення зміни ваги завантаженого дослідного зразка в реальному часі.

Після підготовки ВЦ ІЧ-сушарки до дослідження процесу в автоматичному режимі з «ТРМ101» (13) надходить аналоговий сигнал, що забезпечує вмикання ГПРЕНВТ за рахунок замикання певних контактів, що приводить до здійснення процесу сушіння плодово-ягідної сировини.

Контролювання та вимірювання температури на сітчастому піддоні та в робочому об'ємі вертикальної камери здійснюється за рахунок термопар, що розташовані відповідно до рис. 2.20 у вигляді датчиків температури «ТЕ», а вимірювання вологості здійснюється за допомогою датчика вологості «ВЕ». Отримані результати з встановлених датчиків у надходять до «ТРМ101» (13) для порівняння вхідного та вихідного сигналу, що надходить безпосередньо до ПК.

Під час фіксування датчиком температури «ТЕ» встановленого параметра ($45 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C} + 0,2$) надходить аналоговий сигнал з «ТРМ101» (13) та здійснюється знеструмлення контактів нагрівального елемента ГПРЕНВТ, а отже, і його вимикання. Також використання «ТРМ101» (13) дозволяє вмикати витяжний вентилятор 14 при досягненні максимального температурного параметру ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) за рахунок багатоканальності даного пристрою.

Автоматизований аналоговий зв'язок між датчиками температури «ТЕ» та контрольно-вимірювальним пристроєм «ТРМ101» дозволяє з високою точністю вимірювати та керувати температурними параметрами в реальному часі, що забезпечує отримання якісних сушених напівфабрикатів.

Дослідження процесів ІЧ-сушіння здійснювалося в такій послідовності: підготовлена яблучна сировина певної геометричної форми згідно з принциповою схемою завантажується на сітчастий піддон (4), який з'єднаний з вагами (15) та подається до робочої камери вертикальної циліндричної ІЧ-сушарки, де здійснюється процес ІЧ-сушіння яблучної сировини в температурному діапазоні ($45 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$). Вимірювання та контролювання встановлених оператором параметрів (температури) здійснюється за допомогою контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ101» (13). Відпрацьоване вторинне повітря нагнітається витяжним вентилятором до теплоізольованого трубопроводу (14), і далі надходить в теплообмінний спіральний пристрій (9), який встановлений в нижній частині сушарки та частково в нетехнологічній її зоні та призначений для підігрівання «холодного» повітря.

Процес ІЧ-сушіння проводиться у трикратному повторенні до фіксованого встановленого значення маси сітчастого піддона з яблучною сировиною. Кінцева вологість сушеної сировини відповідала межах 10–15%. Після здійснення технологічного процесу ІЧ-сушіння готові напівфабрикати надходять на додатковий огляд, де відбувається видалення можливо недосушеного (якщо такий є) напівфабрикату. Сушений напівфабрикат витримують декілька годин для забезпечення вирівнювання вологості. Потім здійснюють фасування в герметичну закриту тару (скляні або бляшані банки) або в світлозахисні поліетиленові пакети та мішки з подальшою їх безпосередньою реалізацією на ринках або направляють на подальше зберігання в сухому прохолодному приміщенні, що не має сторонніх повітряних домішок.

2.3.1. Визначення інерційності та динамічних властивостей ІЧ-випромінювачів

Ступінь автоматизації сучасних ІЧ-апаратів для сушіння плодово-ягідної сировини залежить від можливості оперативного керування технологічним процесом та точністю підтримування встановлених оператором режимних параметрів на заданому технологічному рівні.

Аналізуючи практичні дослідження, можна стверджувати, що для проектування сушарок потрібно використовувати ІЧ-випромінювачі з чіткою динамікою роботи. Оскільки лише короткотривалі режими нагрівання та охолодження робочих поверхонь електронагрівача зменшують допоміжний технічний час необхідний для виходу на стаціонарний режим його роботи, що запобігає псуванню плодово-ягідної сировини на перших етапах сушіння.

Для визначення інерційності та динаміки роботи зазначених у (табл. 1.5, розд. 1) ІЧ-випромінювачів використовували систему автоматичного управління (САУ) у реальному часі за допомогою контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ101» [70; 107].

Першим етапом під час досліджень було визначення режимів нагрівання обраних ІЧ-випромінювачів за попередньо встановленої температури на «ТРМ101» – 60 °С, що відповідає інтенсивному проведенню процесу ІЧ-сушіння (рис. 2.22).

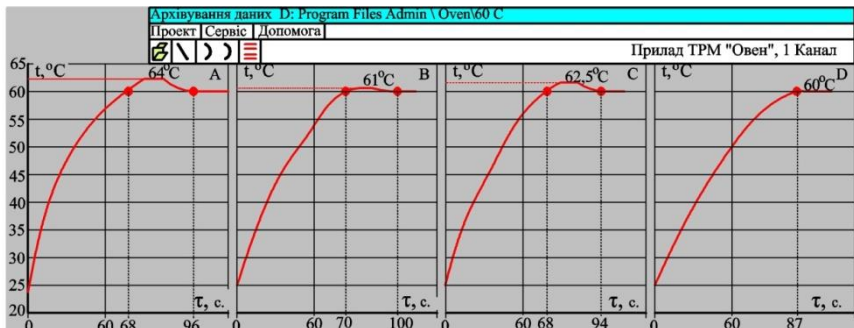


Рисунок 2.22 – Режим нагрівання ІЧ-випромінювачів: А – ТЕН; В – кварцова лампа; С – керамічний електронагрівач; Д – ГПРЕНВТ

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що:

– ТЕН (А) має значну інерційність за температури 60 °С із тривалістю нагрівання $\tau = 68$ с, а вихід на постійно рівномірну температуру робочої поверхні без врахування інерційності становить $\tau' = 96$ с;

– кварцова лампа (В) має меншу інерційність за температури 60 °С із тривалістю нагрівання $\tau = 70$ с, а вихід на постійно рівномірну температуру робочої поверхні без урахування інерції становить $\tau' = 100$ с;

– керамічний електронагрівач (С) має високу інерційність за температури 60 °С із тривалістю нагрівання $\tau = 68$ с, а вихід на постійно рівномірну температуру робочої поверхні без урахування інерції становить $\tau' = 94$ с;

– ГПРЕНВТ (D) має низьку інерційність за температури 60 °С з тривалістю нагрівання, що одночасно відповідає постійно рівномірній температурі робочої поверхні $\tau = \tau' = 87$ с та характеризує низьку інерційність та чітку динаміку роботи.

Аналіз режимів нагрівання випромінювачів підтверджую чітку динаміку управління в циклічному режимі у ГПРЕНВТ, що забезпечить економію електроенергії, безінерційність за рахунок відсутності металоємності та високий ступінь автоматизації.

2.3.2. Графічно-аналітичний метод визначення корисної площі ГПРЕНВТ у ВЦ ІЧ-сушарці

Ураховуючи попередньо отримані експериментальні дані (рис. 2.1), як раціональну геометричну форму для ВЦ ІЧ-сушарці було обрано саме вертикальний циліндр, що дозволяє забезпечити рівномірність розподілу теплової енергії на приймачах (рис. 2.20) та характеризується конструктивними залежностями (D ; $L=h$), а як нагрівальний елемент використовується безрефлекторний ГПРЕНВТ, що забезпечує повторення геометрії апарата. Для визначення корисної площі ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом штативу із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм на основі ГПРЕНВТ використовували графічно-аналітичний метод, що дозволяє визначити й необхідну кількість сітчастих піддонів з раціональним їх розміщення у робочому просторі апарата для забезпечення раціональних умов проведення технологічного процесу сушіння плодово-ягідної сировини [109]. Конструктивний вигляд нагрівального елемента ГПРЕНВТ наведено на рис. 2.23.

Як видно з рис. 2.23 нетехнологічна зона ГПРЕНВТ є незначною, а під час проектування ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом штативу із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм на основі ГПРЕНВТ ці ділянки можна використовувати для часткового розташування теплообмінного спірального пристрою, та фіксуючого пристрою штативу із сітчастими піддонами.

Слід відзначити, що для забезпечення ефективного та рівномірного опромінювання верхнього та нижнього сітчастих піддонів із плодово-ягідною сировиною з конструктивної точки зору у ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом штативу із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм на основі ГПРЕнВТ необхідно врахувати віддалення від нетехнологічних зон нагрівального елемента ГПРЕнВТ на 25 мм для забезпечення рівномірних умов проведення технологічних процесів ІЧ-сушіння.

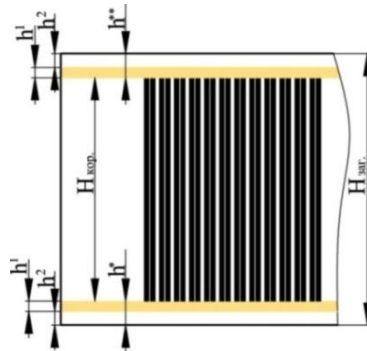


Рисунок 2.23 – Загальна конструкція ГПРЕнВТ: h^1 – верхня та нижня зони підключення електромережі до мідної шини ($h^1 = 15$ мм); h^2 – верхня та нижня зони фіксування ($h^2 = 25$ мм); h^* – технічні зони, нижня та верхня ($h^* = h^1 + h^2 = 40$ мм); $H_{кор.}$ – зона корисної площі ГПРЕнВТ; $H_{заг.}$ – загальна висота ГПРЕнВТ

Графічно-аналітичний метод для ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом штативу із сітчастими піддонами та теплообмінним спіральним пристроєм на основі ГПРЕнВТ, дозволив визначити її корисну висоту та раціональну кількість сітчастих піддонів: для ВЦ ІЧ-сушарки з висотою $H = 1000$ мм, корисна висота складає $H_{кор.} = 920$ мм та 28 піддонів, а для ВЦ ІЧ-сушарки $H = 500$ мм – $H_{кор.} = 420$ мм та 13 піддонів відповідно.

2.3.3. Дослідження процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини

Для підтвердження ефективності обрання в якості нагрівального елемента ГПРЕнВТ для проведення процесів сушіння плодово-ягідної сировини на прикладі яблук сорту Антонівка було порівняно відомі ІЧ-випромінювачі, враховуючи кінетику вологовмісту сировини (рис. 2.24).

Найменша тривалість теплового процесу за умов досягнення кінцевої вологості нарізаної яблучної сировини на рівні 11–13% спостерігається під час використання саме ГПРЕнВТ із тривалістю 180 хв, що підтверджує попередні теоретично-практичні висновки щодо ефективності його застосування.

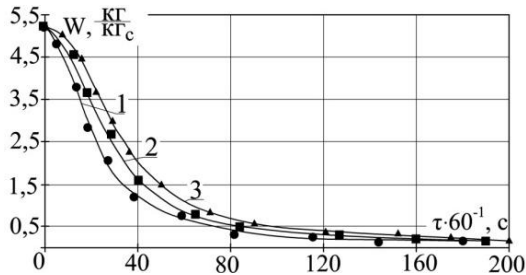


Рисунок 2.24 – Кінетика вологовмісту яблук сорту Антонівка:
1 – ГПРЕнВТ; 2 – кварцова лампа; 3 – ТЕН

Обрані для порівняння ІЧ-випромінювачі мали різну потужність (P) (табл. 2.4) та температурний діапазон робочих поверхонь. Ці параметри істотно впливають на температуру дослідницького зразка (яблука), тому під час досліджень було визначено вплив потужності електронагрівачів на температуру яблучної сировини та побудовано план 3-факторного експерименту (табл. 2.5).

Таблиця 2.4 – Вплив потужності ІЧ-випромінювачів на температуру нагрівання яблука

Номер досліджу	Потужність	Тривалість процесу ІЧ-сушіння	Відстань	Температура яблучної сировини, °C
	Вт	с	м	
1	2	3	4	5
1	480	60	0,15	61
2	480	60	0,25	45
3	480	60	0,35	40
4	480	300	0,15	92
5	480	300	0,25	64
6	480	300	0,35	51
7	480	600	0,15	97
8	480	600	0,25	68

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5
9	480	600	0,35	57
10	1000	60	0,15	100
11	1000	60	0,25	96
12	1000	60	0,35	78
13	1000	300	0,15	140
14	1000	300	0,25	132
15	1000	300	0,35	100
16	1000	600	0,15	140
17	1000	600	0,25	118
18	1000	600	0,35	103
19	1500	60	0,15	139
20	1500	60	0,25	73
21	1500	60	0,35	69
22	1500	300	0,15	155
23	1500	300	0,25	109
24	1500	300	0,35	100
25	1500	600	0,15	160
26	1500	600	0,25	125
27	1500	600	0,35	112

Розглянемо більш детально вплив трьох чинників (табл. 2.5):
 $X_{1п}$ – потужність ІЧ-випромінювача, Вт (480, 1000 і 1500);
 $X_{2трив.}$ – тривалість процесу ІЧ-сушіння (60, 300 і 600 с);
 $X_{3відст.}$ – відстань від ІЧ-випромінювача до приймача (0,15, 0,25 і 0,35 м).

Таблиця 2.5 – План 3-факторного експерименту

РІВЕНЬ	ФАКТОР		
	Потужність ІЧ-випромінювача (Вт), $X_{1п}$	Тривалість процесу ІЧ-сушіння (с), $X_{2трив.}$	Відстань від ІЧ-випромінювача до приймача (м), $X_{3відст.}$
Верхній	1500	600	0,35
Нижній	1000	300	0,25
Основний	480	60	0,15

У результаті планування експерименту отримано лінійне рівняння регресії:

$$Y = 83,824 + 0,058 \cdot X_{1п} + 0,06 \cdot X_{2трив.} - 0,24 \cdot X_{3відст.} \quad (2.14)$$

де X_{In} – потужність ІЧ-випромінювача, Вт; $X_{2трив.}$ – тривалість процесу ІЧ-сушіння, с; $X_{звідст.}$ – відстань від ІЧ-випромінювача до яблучної сировини, м; Y – температура яблучної сировини, °С.

Рівняння регресії 2.13 підтверджує експериментальні дані із попередньо проведених теоретичних та експериментальних досліджень із визначення впливу потужності ІЧ-випромінювача на тривалість нагрівання сировини (рис. 2.25).

Відповідно до даних табл. 2.4 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 температуру $t = 139^\circ \text{C}$ (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.

Гіпотеза є достовірною, на що вказує критерій Фішера (значущість $F < 0,5\%$). Коефіцієнти кореляції та детермінації становлять: 95% та 90%.

Для знаходження технологічних параметрів процесу ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини використаємо диференціальне рівняння енергетичного балансу, що має наступний вигляд [110]:

$$A_\lambda \cdot \eta \cdot P \cdot dt = c \cdot dt + P_e \cdot dt \quad (2.15)$$

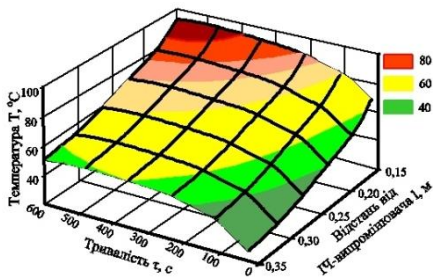
де A_λ – коефіцієнт поглинання теплової енергії ІЧ-випромінювання плодово-ягідною сировиною; η – ККД ІЧ-випромінювача; c – теплоємність природної сировини, Дж/кг·К; P – потужність ІЧ-випромінювача, Вт; P_e – потужність втрат теплової енергії, Вт; dt – перевищення температури, К; τ – тривалість процесу сушіння, с.

Ліва частина рівняння (2.14) характеризує кількість енергії, що підводиться до плодово-ягідної сировини, а права – витрата енергії на її нагрівання та на різні втрати технологічного процесу [110]. Розв'язання диференціального рівняння (2.14) щодо перевищення температури нагрівання плодово-ягідної сировини над температурою навколишнього середовища, при відомих припущеннях є [110–111]:

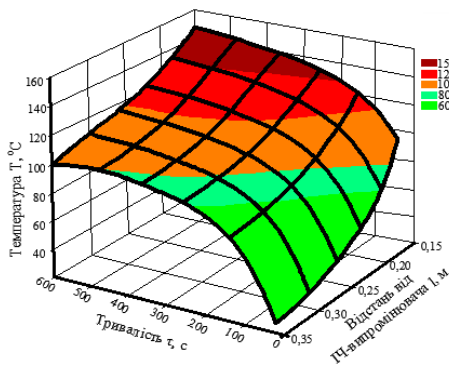
$$\theta = \theta_{\max} \cdot (1 - e^{\tau/T_n}) + T_{\text{оч.}} \cdot e^{\tau/T_n}, \quad (2.16)$$

де θ_{\max} – максимально можливе перевищення температури, К; e – основа натуральних логарифмів; T_n – постійна часу нагрівання

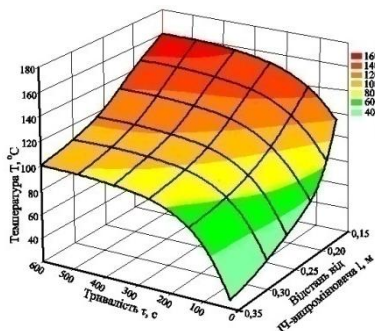
плодово-ягідної сировини s ; $T_{поч.}$ – початкове перевищення температури зразків відповідно до навколишнього середовища, K .



а



б



в

Рисунок 2.25 – Залежність температури нагрівання яблучної сировини від потужності ІЧ-випромінювача: а – ГПРЕНВТ (480 Вт); б – кварцова лампа (1000 Вт); в – ТЭН (1500 Вт)

Зазначимо, що температура плодово-ягідної сировини і температура навколишнього середовища на початку процесу ПЧ-сушіння має однакове значення ($\theta_{\text{поч.}} = 0$). Тоді рівняння 2.15, буде мати наступний вигляд [111]:

$$\theta = \theta_{\text{max}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_{\text{п}}}}\right). \quad (2.17)$$

Отже, максимально можливе перевищення температури можливо визначити за допомогою рівняння запропонованого Р. Борхертом [112]

$$\theta_{\text{max}} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta \cdot P}{Q_F}, \quad (2.18)$$

де Q_F – тепловіддача з поверхні плодово-ягідної сировини, Вт / К.

$$Q_F = \Sigma \alpha \cdot F \quad (2.19)$$

де $\Sigma \alpha$ – сумарний коефіцієнт теплообміну, Вт/м²·К; F – площа теплообміну, м².

З урахуванням виразу (2.18) рівняння 2.17 матиме наступний вигляд [111–112]:

$$\theta_{\text{max}} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta \cdot P}{\Sigma \alpha \cdot F}. \quad (2.20)$$

Продиференціюємо рівняння (2.17) по τ для встановлення залежності між номінальною потужністю ПЧ-випромінювачів та швидкістю нагрівання плодово-ягідної сировини [111]:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_{\text{max}}}{T_{\text{п}}} \cdot e^{-\tau/T_{\text{п}}}. \quad (2.21)$$

Тому з урахуванням виразу (2.17) рівняння (2.21) матиме наступний вигляд:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_{\text{max}} - \theta}{T_{\text{п}}} \quad (2.22)$$

За умови, що $\theta = 0$ отримуємо залежність між номінальною потужністю ПЧ-випромінювачів та максимально можливою швидкістю нагрівання плодово-ягідної сировини на прикладі яблука.

$$\vartheta_{max} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta}{\sum \alpha} \cdot \frac{1}{T_p} \cdot \frac{P}{F} \quad (2.23)$$

За допомогою рівняння (2.20) були отримані результати швидкості нагрівання яблучної сировини на прикладі яблука «Антонівка» в температурних діапазонах: 45, 50, 60 °С (табл. 2.6), а за рівнянням (2.23) здійснено розрахунки швидкостей її нагрівання в залежності від номінальної потужності ІЧ-випромінювачів в залежності від зміни геометричних розмірів $\left(\frac{V}{F}\right) \cdot 10^{-3} = 0,7-2,6$ м.

Таблиця 2.6 – Швидкість нагрівання яблучної сировини ϑ , °С/с

Вологість яблучної сировини, %	Швидкість нагрівання яблучної сировини, ϑ_c , °С/с за температури ІЧ-випромінювача		
	45	50	60
12	0,79...0,17	0,88...0,19	1,05...0,22
20	0,73...0,16	0,81...0,18	0,97...0,20
30	0,66...0,14	0,72...0,16	0,87...0,18
40	0,61...0,13	0,66...0,14	0,80...0,17
50	0,58...0,12	0,60...0,12	0,72...0,15
60	0,50...0,11	0,55...0,11	0,66...0,14
70	0,46...0,09	0,50...0,10	0,60...0,12
80	0,37...0,81	0,42...0,08	0,50...0,10
86	0,37...0,79	0,43...0,08	0,49...0,10

На підставі експериментальних даних отримано залежності температури нагрівання яблука від потужності ІЧ-випромінювача.

2.3.4. Визначення рівномірності розподілу теплової енергії у вертикальній циліндричній та вальцьовій ІЧ-сушарках

Для дослідження забезпечення рівномірності розподілу теплового потоку на приймальних поверхнях (сітчастих піддонах із плодово-ягідною сировиною) у вертикальній циліндричній ІЧ-сушарці використовували комп'ютерну програму TrasePro [113; 114].

На рис. 2.26 наведено розподіл теплового потоку на приймальній поверхні (сітчастому піддоні з плодово-ягідною сировиною), а саме на середньому приймачеві, розташованому на штативі в робочій камері.

Отже, забезпечується рівномірне прогрівання сітчастих приймачів із плодово-ягідною сировиною, як це й передбачалося з попередньо проведених етапів досліджень відносно раціональної геометричної форми рефлекторних блоків і їх геометричної форми (рис. 2.1).

На рис. 2.27 наведено комп'ютерне моделювання розподілу теплового потоку на приймальній поверхні нижнього або ж верхнього піддонів (отримані результати мають однакові ілюстрації для даних приймачів), що розташовані поблизу нетехнологічних зон обраного ІЧ-випромінювача (ГПРЕНВТ), за невиконання умов віддаленості приймачів від зазначених нетехнічних зон.

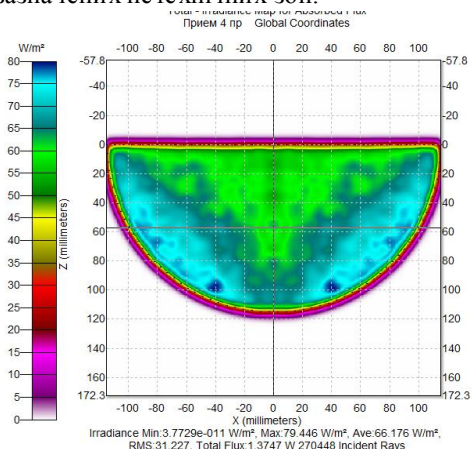


Рисунок 2.26 – Розподіл теплового потоку на приймальній поверхні середніх приймачів із плодово-ягідною сировиною в робочій камері

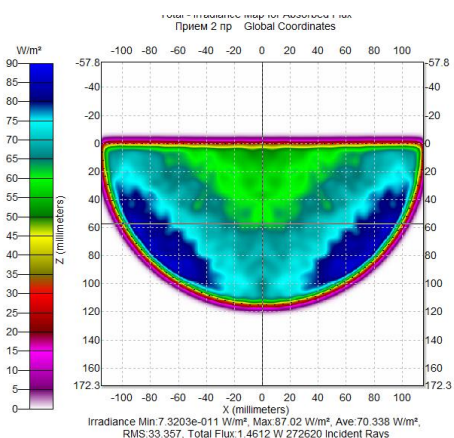


Рисунок 2.27 – Розподіл теплового потоку на приймальній поверхні нижнього та верхнього приймачів у робочій камері

Як уже згадувалося в роботі, під час проектування апаратів на основі ГПРЕНВТ необхідно враховувати віддалення від

нетехнологічних зон на 25 мм для забезпечення рівних умов проведення процесів ІЧ-сушіння в запропонованій конструкції. У разі недотримання цієї конструктивної вимоги на приймальній поверхні будуть спостерігатися зони більш інтенсивного нагрівання плодово-ягідної сировини на сітчастому піддоні, що підтверджується різницею пікселей на половині площі приймача $38,5 \text{ см}^2$, а саме: $60\text{--}65 \text{ W/m}^2 = 11700 \text{ ріх/см}^2$; $65\text{--}75 \text{ W/m}^2 = 17550 \text{ ріх/см}^2$ та $80\text{--}85 \text{ W/m}^2 = 5400 \text{ ріх/см}^2$, сумарна кількість пікселей становить 34650 ріх/см^2 . Ця нерівномірність пояснюється конструкцією ГПРЕНВТ, який має окремі секції по 24 смуги ніхромових ІЧ-випромінювачів та підтверджується [115].

Між секціями ГПРЕНВТ передбачений незначний технічний простір для нейтралізації електромагнітного поля під час роботи (рис. 2.28, розміри наведені в мм), тому саме для забезпечення рівномірних умов проведення технологічних процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини необхідно враховувати певне віддалення сітчастого піддона з продукцією під час розрахунку необхідної кількості сітчастих піддонів для конкретної конструкції, що детально описана в графічно-аналітичному методі з визначення корисної площі ВЦІЧ-сушарки (розд. 2, п.п. 2.3.2) [157].

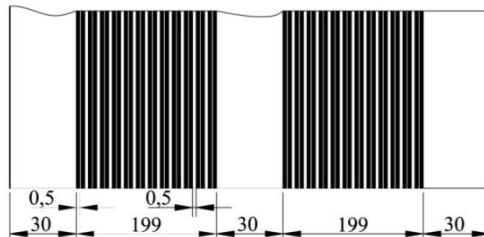


Рисунок 2.28 – Схема розташування секцій ніхромових ГПРЕНВТ

Для підтвердження висновків щодо ствердження про рівномірність розподілу теплового потоку за умов швидкості повітряного потоку 0,15 м/с наводимо результати отриманих температурних параметрів за допомогою контрольно-вимірювального пристрою «ТРМ101».

На рис. 2.29 наведено загальний вигляд приймальної поверхні (сітчастого піддона) зі схемою розташування термопар та отриманих у реальному часі числових значень температурних параметрів.

Для зручності вимірювання температурного поля на приймальній поверхні, його площину умовно розділили на 8 рівних

Результати досліджень з визначення нерівномірності процесу ІЧ-сушіння на сітчастих піддонах вертикальної циліндричної ІЧ-сушарки, підтверджують попередні твердження, що процес здійснюється з однаковою інтенсивністю по всій приймальній поверхні (сітчастий піддон) та забезпечує рівномірне значення вологості яблучної сировини.

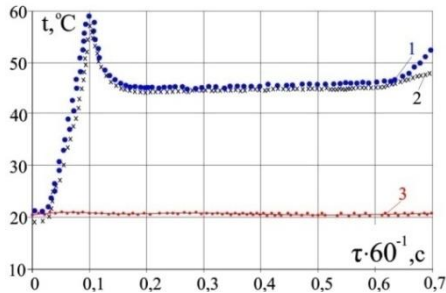


Рисунок 2.30 – Температура яблучної сировини в процесі ІЧ-сушіння у ВЦ ІЧ-сушарці: 1 – термопари зовнішнього радіуса; 2 – термопари внутрішнього радіуса; 3 – температура повітря, що надходить до робочого простору ІЧ-сушарки

На підставі проведених експериментальних досліджень із визначення ефективності використання як нагрівального елемента ГПРЕНВТ можна зробити такі висновки:

- має раціональний діапазон поглинаючої здатності яблучної сировини в межах 5–15 мкм для проведення технологічних процесів сушіння плодово-ягідної сировини;

- володіє чіткою динамікою управління в циклічному режимі, що забезпечить економію електроенергії, безінерційністю за рахунок відсутності металоємності та високий ступінь автоматизації;

- має однобічну ізотермічну випромінюючу поверхню, яка забезпечує рівномірний тепловий потік усюю своєю поверхнею та має ступінь чорноти близький до абсолютно чорного тіла;

- відсутня металоємність, низька інерційність, невисока температура робочої поверхні ($45 \dots 85^\circ\text{C}$), простота монтажу;

- здатен повторювати будь-яку геометричну форму робочої камери з мінімальними нетехнологічними зонами та не потребує використання рефлекторних блоків;

- забезпечує раціональну рівномірність теплового потоку на приймальних поверхнях сітчастих піддонів та між ними.

2.3.5. Визначення ефективності комбінованої взаємодії ГПРЕНВТ та вібраційного механізму у ВЦ ІЧ-сушарці

У разі використання як об'єкта ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини, наприклад яблучної сировини, слід урахувати хімічний та мікробіологічний вміст обраної продукції, оскільки це значно впливає на обрання температурного діапазону, що в середньому відповідає 45...60 °С. Під час сушіння яблучної сировини спостерігається видалення пектиновмісної речовини на поверхню дослідних зразків, що частково призводить до злипання частинок сировини та до погіршення умов рівномірності технологічного процесу ІЧ-сушіння, збільшення тривалості термічної обробки окремих зразків із потребою залучення додаткової робочої сили на сортування сушених і недосушених напівфабрикатів. Також використання ІЧ-випромінювання певною мірою обмежується товщиною нарізання плодово-ягідної сировини. Тому було запропоновано використовувати вібраційний механізм для усунення вище зазначених недоліків [121–123].

Існуючі вібраційні механізми не набули широкого розповсюдження серед сучасних ІЧ-сушарок за рахунок збільшення розмірів конструкції, а отже, й металоемності, зменшення корисної площі апаратів та необхідності встановлення додаткового обладнання, що призводить до ускладнення обслуговування та експлуатація, а також підвищення їх собівартості.

Аналізуючи зазначені недоліки та зважаючи на геометричну форму розробленої вертикальної ІЧ-сушарки, запропоновано низькометалоемний вібраційний механізм для штатива із сітчастими піддонами, що забезпечить інтенсифікацію процесу сушіння та збільшення товщини нарізання сировини (рис. 2.31).

Для визначення раціональної частоти вібрації сировини та її впливу на тривалість процесу ІЧ-сушіння запропоновано з конструктивної та технологічної точки зору розглянути частотний діапазон з інтервалом: 2, 4 та 6 с⁻¹ (рис. 2.32, 2.33).

Інші частоти мають свої переваги та недоліки, а саме: незначне навантаження на механізм за частоти 2 с⁻¹ та інтенсивна частота у 6 с⁻¹, що значною мірою не впливає на тривалість термічної обробки яблучної сировини.

Достатньою та раціональною частотою вібрації сировини (рис. 2.33) є 4 с⁻¹ з тривалість процесу ІЧ-сушіння – 145 хв, за умов комбінованого застосування ПРЕНВТ та вібраційного механізму, що забезпечує зменшення тривалості процесу сушіння на 21% порівняно з «чистим» ІЧ-сушінням (175 хв).

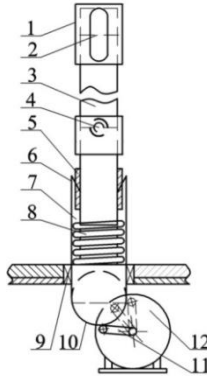


Рисунок 2.31 – Вібраційний механізм для штатива із сітчастими піддонами: 1 – розташований на кришці ІЧ-сушарки фіксатор штатива; 2 – наскрізний отвір; 3 – штатив; 4 – отвори для фіксування сітчастих піддонів; 5 – прямокутний виступ; 6 – канавка для входження прямокутного виступу; 7 – циліндричний стакан; 8 – пружина; 9 – металевий фіксатор; 10 – циліндрична канавка; 11 – палець; 12 – мотор-редуктор

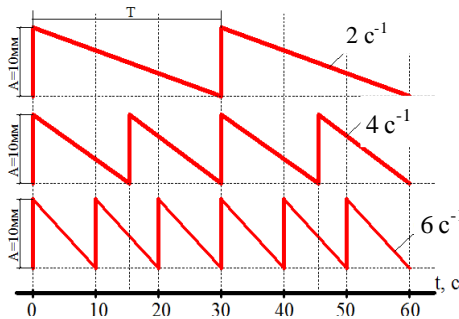


Рисунок 2.32 – Графік частоти вібраційного механізму для штатива із сітчастими піддонами

Проведені дослідження дозволяють використовувати ГПРЕнВТ для створення сучасних безрефлекторних ІЧ-сушарок із чіткою динамікою управління та простою автоматизацією.

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

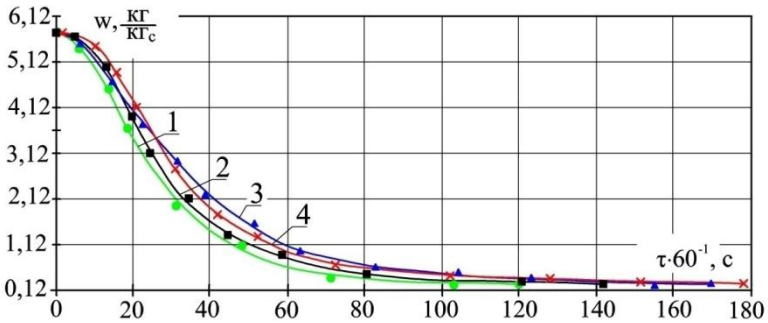


Рисунок 2.33 – Кінетика вологовмісту яблучної сировини залежно від частоти вібрації сітчастих піддонів у ВЦ ІЧ-сушарці: 1 – 6 с⁻¹; 2 – 4 с⁻¹; 3 – 2 с⁻¹; 4 – «чисте» ІЧ-сушіння

Розглянемо більш детально реалізацію одного з основних результатів експериментальних досліджень відповідно до етапів проектування раціональних ІЧ-сушарок (рис. 2.1) для виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів з метою скорочення часу обробки плодово-ягідної сировини у вигляді пюре здійснюється його попереднє концентрування у роторно-плівковому апараті (РПА) та подальшим досушуванням у вальцьовій ІЧ-сушарці безрефлекторного типу на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ.

2.4. Обладнання для виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів

Існуюче технологічне обладнання для виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів характеризується енерго- та металоємністю за рахунок використання як агента сушіння «гарячої пари», що призводить до труднощів у експлуатації та ремонті сушарного устаткування [110].

Для інтенсифікації технологічного процесу з виробництва сушених багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів було запропоновано поєднати процеси обробки в розробленому обладнанні. А саме поєднати процес попереднього концентрування багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини в роторно-плівковому апараті (РПА) до вмісту СР 25–30% за температури 50–70 °С протягом 0,7–1 хв, з досушуванням у вальцьовій ІЧ-сушарці безрефлекторного типу на основі вдосконаленого

ГПРЕНВТ за температури 45...60 °С та товщини шару сировини 1 мм [124–127].

Кулажування пасти з плодово-ягідної сировини дозволить отримувати багатокомпонентні сушені напівфабрикати з природним вмістом БАР і лікувально-профілактичними властивостями.

Для інтенсифікації процесу концентрування багатокомпонентної сировини в РПА запропоновано модернізувати існуючу конструкцію за рахунок збільшення швидкості гарячого теплоносія в грючій оболонці РПА, який рухається в протитечії по вузьких кільцевих каналах, що забезпечить збільшення показників концентрації пюреподібної плодово-ягідної сировини. Поставлене завдання вирішувалося шляхом створення стійкого турбулентного режиму по обидва боки поверхні апарата, що передає тепло, зменшення зони нагрівання апарата, поліпшення якості продукту, що концентрувався, і зниження металомісткості апарата, а отже, їх вартості. На рис. 2.34 подано вдосконалену конструкцію енерго- та металоєфективного РПА з використанням як нагрівача ГПРЕНВТ [128].

РПА складається з корпуса роторного випарника (1), гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу (2), зовнішня поверхня якого обгорнута ізоляційним матеріалом (3), патрубків входу (4) і виходу (5) продукту, патрубка виходу вторинної пари (6), сепаратора (7), привідного шків (8), вала ротора (9), оснащеного шарнірними лопатями (10) і системою герметизації обертового вала (11), та розподільного кільця (12).

Принцип роботи апарата полягає в наступному: продукт, наприклад, природне пюре, подається в патрубок введення, розташований у верхній частині корпуса (1) і формується в розподільному кільці (12) у вигляді рідинної плівки на поверхні теплообміну, обігрів якої здійснюється ГПРЕНВТ (2), зовнішня поверхня якого обгорнута ізоляційним матеріалом (3).

Ротор (9), оснащений системою герметизації обертового вала (11), має закріплені на ньому шарнірні лопаті (10), що переміщують тонку плівку продукту до вивантажувального патрубка (5).

Експериментально досліджено специфічні особливості випарювання пюре з використанням яблук, журавлини та глоду від 10–15% до 25–30% СР у РПА. Вивчено режими роботи апарата під час концентрування плодово-ягідних пюре.

Як вихідний параметр обрано ступінь розподілу продукту $K = V_{\text{кон}} / V_{\text{вих}}$, де $V_{\text{кон}}$, $V_{\text{вих}}$ – об'єми концентрату плодово-ягідного пюре та вихідного пюре відповідно (рис. 2.35).

За невеликих витрат ($W = 0,15\text{--}0,7$ мл/с) апарат працює з недовантаженням за мінімальних товщин рідинних плівок, відбувається майже повне видалення вологи й продукт пригоряє до поверхні теплообміну. В області підвищених витрат ($W = 1,8\text{--}2,45$ мл/с) процес відбувається нестабільно й фактично продукт нагрівається з мінімальним ступенем випару. Найбільш стабільне видалення вологи з вихідного продукту спостерігається в середній області ($W = 0,75\text{--}1,75$ мл/с), де швидкість зміни вихідного параметра максимальна.

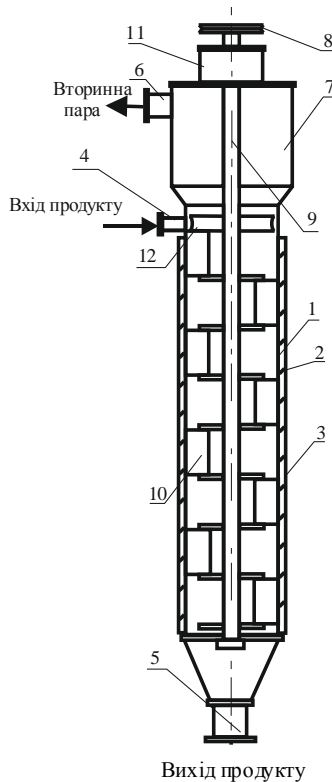


Рисунок 2.34 – Удосконалений роторно-плівковий апарат на основі ГПРЕнВТ: 1 – корпус апарата; 2 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу (ГПРЕнВТ); 3 – зовнішня ізоляційна поверхні; 4 – патрубок входу продукту; 5 – патрубок виходу продукту; 6 – вихід вторинної пари; 7 – сепаратор; 8 – привідний шків; 9 – вал ротора; 10 – шарнірна лопать; 11 – система герметизації обертового вала; 12 – розподільне кільце

Експериментальні залежності $K(W)$ з точністю 3% апроксимуються регресивною залежністю:

$$K = a_0 + a_1(W - x_0) + a_2(W - x_0)^3 + a_3(W - x_0)^5, \quad (2.24)$$

де $x_0=1,36$ – точка перегину функції $K(W)$; a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти рівняння.

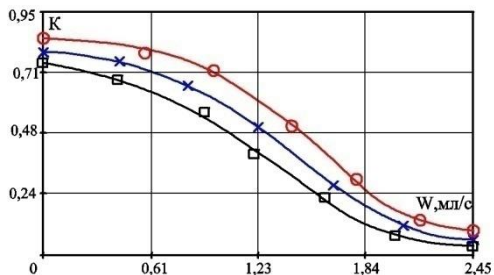


Рисунок 2.35 – Залежність коефіцієнта розподілу продукту від витрати продукту W за $p = 13$ кПа: \circ – $t=50$ °C; \times – $t=60$ °C; \square – $t=70$ °C

Визначено раціональні межі поверхневого навантаження $0,034\text{--}0,113$ кг/(м²с) для концентрування плодово-ягідних паст у РПА. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що раціональне випарювання вологи (концентрування) з багатокомпонентного поре в РПА здійснюється за надлишкового тиску 13 кПа до 25–30% СР із тривалістю теплового процесу 0,7–1 хв [129–131] та подальшим досушуванням в ІЧ-полі у вальцьовій сушарці за температури 45...60 °C і товщини шару продукту на барабані 1 мм.

Запропонований апарат для досушування попередньо концентрованої багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини – вальцьова ІЧ-сушарка безрефлекторного типу на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ із безпосередньою подачею сировини в зону сушіння, належить до апаратів харчової промисловості безперервної дії. Під час її проектування було поставлено завдання підвищити ефективність теплообміну, зменшити тривалість процесу ІЧ-сушіння за рахунок:

- безпосередньої подачі сировини нагнітаючим шнеком на рифлену робочу поверхню барабана;
- обдування її повітряним потоком проти руху барабана;
- наявності зони досушування;
- наявності захисного екрана в нижній частині для запобігання потраплянню сировини на випромінювач [132–134].

Запропонована вальцьова ІЧ-сушарка на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ (рис. 2.36) складається з циліндричного корпусу, встановленого на опорі (1), рифленого барабана (2), ГПРЕНВТ (3), нагнітаючого шнека (4) із прямокутною цавкою, прижимного пристрою (5) з підпружиненою пластиною, нагнітаючого вентилятора (6), захисного екрана (7), зрізаючих ножів (8), патрубку відведення пари (9), зубчастих вальців (10) та накопичувальної ємності (11) сушеної продукції.

Робота вальцьової ІЧ-сушарки полягає в наступному: багатокомпонентний природний продукт, наприклад, плодово-ягідна паста (пюре), із вмістом 25–30 % СР надходить в апарат, встановлений на опорі (1), через нагнітаючий шнек (4) із прямокутною цавкою безпосередньо на рифлену поверхню барабана (2), що рухається проти годинникової стрілки. Прижимний пристрій (5) із підпружиненою пластиною забезпечує потрібну товщину шару сировини.

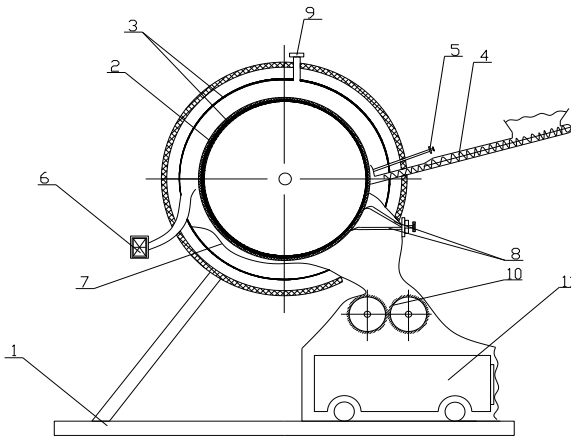


Рисунок 2.36 – Вальцьова ІЧ-сушарка безрефлекторного типу безперервної дії для сушіння багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів: 1 – опора; 2 – рифлений барабан; 3 – ГПРЕНВТ; 4 – нагнітаючий шнек із прямокутною цавкою; 5 – прижимний пристрій із підпружиненою пластиною; 6 – нагнітаючий вентилятор; 7 – захисний екран; 8 – зрізаючі ножі; 9 – патрубок відведення пари; 10 – накопичувальна ємність

Під час обертання рифленого барабана відбувається нагрівання паста ГПРЕНВТ (3), що повторює внутрішні поверхні робочої камери апарата та рифленого барабана. При цьому здійснюється обдування

сировини повітрям проти руху рифленого барабана (4) за рахунок нагнітаючого вентилятора (6), що створює вимушену конвенцію. У нижній частині робочої камери змонтовано захисний екран (7), що додатково захищає ГПРЕНВТ від потрапляння на них сировини та створює зону досушування перед розвантаженням.

Під час нагрівання продукту волога з нього випаровується і пара з робочої камери відводиться за допомогою патрубка (9), висушена сировина зрізається з рифленої поверхні барабана зрізаючими ножами (8) та надходить до зубчастих вальців (10), які обертаються за допомогою ланцюгової передачі від рифленого барабана (2) назустріч один одному з попередньо встановленим проміжком, який відповідає фракції порошкоподібного напівфабрикату, що отримується. Порошкоподібний природний сушений напівфабрикат після теплової обробки з подальшим подрібненням вивантажується з робочої камери сушарки до накопичувальної ємності 11.

Технічним результатом, що досягається під час використання винаходу, є:

– рівномірне теплове поле в робочій камері апарата за рахунок використання ГПРЕНВТ;

– підвищення експлуатаційних характеристик апарата за рахунок установа зубчастих вальців у зоні зрізання сушеного напівфабрикату для подрібнення сировини безпосередньо в апараті, що забезпечить зменшення тривалості технологічного процесу та підвищення якості отриманого продукту.

Під час сушіння попередньо концентрованої в РПА багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини у вальцьовій ІЧ-сушарці було визначено кінетику її вологовмісту за різних температур та товщини шару сировини 1 мм (рис. 2.37).

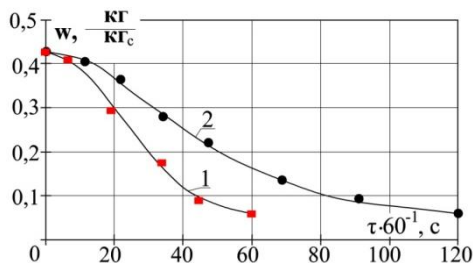


Рисунок 2.37 – Кінетика вологовмісту багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини під час досушування у вальцьовій ІЧ-сушарці (товщина шару сировини 1 мм): 1 – за температури 60 °C; 2 – за температури 45 °C

Отримані експериментальні дані відповідно до результатів досліджень сушіння попередньо концентрованих напівфабрикатів у запропонованій вальцьовій ПЧ-сушарці наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Експериментальні дані сушіння попередньо концентрованої багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини у вальцьовій ПЧ-сушарці

Вологість до ПЧ-сушіння, %	Температура сушіння, t°С	Тривалість ПЧ-сушіння, с ⁻¹	Вологість сушеної сировини, %	Початкова вага сировини, кг	Кінцева вага сировини, кг
30	45...60	80...120	6...8	20	11,350

Розроблений апарат є сучасною безрефлекторною ПЧ-сушаркою безперервної дії та призначений для сушіння попередньо концентрованої багатокомпонентної дрібнодисперсної плодово-ягідної сировини з метою отримання сушених напівфабрикатів. У подальшому планується більш детальне дослідження процесів ПЧ-сушіння в запропонованому та запатентованому апараті.

Обладнання РПА – вальцьова ПЧ-сушарка дозволить інтенсифікувати технологічні процеси теплової обробки плодово-ягідної сировини відповідно до запропонованої принципової апаратурно-технологічна схеми з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і порошокподібних сушених напівфабрикатів, що наведена в розд. 4, п. 4.1.

2.5. Розробка універсального багатофункціонального апарата для попередньої обробки плодово-ягідної сировини

Виробництво природних продуктів харчування з плодово-ягідної сировини потребує особливого підходу до неї відразу після її збирання, оскільки неякісне тривале зберігання призводить до неминучої втрати корисних властивостей, а отже значною мірою впливає на кінцеву якість продукції, що отримується. Таким чином, саме від конструктивно-технологічних особливостей проведення попередньої обробки плодово-ягідної сировини й залежить подальша харчова цінність отримуваної продукції.

До операцій з попередньої обробки плодово-ягідної сировини належать: витримання, підсушування, бланшування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення та частково

екстрагування. Кожна зазначена операція є особливою з точки зору її реалізації, оскільки потребує використання високопродуктивного та металоемного обладнання. Також до недоліків належать одноопераційність, енерго- та металоемність, складність технічних комунікацій, використання та обслуговування. При цьому, крім технологічно-конструкторських недоліків, виникає складність із виготовленням високоякісної плодово-ягідної сировини.

Сьогодні перед харчовою промисловістю стоїть завдання з переробки невеликих партій плодово-ягідної сировини на фермерських господарствах безпосередньо під час її збирання, а також на підприємствах харчової промисловості середнього та малого бізнесу. Саме це зумовлює потребу в знаходженні способів об'єднання операцій з попередньої обробки для реалізації тепломасообмінних процесів у єдиному універсальному багатофункціональному апараті, що забезпечить високу продуктивність і якість отриманого природного напівфабрикату, характеризуватиметься мобільністю та простотою технологічного обслуговування.

Головними завданнями під час проектування універсального багатофункціонального апарата з попередньої обробки плодово-ягідної сировини є:

- максимальне збереження природних властивостей плодово-ягідної сировини за рахунок використання прийнятних технологічно-конструктивних рішень;
- створення мобільного, енерго- та ресурсоефективного обладнання, що характеризуватиметься легкістю експлуатації та обслуговування.

Для досягнення поставленої мети у створюваному обладнанні спеціально розроблені допоміжні секційно-модульні пристрої та їх раціональне конструктивне розташування в робочому просторі апарата. Цей універсальний багатофункціональний апарат (УБА)-150 (рис. 2.38) має горизонтально розміщену внутрішню робочу технологічну ємність 1. Її обігрівання здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею 2 (ГПРЕНВТ).

У внутрішньому просторі робочої технологічної ємності 1 відповідно до конструктивних особливостей розташовано такі елементи:

- горизонтальні технічні роздільні відокремлювачі 3, призначені для пошарового розрізання рідинного та сировинного потоку в робочій технологічній ємності 1, насамперед під час тепломасообмінних

процесів: екстрагування, настоювання, уварювання, перемішування та розчинення;

- модульно-змінну головку барботувального розпилювача 4, що з'єднується з технічним патрубком автоматичного запобіжника парової магістралі 11;

- магістраль крана зливання технологічних рідин 5. Для забезпечення мобільності УБА згідно з конструкторським рішенням розташовується на пересувній площадці 6 зі стоповими фіксаторами 7, яка має такі допоміжні конструктивні елементи:

- моторне відділення з виведеним обертовим валом 10 на основі черв'ячного редуктора, який проходить крізь вузлове з'єднання з підшипником 9, та закріпленою на кінці швидкоз'єднувальною муфтою 8;

- стаціонарну центральну опору для фіксування робочої технологічної ємності 1 із механізмом 18 для цієї ємності в межах 10...35°;

- автоматичний запобіжник парової магістралі 12, з'єднаний із відділенням парового генератора 13;

- відділення для утворення вакууму 14 із вакуумним трубопроводом 15;

- допоміжну технічну висувну піднімальну рейку з обертальним механізмом 16 із її піднімальним механізмом 20;

- блок керування 17, що забезпечує управління швидкістю обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, температурою нагрівання технологічної ємності, тиском пари та вакуумом у апараті;

- з'єднувальний патрубок, призначений для під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19.

Для здійснення максимальної кількості операцій із попередньої обробки в УБА запропоновано використання змінних секційно-модульних елементів, а саме: змінний модульний елемент у вигляді мішалки 27 – перфорований із розміщеними всередині кутовими розділювачами та тарілчастий (рис. 2.39, а, б). Установлення змінних секційно-модульних елементів у технологічній ємності 1 здійснюється за допомогою швидкоз'єднувальних муфт 8, що забезпечують обертання з метою інтенсифікації процесів попередньої обробки.

До технологічної ємності 1 за допомогою накидних болтів 21 (4 шт.) кріпиться кришка робочої технологічної ємності 24, що має гумове ущільнення 29 у місцях взаємодії з технологічною ємністю 1.

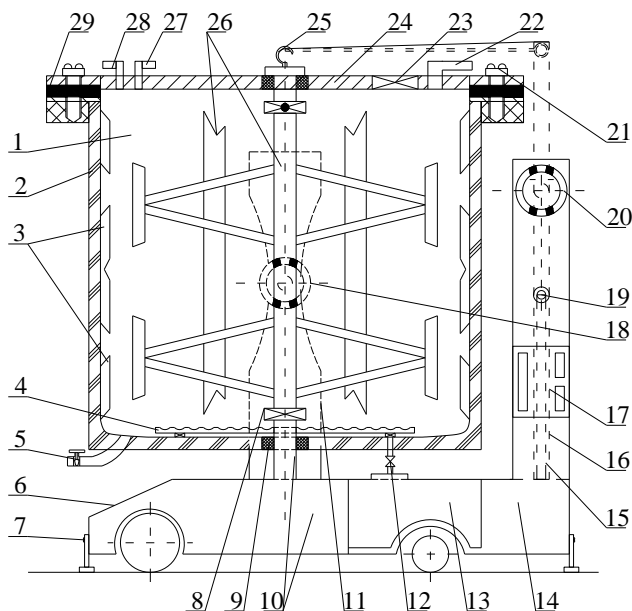


Рисунок 2.38 – Схема розробленого універсального багатофункціонального апарата УБА-200: 1 – внутрішня робоча технологічна ємність; 2 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕНВТ); 3 – технічні відокремлювачі; 4 – змінна головка барботувального розпилювача; 5 – кран зливання технологічної рідини; 6 – пересувна площадка; 7 – стопові фіксатори; 8 – швидкоз'єднувальні муфти; 9 – вузлове з'єднання з підшипником; 10 – моторне відділення з виведеним обертовим валом; 11 – центральна опора фіксування робочої технологічної ємності; 12 – автоматичний запобіжник парової магістралі; 13 – відділення парового генератора; 14 – відділення з утворення вакууму; 15 – вакуумний трубопровід; 16 – допоміжна технічна висувна піднімальна рейка з обергальним механізмом; 17 – блок керування швидкістю обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, температурою нагрівання технологічної ємності, тиском паровведення та вакуумом; 18 – механізм нахилу робочої технологічної ємності; 19 – з'єднувальний патрубок з під'єднання гнучкого шланга вакуумування; 20 – піднімальний механізм допоміжної технічної висувної піднімальної рейки з обергальним механізмом 16; 21 – накидні болти; 22 – патрубок під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19; 23 – герметичний завантажувальний бункер; 24 – кришка робочої технологічної ємності; 25 – крок для підняття кришки; 27 – змінний модульний елемент у вигляді мішалки; 27 – автоматичний запобіжний клапан; 28 – механічний клапан відведення надлишкового тиску; 29 – гумове ущільнення

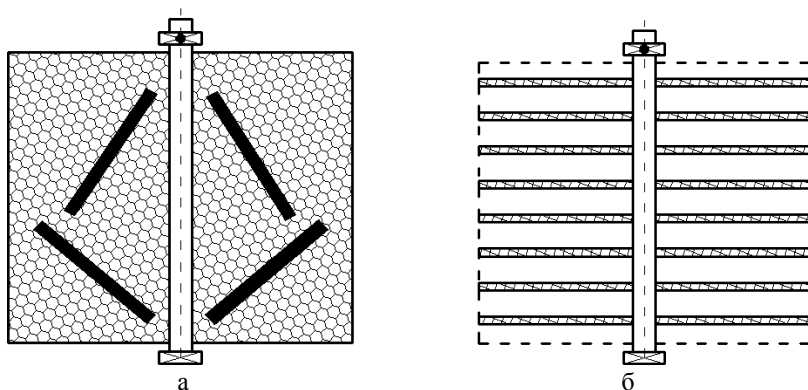


Рисунок 2.39 – Змінні секційно-модульні елементи, розроблені спеціально для універсального багатофункціонального апарата: а – перфорований із розміщеними всередині кутовими розділювачами; б – тарілчастий

На кришці робочої технологічної ємності 24 розташовуються такі конструктивні елементи: патрубок 22 для із під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19, герметичний завантажувальний бункер 23, призначений для засипання технологічної дрібнодисперсної суміші з її подальшим змішуванням та розчиненням, а також технологічних рідин загалом.

На кришці робочої технологічної ємності 24 встановлено допоміжний крюк 25 для її піднімання під час зміни секційно-модульних елементів і розвантаження апарата. Із метою запобігання збільшенню надлишкового тиску в технологічній ємності 1 на кришці робочої технологічної ємності 24 встановлено автоматичний запобіжний клапан 27. Із метою розвакуування технологічної ємності 1 вручну встановлено механічний клапан для відведення надлишкового тиску 28.

Використання змінних секційно-модульних елементів вирішує технологічне завдання з реалізації операцій із попередньої обробки плодово-ягідної сировини. Наприклад, для екстрагування та бланшування використовують перфорований елемент із розміщеними всередині кутовими розділювачами (рис. 2.39, а). Розділювачі призначені для запобігання ущільненню сировини та її поступовому переміщенню (перемішуванню) в секційно-модульній перфорованій ємності під час її обертання. Тарілчастий секційно-модульний елемент (рис. 2.39, б) використовується здебільшого для підсушування сировини. При цьому діаметри отворів підбираються відповідно до різновиду та геометричної форми органічної сировини. Спеціально

розроблений змінний модульний перемішувальний елемент у вигляді двоповерхової лопаті призначено для проведення процесів перемішування, розчинення дрібнодисперсної фракції та її настоювання.

Змінний модульний елемент у вигляді мішалки 27 використовують під час витримування, настоювання, розварювання в технологічних кислотах і рідинах, уварювання, а також для перемішування та розчинення дрібнодисперсної фракції в рідині або однорідних технологічних сумішах.

УБА також обладнаний стоповими фіксаторами 7, які розміщені на станині пересувної площадки 6 та призначені для запобігання її рухливості під час роботи апарата.

Принцип роботи УБА полягає в наступному. Для проведення процесів із витримування, бланшування, настоювання та частково екстрагування в технологічних кислотах завчасно підготовлена природна органічна сировина завантажуються до змінного секційно-модульного перфорованого елемента. Усередині нього розміщено кутові розділювачі (рис. 2.39, а). За допомогою допоміжної технічної висувної піднімальної рейки 16 та швидкоз'єднувальної муфти 8 цей елемент попередньо кріпиться на кришці робочої технологічної ємності 24 із крюком для її піднімання 25. Рейка має обертальний механізм 20. Ця конструкція завантажуються до внутрішньої робочої технологічної ємності 1, де в нижній частині входить у зчеплення зі швидкоз'єднувальною муфтою 8. Після фіксування змінного секційно-модульного перфорованого елемента в робочій ємності апарата здійснюється фіксування кришки робочої технологічної ємності 24 накидними болтами 21.

Потім оператор установлює потрібні технологічні параметри за допомогою блока керування 17, серед них:

- швидкість обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, вал якої встановлено в герметизоване вузлове з'єднання з підшипниками 9. Часто та обертання приводу муфти змінюється в межах $5\text{--}15 \text{ хв}^{-1}$, що забезпечується черв'ячним редуктором, установленим у моторному відділенні 10. При цьому встановлено автоматичну затримку вмикання черв'ячного редуктора, доки температура в робочій ємності не досягне значення $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Це, у свою чергу, забезпечить енергозбереження на стадії нагрівання сировини;

- температура нагрівання. Робоча поверхня УБА обігрівається ГПРЕНВТ 2, який здатен забезпечити її максимальну температуру на рівні $130 \text{ }^\circ\text{C}$;

– тиск вакуумування. Розроблений апарат здатен забезпечити тиск у відділенні утворення вакууму 14 у межах 13–19 кПа (для процесів уварювання та розварювання). Тиск після утворення надходить до патрубку під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19, який з'єднується з патрубком 22;

– тиск барботування. Гаряча пара утворюється у відділенні з парогенератором 13. Після досягнення тиску гарячої пари в межах 0,1–0,5 МПа відкривається автоматичний запобіжник парової магістралі 12 і надходить пара до змінної головки барботувального розпилювача 4.

Змінний секційно-модульний перфорований елемент із кутувими розділювачами (рис. 2.36, а) завантажується та фіксується у внутрішній робочій технологічній ємності 1. У ході здійснення процесів із витримування, бланшування, настоювання та частково екстрагування технологічна ємність 1 заповнюється рідиною через герметичний завантажувальний бункер 23 відповідно до технологічних потреб приблизно на 50% свого об'єму. Бункер розташовано на кришці апарата 24.

Витримавши плодово-ягідну сировину протягом певного часу, оператор вимикає нагрівання, барботування та розвакуування технологічної ємності 1 за допомогою механічного клапана відведення надлишкового тиску 28. Потім він від'єднує патрубок під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19 від вакуумувача 14 та за допомогою механізму нахилу робочої технологічної ємності 18 повертає цю ємність на кут у межах 10...35°. Після чого відкривається кран зливання отриманої технологічної рідини 5, з'єднаний із технологічним трубопроводом або певною ємністю.

Після завершення зливання попередньо обробленої технологічної рідини ємність 1 повертають у початкове геометричне положення та розкручують накладні болти 21. Потім за допомогою допоміжної висувної піднімальної рейки 16 з обертальним механізмом 20 розвантажують внутрішню робочу технологічну ємність 1. При цьому з метою розчеплення нижньої швидкоз'єднувальної муфти кришку апарата 24 спочатку підіймають на 0,01 м та повертають на кут 5...10°. Потім підіймають і повністю розвантажують секційно-модульний перфорований елемент із подальшою технологічною обробкою сировини.

Використання змінного модульного елемента у вигляді мішалки 27 та секційно-модульного тарілчастого елемента (рис. 2.36, б) в інших операціях із попередньої обробки (теплової) має аналогічний принцип роботи, відрізняється лише певними особливостями. Наприклад, під

час підсушування плодово-ягідної сировини на тарілчастих елементах не нахилиють внутрішню робочу технологічну ємність і після завершення обробки.

Під час апробації УБА визначено основні технологічні процеси з тепломасообмінної обробки плодово-ягідної сировини в різному стані, а саме: сушеному (під час екстрагування), порошкоподібному й рідинному (розчинення та змішування) – із подальшим порівнянням отриманих результатів із відомими технологічними апаратами на основі КВМ-150 [135] та УПТОДС-150 [136] (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Експериментальне дослідження попередніх операцій та їх результати

Тепломасообмінний процес	Відношення температури робочої поверхні до тривалості, °C/c		
	традиційний варильний казан КВМ-150	УПТОДС-150	УБА-200
Витримання в технологічних кислотах	20...25/1800	20...25/1550	15...20/1200
Бланшування	105...110/300	105...110/240	80...85/180
Екстрагування	85...90/6800	85...90/3600	75...80/2850
Витримання	70...75/900	70...75/740	60...65/500
Підсушування	50...55/3600	50...55/3450	45...50/3000
Перемішування	47 хв ⁻¹	10 хв ⁻¹	5...15 хв ⁻¹
Настоявання	25...30/2000	25...30/1400	15...20/800
Розчинення дрібнодисперсної фракції	30...40/1800	30...40/900	25...30/720

Результати, отримані під час порівняння з найбільш близьким прототипом (УПТОДС-150, табл. 2.7), підтверджують зменшення тривалості всіх запропонованих тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини. При цьому одночасно зменшився температурний вплив на сировину за рахунок вакуумування технологічної ємності УБА. Під час дослідження було визначено технічні параметри розробленого універсального багатофункціонального апарата (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Технічні параметри універсального багатофункціонального апарата

Технічний параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Об'єм технологічної ємності	м ³	0,05–0,2
Потужність двигуна обертового приводу	кВт	0,35
Температура робочої поверхні (ГПРЕНВТ)	°С	до 130
Витрата пари під час бланшування	кг/год	15–30
Частота обертового приводу	хв ⁻¹	5–15
Вага (без завантаження)	кг	75–130

У результаті досліджень отримано узагальнені технічні параметри розробленого УБА, які підтверджують ефективність його використання на невеликих фермерських і готельно-ресторанних підприємствах, оскільки він забезпечує: зменшення тривалості витримування органічної сировини в технологічних кислотах на 22%, бланшування – на 25%, екстрагування – на 21%, уварювання – на 32%, підсушування – на 13%, настоювання – на 43% та розчинення дрібнодисперсної фракції – на 20%. Також забезпечується зменшення тривалості температурного впливу на сировину за рахунок вакуумування технологічної ємності УБА. У разі його розміщення на малопродуктивних технологічних лініях із продуктивністю 50–200 кг/год УБА порівняно з існуючими прототипами (табл. 2.9) апарат забезпечить гарантоване підвищення техніко-експлуатаційних показників існуючого одноопераційного обладнання. Це досягається насамперед за рахунок багатоопераційності, мобільності, ресурсоефективності, зниження температурного впливу на сировину шляхом вакуумування робочої ємності та використання ГПРЕНВТ під час її обробки, енерго- та металовитрат загалом. Зазначене, у свою чергу, забезпечить високу якість отриманого напівфабрикату на виході з УБА.

РОЗДІЛ 3
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ, КОЛЬОРОВИХ
ТА ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ
СИРОВИНИ

**3.1. Спосіб визначення структурно-механічних властивостей
багатокомпонентних плодово-ягідних паст**

Перспективним шляхом для виробництва оздоровчих багатокомпонентних продуктів тривалого зберігання є використання різної плодово-ягідної сировини з природним вмістом БАР, що забезпечить підвищення імунітету споживачів [137–139]. Під час дослідження були розглянуті можливі шляхи купажування багатокомпонентної пасту на основі яблучної сировини з різними видами плодово-ягідної сировини, а саме: бузиною чорною, айвою, журавлиною, глодом.

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що багатокомпонентна паста змінює попередні структурно-механічні властивості за рахунок перерозподілу вологи за формами зв'язків і має різну міцність отриманої структури.

Для визначення впливу кожної зі складових багатокомпонентного пюре на формування структурно-механічних властивостей (міцність) в отриманих харчових масах під час зміни співвідношення компонентів використовували дисперсність продукту, а саме диференціальну функцію розподілу пор за радіусами $f(r)$, яка характеризується середнім радіусом пористої структури продукту \bar{r} (розд. 2, п.п. 3.1.1) [139].

$$\bar{r} = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r f(r) dr \quad (3.1)$$

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

Для побудови ізотерм сорбції застосовували тензометричний спосіб Ван-Бамелена. Для опису ізотерм сорбції-десорбції використовували рівняння (3.2):

$$u = u_0 \exp\left(-\frac{a_{293} \ln(r) + b_{293}}{r}\right), \quad (3.2)$$

де u – поточна вологість зразка, відн. од.; u_0 – гігроскопічна вологість за сорбції, відн. од.; r – поточний радіус капілярів, нм; a_{293} ; b_{293} – сталі, які знаходять з огляду на вигляд експериментальних ізотерм сорбції-десорбції за $T = 293\text{K}$.

Відмінною особливістю цієї методики є те, що постійні a і b , які входять в рівняння (3.2), одночасно входять і в аналітичний вираз (3.3), який описує ДФР.

$$f(r) = \frac{b_{293} - a_{293} + a_{293} \ln(r)}{r^2} \exp\left(-\frac{a_{293} \ln(r) + b_{293}}{r}\right). \quad (3.3)$$

Це значно спрощує знаходження ДФР для харчових продуктів. Використання рівняння (3.1) за відповідного вибору значень параметрів a , b , W_0 дозволяє знаходити значення рівноважних вологостей кривих сорбції-десорбції в усьому діапазоні відносної вологості повітря аж до його гігроскопічного значення. Для підвищення точності отриманих значень a , b , W_0 необхідно робити перебірку значень (φ) і усереднювати визначені значення параметрів кривої (3.1) [110].

Перехід від відносної вологості повітря (φ) до радіусів мікрокапілярів (r) здійснюємо за формулою (3.4):

$$r_l = \frac{2\sigma V}{RT \ln \varphi}, \quad (3.4)$$

де σ – поверхневий натяг води; V – молярний об'єм водяної пари; R – газова стала.

Такий підхід дозволяє легко за експериментальними точками ізотерм сорбції-десорбції визначити параметри a і b (а також за необхідності W_0) і за формулами (3.3), (3.5) оцінити дисперсність експериментальних зразків:

$$Q_\varphi = \frac{(T_2 r_2 - T_1 r_1) RT_1 \ln \varphi}{(T_2 - T_1) r_1}; \quad (3.5)$$

де r_1 – максимальний радіус мікрокапілярів, які заповнюються за рахунок сорбції водяної пари за відносної вологості повітря φ і температури $T_1 = 293\text{K}$, який знаходять за формулою Томсона (Кельвіна).

Як основний компонент під час експериментальних досліджень із купажування багатокомпонентної харчової маси використовували пасту з яблучної сировини, а як додаткові – домішки, що здатні змінювати органолептичні властивості пасти з плодово-ягідної сировини з підвищеним вмістом БАР і пектинів (айва, журавлина) і з природними барвними речовинами (бузина чорна, глід).

У табл. 3.1. наведено співвідношення компонентів у багатокомпонентній пасті в досліджуваних композиціях [139].

Таблиця 3.1 – Співвідношення компонентів у багатокомпонентній пасті в композиціях

Компонентний склад	Композиція 1			Композиція 2		
	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>1c</i>	<i>2a</i>	<i>2b</i>	<i>2c</i>
Яблуко	60	70	50	60	65	50
Айва	35	25	45	–	–	–
Бузина чорна	5	5	5	–	–	–
Журавлина	–	–	–	30	25	40
Глід	–	–	–	10	10	5
Контроль, %	100	100	100	100	100	100

Для знаходження значень a , b , W_0 спочатку використали експериментальні значення за $\varphi = 0,2$, $\varphi = 0,5$ і $\varphi = 0,8$, а потім за $\varphi = 0,3$, $\varphi = 0,6$, $\varphi = 0,9$. Отримані значення a і b усереднили й надалі використали для побудови ДФР за формулою (3.1).

Як контрольний зразок під час досліджень використовували яблучну сировину. Було отримано криві ДФР для зразків із різним вмістом плодово-ягідної сировини, що наведені на рис. 3.1 і 3.2. Графіки розподілу пор за радіусами (ДФР) для композицій № 1 і № 2 подано на рис. 3.1 і 3.2. Наведені криві є типовими для мікропорової області, оскільки містять максимуми. Очевидно, що чим вище дисперсність зразків, тим більша кількість мікрокапілярів із меншим радіусом пор. Велика контактна поверхня між компонентами дозволяє утворювати комбінований продукт.

У табл. 3.2 подано отримані експериментальні значення рівноважної вологості для 2-х композицій (компоненти, які входять у зразки, наведено в табл. 3.1).

Таблиця 3.2 – Експериментальні значення початкової вологості композицій і розрахункові значення параметрів ізотерм і ДФР

Сталі ізотерми	Зразки композицій						Контр.
	1а	1б	1в	2а	2б	2в	
W ₀	0,29	0,37	0,31	0,34	0,36	10,17	0,6
W _{0,2}	0,06	0,08	0,05	0,07	0,05	0,082	0,10
W _{0,4}	0,08	0,10	0,10	0,11	0,09	0,10	0,11
W _{0,6}	0,12	0,15	0,15	0,16	0,14	0,12	0,15
W _{0,9}	0,23	0,27	0,25	0,28	0,27	0,16	0,37
a ₃₁₃	0,43	1,61	0,22	0,39	0,44	0,05	1,35
b ₃₁₃	1,36	0,68	1,21	1,15	1,45	0,51	1,82
Θ _{0,5}	1,68	3,07	4,4	2,81	2,81	6,28	1,02
Θ _{0,7}	2,45	-	2,88	1,77	1,86	4,47	-
Θ _{0,9}	1,28	-	1,12	1,5	0,73	1,72	0,11
ΣΘ	5,41	3,07	8,4	6,08	5,4	12,47	1,14

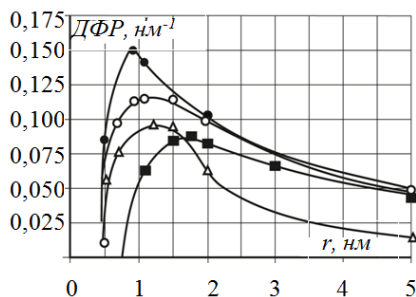


Рисунок 3.1 – Диференційна функція розподілу пор за радіусами в багатокомпонентній пасті № 1 за різного вмісту плодово-ягідної сировини: о – (1а) 60% яблука, 35% айви, 5% бузини чорної; Δ – (1б) 70% яблука, 25% айви, 5% бузини чорної; ● – (1в) 50% яблука, 45% айви, 5% бузини чорної; ■ – контроль (100% яблучної сировини)

Аналіз отриманих графіків ДФР для запропонованих компонентів у композиції та щільне розташування кривих ДФР дозволяє зробити висновок про відсутність переважаючого впливу будь-якого зі зразків під час збільшення вмісту домішок.

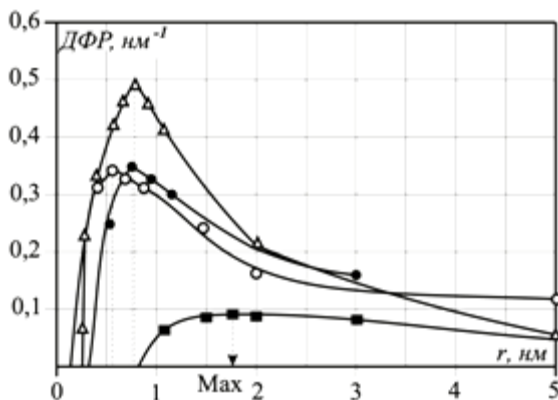


Рисунок 3.2 – Диференційна функція розподілу пор за радіусами в багатокомпонентній пасті № 2 за різного вмісту плодово-ягідної сировини: ○ – (2а) 60% яблука, 30% журавлини, 10% глоду; △ – (2б) 65% яблука, 25% журавлини, 10% глоду; ● – (2в) 55% яблука, 40% журавлини, 5% глоду; ■ – контроль (100% яблучної сировини)

Це вказує на незначні зміни дисперсності отриманої харчової маси в наведених рецептурах. Але порівняння максимальних значень ДФР для контрольного та досліджуваних зразків показує, що за внесення домішок максимальні значення ДФР зміщуються в бік малих радіусів пор у 2–2,2 рази, що вказує на значне збільшення їх дисперсності.

Для оцінювання впливу обраних домішок на дисперсність отриманих зразків використовували рівняння (3.3) для визначення середнього радіуса мікрокапілярів, що є зворотною величиною дисперсності.

Інтеграл у рівнянні (3.3) розраховується графічним шляхом. Середні радіуси мікрокапілярів з урахуванням $f(r)$ на рис. 3.1 і рис. 3.2 мають такі значення для композиції № 1а – $\bar{r} = 2,37$ нм, № 1б – $\bar{r} = 2,08$ нм, № 1в – $\bar{r} = 1,82$ нм, а для композиції № 2а – $\bar{r} = 1,51$ нм, № 2б – $\bar{r} = 1,69$ нм, № 1в – $\bar{r} = 1,7$ нм.

Отримані значення радіусів пор (\bar{r}) підтверджують, що дисперсність у досліджуваних зразках відрізняється незначною мірою. Проте в композиції № 1 (яблуко, айва, бузина чорна) простежується тенденція до зниження дисперсності за переходу від вмісту айви 25% (зразок № 1б) до вмісту 35% (зразок № 1а) і зростання дисперсності за подальшого збільшення вмісту айви до 45% у зразка 1в. Порівняння

впливу вмісту домішки айви на дисперсність одержуваної пасти з контрольним зразком з огляду на отримані значення середнього радіуса мікрокапілярів характеризується відхиленнями \bar{r} між зразками 1б і 1а і становить 13% за точності сорбційного методу 15%, а отже, у цьому разі немає сенсу говорити про зростання міцності структури харчової маси за умови внесення 35% айви порівняно з її внесенням у 25%. Те ж саме спостерігається і за внесення 45% айви в пасти замість основного компонента – яблучної сировини. У цьому разі відбувається зменшення значення середнього радіуса та становить лише 13%, що знаходиться в межах похибки сорбційного методу.

Якщо порівняти вплив домішки журавлини на дисперсність одержаної пасти, урахувуючи отримані значення середніх радіусів мікрокапілярів, можна стверджувати, що за збільшення вмісту журавлини від 25 до 30% (композиції 2б і 2а) спостерігається збільшення дисперсності одержаної пасти, а за збільшення вмісту журавлини до 40%, навпаки, зниження дисперсності пасти. З огляду на те, що середні радіуси пасти в композиціях 2а, 2б та 2в відрізняються між собою на 12%, вплив концентрації домішок журавлини на міцність отриманої харчової маси, як і в попередньому випадку, є мінімальним.

Оцінка дисперсності за середнім радіусом пор \bar{r} дозволяє також порівняти вплив домішок під час їх використання для підвищення дисперсності отриманих зразків відповідно до компонентного складу в композиції. Для цього необхідно порівняти середні радіуси в переважаючих композиціях № 1 і № 2, які наведені вище. Для композиції № 1 (яблуко, айва, бузина чорна) найбільшу дисперсність має зразок № 1в із середнім радіусом $\bar{r}=1,82$ нм, тоді як у композиції № 2 (яблуко, журавлина, глід) переважаючим за дисперсністю є зразок № 2а із середнім радіусом $\bar{r}=1,5$ нм. Оскільки середній радіус у зразка № 2а менше в 1,2 разу від середнього радіуса зразка № 1в, то, відповідно, дисперсність зразка № 2а вища в 1,2 разу відносно зразка № 1в. У свою чергу, ефективність добавки журавлини відносно айви в цьому разі вище в 1,2 разу.

Таким чином, аналіз дисперсності багатокомпонентної пасти, до складу якої входить плодово-ягідна сировина, за середнім радіусом мікрокапілярів \bar{r} дозволяє оцінити внесок кожної з домішок у збільшення дисперсності отриманого продукту, його питомої поверхні та порівняти силу зчеплення між обраними компонентами, що утворюють комбінований продукт із певною поверхнею взаємодії.

Слід пам'ятати, що під час купажування багатокомпонентних паст і розробки компонентного складу композицій необхідно враховувати органолептичні та фізико-хімічні показники обраної

плодово-ягідної сировини. Варто відзначити, що для отримання багатокомпонентної композиції підбиралася плодово-ягідна сировина з високим вмістом БАР і пектинів. Під час стерилізації підтримували кислотність пасти на рівні 3,3–3,7 рН, а підбір рецептурних компонентів здійснювати з урахуванням лікувально-профілактичних властивостей плодово-ягідної сировини [140].

Таким чином, аналіз дисперсності багатокомпонентної пасти до складу якої входила плодово-ягідна сировина, дозволяє простежити вплив кожної з домішок на структурно-механічні властивості, визначити поверхню та оцінити силу взаємодії між запропонованим компонентним складом напівфабрикату.

3.2. Визначення кольорових характеристик плодово-ягідних пюре, паст і сушених напівфабрикатів спектральним методом

Для підтвердження збереження БАР і лікувально-профілактичних властивостей багатокомпонентних плодово-ягідних композицій паст на різних стадіях їх виробництва проводилися дослідження кольорових характеристик за етапами. А також з метою апробації вдосконаленого РПА на основі ГПРЕНВТ запропоновано рецептурне співвідношення плодово-ягідних компонентів у багатокомпонентних композиціях, наведених у табл. 3.3 [142].

Таблиця 3.3 – Рецептурне співвідношення природних компонентів у багатокомпонентних композиціях

Компонентний склад	Композиція (зразок)		
	1а	1б	1в
Яблуко	60	65	55
Журавлина	30	25	40
Глід	10	10	5
Контроль, %	100	100	100

Згідно з розробленим способом зрілі плоди журавлини та глоду миють, інспектують, видаляють плодоніжки та кісточки. Плоди окремо бланшують у 1–2%-му розчині лимонної кислоти за температури 60...70 °С протягом 3–6 хв в універсальному багатofункціональному апараті з метою стабілізації поліфенольного комплексу та для пом'якшення тканини. Потім протирають, відділяючи шкірки й кісточки на здвоєній протиральній машині з діаметрами сит 1,0–1,2 та

0,4–0,6 мм. Вилучені після протирання шкірки та кісточки із залишками м'якоті відварюють протягом 4–8 хв та з метою підвищення виходу готової продукції й маловідходності технології отриману масу повторно протирають на тій самій машині.

Яблучне пюре готують за чинною технологічною інструкцією для виробництва плодкових і ягідних пюре [141]. Потім з'єднують масу з журавлини та глоду, протерту масу відвару зі шкірки й кісточок цих ягід, яблучне пюре та перемішують. Купажування плодово-ягідних компонентів здійснювалося відповідно до запропонованого рецептурного співвідношення сировини в композиціях із різним масовим вмістом (табл. 3.3). У подальшому в них буде досліджуватися кольороутворення з метою підтвердження збереження якості отримуваних напівфабрикатів.

Отриману масу попередньо підігрівають до температури 35 °С та уварюють у РПА на основі ГПРЕНВТ (рис. 2.34) за температури 50...60 °С протягом 0,65–0,8 хв до вмісту 25–30% СР. Потім отриману масу розфасовують за температури 55 °С, закупорюють, стерилізують, маркують. Використання невисоких температур під час концентрування (50...60 °С) запобігає значним втратам біологічно цінних речовин і сприяє збереженню лікувально-профілактичних властивостей.

На першому етапі було визначено кольорові характеристики кожного з компонентів у пюреподібному вигляді (яблуко, журавлина та глід). У результаті встановлено, що особливістю яблука є високі значення коефіцієнта віддзеркалення в зеленувато-жовтій складовій, що пояснюється зеленувато-жовтим забарвлення його м'якоті. Низькі значення коефіцієнтів віддзеркалення журавлини та глоду пояснюються яскраво-червоним і помаранчевим кольорами порівняно з яблуком.

Установлено раціональні довжини хвилі, які відповідають за тон, що домінує, та чистоту тону кольору в зразках. Для яблука вона дорівнює 573,8 нм, із чистотою тону – 65,6% і відповідає зеленувато-жовтому кольору. Для журавлини – 597,7 нм, чистота тону 77,8% характеризує яскраво-червоний колір. Для глоду чистота тону – 89,1% (590 нм), помаранчевий колір.

Другим етапом було визначення та аналізування кольорових характеристик отриманого багатокомпонентного плодово-ягідного пюре (табл. 3.4) після купажування компонентів за рецептурою (табл. 3.3).

Довжина хвилі, що домінує в зразку пюре 1а, становить 610,8 нм і характеризує червонувато-помаранчевий колір із чистотою

кольорового тону 76,4%. Для зразків 1б та 1в – 614,5 і 616,1 нм відповідно. Для зразка 1б значення чистоти тону (70,7%) відповідає червонувато-помаранчевому кольору. Чистота тону 78,1% у зразку 1в характеризує червонувато-помаранчевий колір.

Таблиця 3.4 – Характеристики кольору дослідних зразків композицій багатокомпонентного плодово-ягідного пюре ($Sr=0,05, n=5, p=0,95$)

Дослідні зразки композицій багатокомпонентного плодово-ягідного пюре	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{нм}}$	T, %	P, %	
Зразок 1а	4,5	2,9	0,7	610,8	35,9	76,4	червонувато-помаранчевий
Зразок 1б	3,7	2,3	0,7	614,5	34,5	70,7	червонувато-помаранчевий
Зразок 1в	4,7	3,0	0,7	616,1	37,6	78,1	червонувато-помаранчевий

Третім етапом було отримання кольорових характеристик композицій багатокомпонентних плодово-ягідних паст за відомим вмістом компонентів (табл. 3.5, рис. 3.3). Аналіз отриманих спектрів віддзеркалення композицій багатокомпонентних паст показав, що мінімальна складова синього кольору (z) для зразка паста 1а – 0,49, а композиції 1б та 1в характеризуються значеннями 0,77 і 0,53 відповідно (табл. 3.5).

Установлена довжина хвилі, що переважає в зразку паста 1а, дорівнює 610 нм, а чистота тону – 77,8%. Для паста 1б довжина хвилі становить 613,4 нм, чистота тону – 64,6%, а для зразка 1в довжина хвилі – 614,1 нм, чистота тону – 78,1. Усі дослідні композиції паст мали червонувато-помаранчевий колір.

Порівняння візуальних характеристик кольору зразків (табл. 3.4, 3.5) підтверджує збереження кольорів у пюре до термічної обробки та концентрованих паст. Збереження кольорових характеристик під час концентрування підтверджує мінімальні фізико-хімічні зміни під час теплової обробки та максимальне збереження БАР і лікувально-профілактичних властивостей кінцевого продукту – пасти.

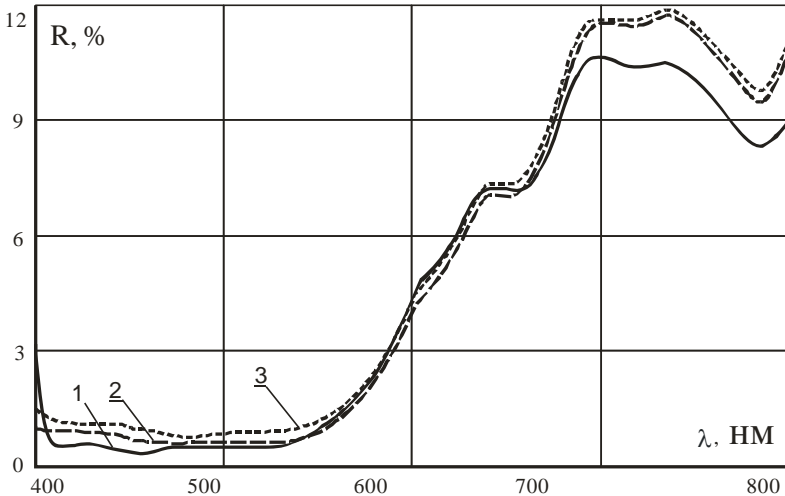


Рисунок 3.3 – Спектри віддзеркалення зразків композицій багатокomпонентних плодово-ягідних паст: 1 – зразок 1а; 2 – зразок 1б; 3 – зразок 1в

Четвертим етапом було визначення кольорових характеристик зразків сушених багатокomпонентних плодово-ягідних паст (рис. 3.4), виготовлених відповідно до попередньо запропонованих рецептурних співвідношень.

Сушіння композицій багатокomпонентних плодово-ягідних паст із вмістом 28–30% СР здійснювали у вальцовій ПЧ-сушарці на основі ГПРЕНВТ (рис. 2.36) за низькотемпературного режиму (45 °С) та товщини шару сировини на рифленому барабані 1 мм. Запропонований апарат має подрібнювальний механізм, розташований у розвантажувальній частині сушарки, що дозволяє отримувати порошкоподібну фракцію сушеного напівфабрикату. Процес ПЧ-сушіння здійснювався до досягнення кінцевого вологовмісту

напівфабрикату на рівні 4–6% із подальшим фасуванням у світловіддзеркалювальні герметичні поліетиленові пакети [143].

Масову частку сухих речовин визначали за ГОСТ 28561-90.

Таблиця 3.5 – Характеристики кольору дослідних зразків композицій багатокомпонентних плодово-ягідних паст за різним вмістом компонентів ($Sr=0,05$, $n=5$, $p=0,95$)

Дослідні зразки композицій багатокомпонентних плодово-ягідних паст	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{нм}}$	T, %	P, %	
Зразок 1а	3,0	2,0	0,4	610	36,1	77,6	червонувато-помаранчевий
Зразок 1б	2,1	2,0	0,7	613,4	34,7	64,0	червонувато-помаранчевий
Зразок 1в	3,1	2,0	0,5	614,1	37,7	78,9	червоно-помаранчевий

Під час досліджень були отримані спектри віддзеркалення дослідних композицій (рис. 3.4), аналіз яких показує, що мінімальна складова синього кольору (z) для зразка 1а становить 0,271, а для зразків 1б та 1в – 0,305 і 0,284, відповідно (табл. 3.6).

Характерною довжиною хвилі для зразка сушеної трикомпонентної плодово-ягідної пасти 1а є 498 нм, що відповідає синювато-пурпурному кольору з чистотою тону 34,7%. Зразки 1б та 1в відповідно мають довжини 620,5 та 589,4 нм. Для зразка 1б значення чистоти тону (34,8%) відповідає червоному кольору. Зразок 1в характеризується синювато-червоним кольором, оскільки має чистоту тону 34,6%.

Порівнюючи візуальні характеристики кольорів, а саме яскравість і чистоту тону, зразків паст до та після сушіння

(табл. 3.5, 3.6), можна зробити висновки, що яскравість дещо слабшає: незначний відсоток у межах 2–6%. Чистота кольору, у свою чергу, зменшується фактично вдвічі, що пояснюється усушуванням маси сировини та проведенням більшої кількості теплових обробок, хоча й досягається привабливий візуальний колір зразків для споживача.

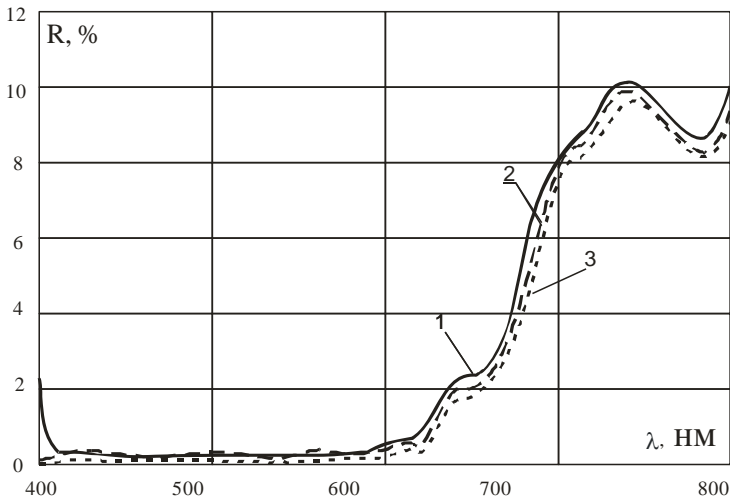


Рисунок 3.4 – Спектри віддзеркалення сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст: 1 – зразок 1а; 2 – зразок 1б; 3 – зразок 1в

Завершальним етапом досліджень із підтвердження якості отримуваних напівфабрикатів є проведення сенсорного оцінювання отриманих кінцевих продуктів, а саме багатокомпонентних плодово-ягідних паст (табл. 3.7) і сушених порошкоподібних напівфабрикатів на їх основі (3.8), відповідно до методики Європейської організації за контролем якості харчових продуктів.

Аналіз даних щодо результатів оцінювання багатокомпонентних плодово-ягідних паст (табл. 3.5) відзначає найкращу якість багатокомпонентної природної пасту з уведенням у 60% яблучного пюре журавлини в кількості 30%, глоду 10% (зразок 1а) до загальної маси сировини. Уведення журавлини та глоду у великих кількостях негативно впливає на смакові якості виробів, у менших – призводить до зниження харчової цінності й погіршення органолептичних характеристик продукту [140].

За результатами оцінювання найкращу якість сушених трикомпонентних плодово-ягідних паст має зразок 1а з вмістом 60%

яблучної сировини, 30% журавлини та 10% глоду. Уведення у великих або менших кількостях журавлини та глоду призводило до зміни органолептичних характеристик продукту, а о теж, і харчової цінності в цілому [141].

Таблиця 3.6 – Характеристики кольору дослідних зразків сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст із різним вмістом компонентів

Зразки сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{нм}}$	T, %	P, %	
Зразок 1а	0,6	0,3	0,2	498	30,4	34,7	синюва-то-пурпурний
Зразок 1б	0,6	0,4	0,3	620,5	32,3	34,8	червоний
Зразок 1в	0,6	0,4	0,2	589,4	33,1	34,6	синюва-то-червоний

Аналіз наведених результатів досліджень кольорових характеристик сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст залежно від їх рецептурного співвідношення із використанням низькотемпературного процесу попереднього концентрування в РПА на основі ГПРЕНВТ та сушіння у вальцьовій ІЧ-сушарці на основі ГПРЕНВТ дозволив визначити довжини хвиль, що переважають, і чистоту тонів для концентрованих паст із вмістом 25–30% СР та сушених із вмістом 4–6% СР [143].

Порівнюючи візуальні характеристики кольорів, а саме яскравість і чистоту тону, зразків паст до обробки та ІЧ-сушіння, можна стверджувати про незначну зміну яскравості в межах 2–6%. Зменшення чистоти кольору майже вдвічі пояснюється усушуванням маси сировини та проведенням більшої кількості теплових обробок,

хоча й досягається привабливий візуальний колір зразків для споживача [142].

Таблиця 3.7 – Результати експертного оцінювання показників якості багатокомпонентних плодово-ягідних паст від повідно до зразків композицій

Приклад	Показники якості багатокомпонентних плодово-ягідних паст, бал					Загальна оцінка, бал
	зовнішній вигляд	консистенція	колір	смак	запах	
Зразки композицій багатокомпонентних плодово-ягідних паст						
Зразок 1а	10	15	9	10	5	49
Зразок 1б	9	14	9	9	5	46
Зразок 1в	9	14	8	8	4	43
Прототип (паста з яблука, айви та бузини чорної)	10	14	9	10	5	48

Таблиця 3.8 – Результати експертного оцінювання показників якості сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст

Приклад	Показники якості сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст, бал					Загальна оцінка, бал
	зовнішній вигляд	консистенція	колір	смак	запах	
Сушені багатокомпонентні плодово-ягідні паст						
Зразок 1а	10	15	9	10	5	49
Зразок 1б	9	14	8	9	5	45
Зразок 1в	9	13	7	8	4	41
Прототип (сушена трикомпонентна плодово-ягідна паста з яблука, айви та бузини чорної)	10	14	9	9	5	47

За результатами оцінювання якості сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст певну перевагу має напівфабрикат із таким співвідношення компонентів: яблуко, журавлина, глід – 60:30:10 (зразок 1а). Уведення у великих або менших кількостях журавлини та глоду призводило до зміни органолептичних характеристик продукту, а отже, і харчової цінності в цілому.

Запропоновані пастоподібні та сушені багатокомпонентні плодово-ягідні пасти рекомендовано до застосування в раціонах харчування як самостійний продукт, а також для виробництва борошняної кулінарної продукції, безалкогольних та горілчаних напоїв, кондитерських і хлібобулочних виробів.

3.3. Підтвердження попередньо отриманих спектрально-кольорових характеристик природних пюре, паст і сушених напівфабрикатів методом цифрової обробки

Із метою підтвердження ефективності використання та достовірності отриманих результатів під час застосування розробленого цифрового методу було запропоновано паралельне дослідження кольорових характеристик дослідних зразків пюре, паст і сушених напівфабрикатів на їх основі з подальшим порівнянням отриманих результатів спектроскопії та цифрової обробки. Під час апробації методу цифрової обробки дослідні зразки плодово-ягідної сировини рівномірно розмазували на дослідницькому дзеркальці товщиною шару 0,5 мм та здійснювали цифрове фотографування з подальшим комп'ютерним аналізуванням знімка в Міжнародній системі координат CIE. Спочатку порівнювали отримані результати зразків багатокомпонентного плодово-ягідного пюре (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Результат порівняння експериментально отриманих даних спектроскопічного аналізу та цифрової обробки багатокомпонентного плодово-ягідного пюре

Зразки композицій багатокомпонентного плодово-ягідного пюре	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{нм}}$	T, %	P, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Дані спектроскопічного аналізу							
Зразок 1а	4,5	2,9	0,7	610,8	35,9	76,4	червону вато-помаранчевий
Зразок 1б	3,7	2,3	0,7	614,5	34,5	70,7	червону вато-помаранчевий

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок 1в	4,7	3,0	0,7	616,1	37,6	78,1	червону вато-помаранчевий
Дані аналізу цифрового методу обробки							
Зразок 1а	4,6	2,8	0,7	610	36	76	червону вато-помаранчевий
Зразок 1б	3,9	2,4	0,7	614	34	71	червону вато-помаранчевий
Зразок 1в	4,2	3,6	0,7	616	38	78	червону вато-помаранчевий

Другим етапом стало порівняння отриманих результатів спектроскопії та цифрового методу аналізу дослідних зразків багатокомпонентних плодово-ягідних паст (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Результат порівняння експериментально отриманих даних спектроскопічного аналізу та цифрової обробки багатокомпонентних плодово-ягідних паст

Дослідні зразки композицій багатокомпонентних плодово-ягідних паст	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{им}}$	T, %	P, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Дані спектроскопічного аналізу							
Зразок 1а	3,	2,0	0,4	610,0	36,1	77,6	червону вато-помаранчевий
Зразок 1б	2,1	2,0	0,7	613,4	34,7	64,0	червону вато-помаранчевий

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок Ів	3,1	2,0	0,5	614,1	37,7	78,9	червоно-помаранчевий
Дані аналізу цифрового методу обробки							
Зразок Іа	3,0	2,0	0,5	610,0	36,0	76,0	червонувато-помаранчевий
Зразок Іб	2,0	2,5	0,8	612,0	35,0	65,0	червонувато-помаранчевий
Зразок Ів	3,0	2,0	0,5	613,0	38,0	78,0	червоно-помаранчевий

Третім етапом було порівняння отриманих результатів спектроскопії та цифрового методу аналізу дослідних зразків багатокомпонентних плодово-ягідних паст (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Результат порівняння експериментально отриманих даних спектроскопічного аналізу та цифрової обробки багатокомпонентних плодово-ягідних паст

Зразки сушених багатокомпонентних плодово-ягідних паст	Координати кольоровості			Довжина хвилі, що домінує	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна характеристика кольору зразків
	x	y	z	$\lambda_{\text{нм}}$	T, %	P, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Дані спектроскопічного аналізу							
Зразок Іа	0,6	0,3	0,2	498,0	30,4	34,7	синювато-пурпурний
Зразок Іб	0,6	0,4	0,3	620,5	32,3	34,8	червоний

Продовження табл. 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок 1в	0,6	0,4	0,2	589,4	33,1	34,6	синюва- то-черво- ний
Дані аналізу цифрового методу обробки							
Зразок 1а	0,6	0,4	0,3	497,0	30,0	34,2	синюва- то- пурпур- ний
Зразок 1б	0,5	0,4	0,3	619,0	32,0	35,0	червоний
Зразок 1в	0,6	0,5	0,3	590,0	33,0	34,2	синюва- то-черво- ний

Аналіз порівняльних таблиць (3.9–3.11) підтверджує подальшу ефективність використання цифрового методу аналізу кольорових характеристик під час будь-якого доступного для фотографування технологічного процесу. Оскільки розбіжності отриманих результатів порівняльного аналізу кольорових параметрів дослідних зразків, отриманих під час спектрального аналізу, та запропонованого цифрового методу становлять менше 5%, що є в межах експериментальної похибки. При цьому запропонований метод цифрового аналізу кольору не лише плодово-ягідних композицій, а й харчових продуктів у цілому забезпечує мобільність і портативність аналізу з короткотривалою обробкою отриманих цифрових даних.

3.4. Обґрунтування доцільності попередньої обробки яблучної сировини перед ІЧ-сушінням

На сьогодні рекомендації щодо доцільності використання попередніх обробок яблучної сировини безпосередньо перед процесом ІЧ-сушіння різняться, у зв'язку з цим було визначено вплив основних технологічних операцій, а саме бланшування та витримування в цукровому сиропі, на тривалість і якість отримуваних напівфабрикатів [11; 159–166].

Реалізація вибраних попередніх обробок здійснювалася в розробленому універсальному багатофункціональному апараті УБА-50 (роз. 2, п. 2.5, рис. 2.38).

Для детального визначення впливу попередніх обробок на процес ІЧ-сушіння яблучної сировини було проведено експериментальні дослідження, у результаті яких отримано залежності

зміни вологості яблучної сировини від тривалості процесу ІЧ-сушіння (рис. 3.5).

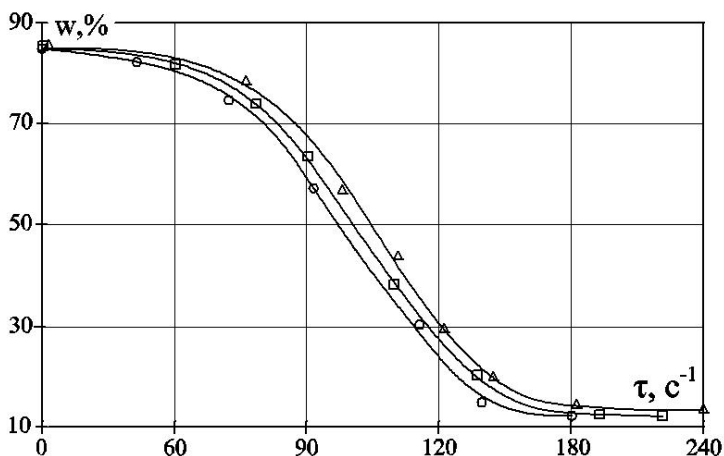


Рисунок 3.5 – Залежність зміни вологості яблучної сировини за часом у разі попереднього бланшування перед ІЧ-сушінням: \circ – 120 с; \square – 90 с; \triangle – 30 с

Аналізуючи отримані результати щодо впливу попереднього бланшування на початку процесу ІЧ-сушіння яблучної сировини, можна стверджувати, що за умови попереднього бланшування яблучної сировини протягом 120 с тривалість процесу сушіння становила 3 год 20 хв, а в разі бланшування протягом 30 с – 4 год, за умови, що напівфабрикати сушилися до вологості 11–15%.

Також було визначено вплив попереднього витримання яблучної сировини в концентрованому цукровому сиропі перед проведенням процесів ІЧ-сушіння. У результаті отримано експериментальні залежності відповідно до зміни вологості з часом (рис. 3.6).

Під час попереднього витримання в концентрованому цукровому сиропі на початку процесу ІЧ-сушіння яблучної сировини можна стверджувати, що за концентрації 20% тривалість сушіння становить 4 год, за 50% – 5 год. Отже, тривалість технологічного процесу ІЧ-сушіння яблучної сировини після попереднього витримання в цукровому сиропі значно збільшується.

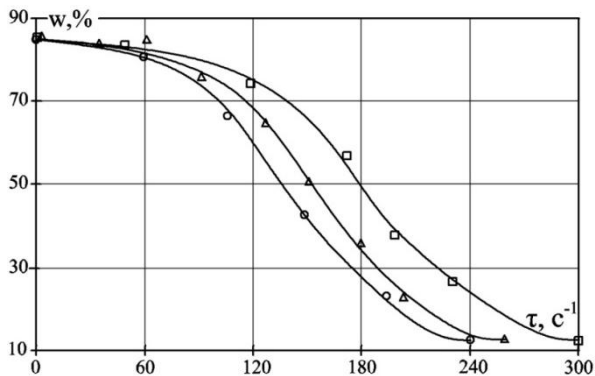


Рисунок 3.6 – Залежність зміни вологості яблучної сировини за часом у разі попереднього витримування в концентрованому цукровому сиропі перед ІЧ-сушінням: —○— 20%; —□— 30%; —△— 40%

Для порівняння отриманих експериментальних залежностей відповідно до необхідності використання попередніх обробок і характеру впливу їх на тривалість процесу та якість отримуваної сировини під час проведення сушіння подано узагальнювальний графік з основними прийнятними технологічними параметрами за умови використання попередніх обробок, а саме бланшування гарячою парою протягом 120 с із тривалістю 180 хв, витримування в 20%-му цукровому сиропі з тривалістю 240 хв та чистого ІЧ-сушіння з тривалістю 175 хв (рис. 3.7).

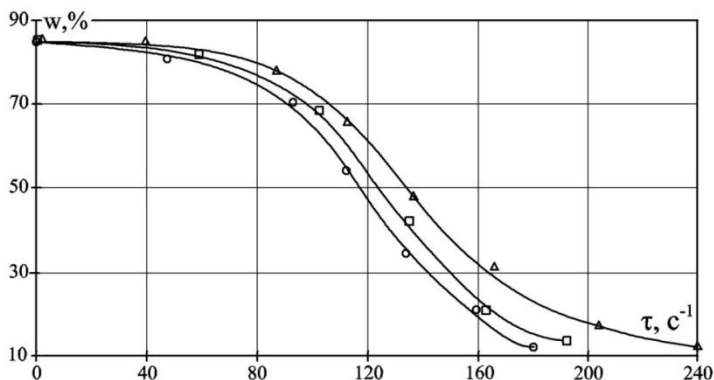


Рисунок 3.7 – Залежність зміни вологості яблучної сировини за часом за умови попереднього витримування в концентрованому цукровому сиропі перед ІЧ-сушінням: —○— 120 с; —△— 20%; —□— «чисте» ІЧ-сушіння

Отримані експериментальні дані не підтверджують доцільність проведення будь-якої попередньої обробки яблучної сировини перед процесами ІЧ-сушіння через незначний вплив на тривалість технологічного процесу сушіння та дозволяють одержувати сушені напівфабрикати з оригінальними смаковими властивостями [150].

3.4.1. Зміна органолептичних показників і вмісту вітаміну С на прикладі яблучної сировини з попередньою обробкою

Під час проведення досліджень процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини на прикладі яблука також було оцінено основні органолептичні показники, а саме: смак, запах, зовнішній вигляд та забарвлення, трьох зразків попередньо висушеної яблучної сировини за умови використання попереднього бланшування, витримування в цукровому сиропі та «чистого ІЧ-сушіння». Отримані результати органолептичної оцінки зведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Порівняльний аналіз органолептичної оцінки зразків отриманої продукції

Вид зразка	Показник	
	зовнішній вигляд, консистенція та забарвлення	смак і запах
«Чисте» ІЧ-сушіння (t = 60 °C)	Чітка форма нарізання, не злипаються під час стискання, еластичні. Однорідний світло-жовтий колір	Чіткі, характерні для сушеного напівфабрикату без сторонніх домішок
Попереднє бланшування перед ІЧ-сушінням	Не зберігається форма нарізання, не злипаються під час стискання, еластичні. Колір майже однорідний, близький до кремового	Характерний аромат для сушеного напівфабрикату
Витримування в цукровому сиропі перед ІЧ-сушінням	Не зберігається форма нарізання, злипаються під час стискання, крихкі. Колір неоднорідний, кремово-жовтий. На поверхнях зразків помітні кристалики цукру	Солодкий смак сушеного напівфабрикату

Зовнішній вигляд досліджуваних зразків проілюстровано на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд досліджуваних зразків яблучної сировини: а – без обробки; б – після бланшування; в – після витримування в цукровому сиропі

3.4.2. Зміна органолептичних показників і вмісту вітаміну С в яблучній сировині без обробок

Якість яблучного сушеного напівфабрикату визначали органолептичним методом за такими параметрами: консистенція, запах, смак, колір і зовнішній вигляд. Отриману профілограму органолептичних показників дослідних зразків сушених напівфабрикатів наведено на рис. 3.9.

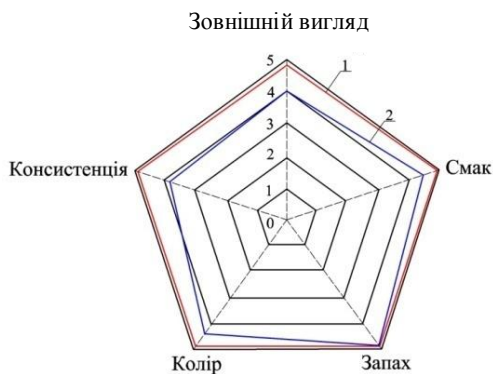


Рисунок 3.9 – Профілограма органолептичних показників сушених яблучних напівфабрикатів: 1 – зразок, отриманий під час сушіння в ВЦ ПЧ-сушарці; 2 – зразок, придбаний у торговельній мережі

Із наведених профілів видно, що найбільш високі органолептичні показники має зразок, отриманий саме в ВЦ ІЧ-сушарці. Також було визначено вміст вітаміну С в яблучній сировині врожаю 2017 року (табл. 3.14) У процесі ІЧ-сушіння кількість вітаміну С зберігається, оскільки його маса на 100 г сировини зростає пропорційно її зменшенню під час сушіння.

Під час зберігання сирої та сушеної яблучної сировини спостерігалось руйнування вітаміну С біохімічними реакціями в масі яблука й навколишнього середовища, при цьому в сушених яблучних напівфабрикатах втрати вітаміну С у 4–4,5 рази менші [11; 148–154]. На підставі табл. 3.13 можна зробити висновок, що ІЧ-сушіння дозволяє практично повністю зберегти не тільки вітамін С, але й інші БАР, та є ефективним засобом зберігання без додаткових енерговитрат.

Таблиця 3.13 – Вміст вітаміну С в яблучній сировині (урожай 2017 року)

Сировина	Термін зберігання, міс	Вміст вітаміну С, мг/100 г	Втрати вітаміну С, %
Сира яблучна сировина	0	10,7±0,3	0
	3	6,2±0,12	42,0±0,6
	6	< 0,8	87,1±0,9
Сушена яблучна сировина	0	24,3±1,0	0
	3	21,2±0,82	13,1±0,2
	6	15,9±0,8	25,0±0,5

На рис. 3.10 наведено дані з відновлення сушеного яблучного напівфабрикату.

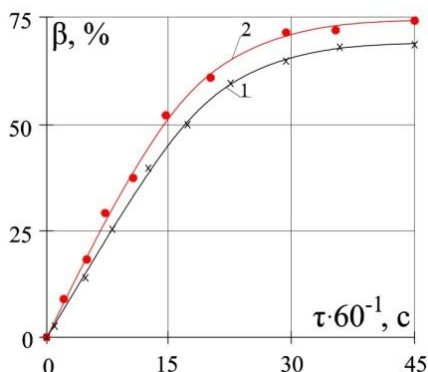


Рисунок 3.10 – Відновлюваність яблучної сировини:
1 – під час конвективного сушіння; 2 – сушіння у ВЦ ІЧ-сушарці

Із рис. 3.10 можна зробити висновок, що яблучна сировина, висушена з використанням ІЧ-випромінювання, має кращу здатність до відновлення, ніж під час конвективного сушіння. Отже, ІЧ-технологія є ефективним засобом зберігання вітаміну С і не потребує додаткових енерговитрат на зберігання.

3.5. Методики, використані під час дослідження інноваційних теплових апаратів для виробництва плодово-ягідних концентрованих і сушених напівфабрикатів гарантованої якості

*Методика комп'ютерного моделювання
з визначення рівномірності розподілу теплового потоку
в ІЧ-сушарках за допомогою програми TracePro*

Основною проблемою сучасних ІЧ-сушарок є недостатнє забезпечення рівномірності розподілу теплового потоку на приймальних поверхнях (сітчастих піддонах). Саме тому під час розробки та проектування автоматизованих ІЧ-сушарок виникає потреба в детальному дослідженні рівномірності теплового поля від ІЧ-випромінювачів на приймальних поверхнях та в робочому просторі робочої камери ІЧ-сушарки. Здебільшого ці дослідження проводять на макетах та експериментальних установках. Із метою досягнення поставленої мети ми пропонуємо використовувати спеціалізовану комп'ютерну програму TracePro [116–120].

Зауважимо, що під час проектування ІЧ-сушарок головними вимогами є:

– обрання раціонального ІЧ-випромінювача, що безпосередньо має фіксовані геометричні та оптичні технічні параметри (геометричні розміри, певну форму, температуру робочої поверхні, довжину ІЧ-хвилі, споживчу потужність та ін.);

– геометрична форма рефлектора, що повинна забезпечувати рівномірність розподілу теплових потоків від ІЧ-випромінювача на приймальних поверхнях (сітчасті піддони з плодово-ягідною сировиною).

Під час проектування ІЧ-сушарок слід пам'ятати, що використання рефлекторів будь-якої геометричної форми призводить до збільшення геометричних розмірів ІЧ-сушарок, а отже, і металоємності.

Для спрощення досліджень із рівномірності розподілу теплового потоку необхідно перетворювати тривимірну задачу (експериментальну ІЧ-сушарку) в задачу, яка буде описуватися

законами оптики, оскільки саме за такими алгоритмами й працюють комп'ютерні програми. Запропонована комп'ютерна програма TracePro ґрунтується на твердженні, що кут падіння променя дорівнює куту віддзеркалення та дозволяє за умови зазначення потужності ІЧ-випромінювачів моделювати хід ІЧ-променів і визначати рівномірність теплового кола на приймальних поверхнях за умови відсутності конвекції.

Перед моделюванням у TracePro спочатку моделюється тривимірна модель робочої камери комп'ютерними засобами AutoCAD 2012 та SolidWord 2014, у яких зазначають, що дзеркальні робочі поверхні на її торцях умовно не показані. Після встановлення необхідних параметрів у комп'ютерній програмі випадково обираються точки на випромінювачі й напрямки руху променів, що виходять із них, та автоматично обчислюється їхня траєкторія.

Аналізуючи отриманий результат комп'ютерного моделювання, можна зробити висновок щодо забезпечення рівномірності розподілу теплового потоку, але слід пам'ятати, що незначні кольорові зміни, отримані під час моделювання, пояснюються похибкою комп'ютерного моделювання, тому необхідно перевіряти рівномірність температурного поля за допомогою розташованих термопар на приймальній поверхні. Ці методи дозволять підтвердити отримані комп'ютерні та вимірювані в реальному часі результати досліджень.

Методика визначення структурно-механічних властивостей багатоконпонентних плодово-ягідних паст

Виробництво купажованих напівфабрикатів із використанням різної плодово-ягідної сировини у відповідному співвідношенні дозволяє виготовляти принципово нові багатфункціональні продукти харчування зі значним вмістом БАР і лікувально-профілактичними властивостями.

Як критерій для визначення міцності багатоконпонентної структури плодово-ягідних паст, що дозволяє визначати окремо вплив кожної з обраних домішок безпосередньо на утворювану структуру продукту під час зміни відсоткового співвідношення компонентів, використовують дисперсність продукту, а саме диференціальну функцію розподілу пор за радіусами (ДФР) та її середній радіус \bar{r} , для знаходження якого використовують зазвичай аналітичний вираз, що описується ізотермами сорбції-десорбції і постійні складові якого входять до аналітичного виразу для визначення ДФР [139].

При цьому кожна окрема домішка має свою ДФР з відповідним τ_{\max} , що дозволяє порівнювати вплив різних домішок плодово-ягідної сировини на дисперсність отримуваних багатокомпонентних паст, а також на міцність, яка визначається поверхнею взаємодії обраних рецептурних компонентів між собою. Саме це дозволяє з високою точністю визначити міцність взаємодії плодово-ягідних компонентів в обраній композиції і дає чітке розуміння зміни структурної будови отримуваної пасти [98]. Ця методика дозволяє визначити вплив кожної окремої домішки на структурно-механічні властивості багатокомпонентних паст (розд. 2, п. п. 3.1).

Методика спектрального аналізу кольору

Визначення кольоропараметричних показників проводили за методом МКО (CIE), який базується на факті, що кольорова поверхня сприймається у своєму специфічному кольорі завдяки відбиттю світла з певною довжиною, решта хвиль є абсорбованими [143; 144].

Дослідження дифузного віддзеркалення зразків проводили на спектрофотометрі СФ-2000 із подальшим математичним аналізуванням отриманих спектрів зразків для визначення характеру кольороутворення в триколіориметричній системі координат X, Y, Z. Кольороутворювальні показники визначалися методом МКО (Міжнародна система координат CIE) [145–147].

Перед вимірюванням спектрів дифузного відбиття зразків спочатку визначали інтенсивність темного току спектрофотометра, потім вимірювали спектр відбиття зразка порівняння (в усіх експериментах використовували стандартний білий зразок № 1 із набору стандартних зразків HCOO-1 для СФО-2000), після чого вимірювали спектри відбиття всіх досліджуваних зразків. Спектри дифузного відбиття вимірювали в діапазоні 380–700 нм із кроком у 10 нм та кількістю циклів накопичення – 20, після закінчення вимірювання за допомогою вбудованого програмного забезпечення SFScan визначали кольорові характеристики досліджуваних зразків у системі CIELab.

За допомогою математичної обробки спектрів дослідних зразків визначали характеристики кольору в триколіориметричній системі координат X, Y, Z МКО (Міжнародна система координат CIE). Координати кольору умовно виражені у відносних одиницях системи МКО та безрозмірні. Відповідно до вимог CIE (Commission Internationale de l'Eclairage – International Commission on Illumination) параметри X, Y, Z розраховуються з таких рівнянь:

$$X = k \cdot \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot d(\lambda), \quad (3.6)$$

$$X = k \cdot \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot d(\lambda), \quad (3.7)$$

$$X = k \cdot \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot d(\lambda), \quad (3.8)$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot d(\lambda)} \quad (3.9)$$

Сьогодні на практиці використовують поверхневу кольорову поверхню xu відповідно до моделей *CIE XYZ*. Параметри кольору розраховують відповідно до просторових координат *XYZ* із використанням такого рівняння [145–148]:

$$x = X / (X + Y + Z); y = Y / (X + Y + Z). \quad (3.10)$$

Це рівняння значною мірою спрощує визначення кольорових властивостей об'єкта дослідження внаслідок представлення кольору в режимі RGB (набір основних кольорів: червоний (R), зелений (G) та синій (B)).

Слід також ураховувати, що трипросторові координати кольору *XYZ* пов'язані з RGB таким чином [143; 144]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6067 & 0,1736 & 0,2001 \\ 0,2988 & 0,5868 & 0,1143 \\ 0,0000 & 0,0661 & 1/1149 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Відповідно, визначення кольорових властивостей здійснюється в просторі xu на основі отриманих значень *XYZ* із використанням рівняння (3.11) під час комп'ютерної автоматичної обробки. Перевагою використання цього способу є точність вимірювання, а до недоліків наведених вище електронних пристроїв можна зарахувати

складність їх обслуговування, високу ціну обладнання та неможливість здійснювати дослідження безпосередньо під час більшості технологічних процесів, зокрема жарення, сушіння, пастеризації та ін.

Слід також пам'ятати, що будь-яка рослинна сировина або продукти харчування мають спектрально-оптичні властивості, а саме: ступінь віддзеркалення, пропускання та поглинання сировиною відповідних хвиль [149]. Для вимірювання спектрально-оптичних властивостей сировини використовують сучасні спектрофотометри, які на сьогодні є дорогими технічними пристроями.

Методика цифрового аналізу кольору

За основу методики цифрового аналізу кольору було взято завдання створення способу визначення кольору харчових продуктів за рахунок фотографування цифровою фотокамерою досліджуваних зразків із подальшим аналізом кольорового фотознімка в комп'ютерній графічній програмі в системі колірних координат RGB, що забезпечить автоматизовану обробку отриманих результатів із визначення зміни кольору досліджуваних зразків безпосередньо в технологічних процесах із мінімальною тривалістю, об'єктивність отриманої інформації щодо кольору харчових продуктів і доступність технічного здійснення аналізу запропонованим способом.

Методику цифрового аналізу та визначення кольору харчових продуктів проводять таким чином: наприклад, беруть процес сушіння органічної природної сировини та здійснюють фотографування цифровою фотокамерою досліджуваних зразків продукту до теплової обробки (свіжа сировина), під час (протягом необхідного періоду часу) і в кінцевий момент (сушена сировина) (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Результати вимірювання кольору досліджуваної ягідної сировини в колірній системі RGB на прикладі журавлини

Зразок	Значення, отримані комп'ютерною графічною програмою за трьома основними кольорами RGB		
	R	G	B
Журавлина свіжа, із початковою вологістю 87%	255	220	193
Журавлина після сушіння протягом 1 год за температури 50 °C та вологості 50%	235	209	176
Журавлина сушена, із кінцевою вологістю 6%	200	182	152

Після цього отримані кольорові фотознімки досліджуваних зразків аналізують у комп'ютерній графічній програмі в системі колірних координат RGB, отримані результати графічних даних заносять до порівняльної таблиці з подальшим аналізом змін трьох основних кольорів RGB: R (red), G (green), B (blue) [149].

Аналіз табл. 3.14 підтверджує автоматичне, швидке та достовірне вимірювання кольору продукту та його зміну під час різноманітних стадій обробок, фактично в реальному часі, за рахунок графічного комп'ютерного аналізу цифрового кольорового фотознімка, а також забезпечується об'єктивність отриманої інформації щодо кольору харчових продуктів і доступність технічного здійснення аналізу запропонованим способом.

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ, СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ТА ЙОГО АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ

Із метою реалізації енерго- та ресурсоефективних технологічних процесів із виробництва плодово-ягідних сушених напівфабрикатів на основі попередньо отриманих режимних параметрів, які в цілому забезпечують і гарантують одержання високоякісної сушеної природної продукції з привабливим для споживача кольором, а також створення узагальнюючих технологічних схем для їх реалізації та зазначення необхідного технологічного обладнання із використанням спроектованих інноваційних апаратів для проведення прийнятної теплової обробки природної сировини на базі вдосконаленого РПА і розробленої вальцьової та вертикальної циліндричної сушарки й універсального багатофункціонального апарата.

4.1. Технологічний процес виробництва пастоподібних і порошкоподібних багатокомпонентних плодово-ягідних сушених напівфабрикатів

Принциповий технологічний процес виробництва багатокомпонентних плодово-ягідної сушених напівфабрикатів наведено на рис. 4.1. Згідно із запропонованим рецептурним співвідношенням (роз. 3, табл. 3.1) плодово-ягідна сировина протирається на здвоєній протиральній машині з діаметрами сит 1,2–1,5 та 0,5 мм та відокремлюється від шкурки та кісточок. Отримана після протирання шкурка із залишками м'якоті одразу направляється на сушіння. Яблучне пюре готують за чинною технологічною інструкцією для виробництва плодових і ягідних пюре. Протерту пюреподібну яблучну масу з'єднують та перемішують з обраними домішками (зизифусу, айви, чорниці, бузини чорної) до однорідної фази. Отримана багатокомпонентна пюреподібна харчова маса надходить на підігрівання (40...50 °С) до електричного котла, а після поступає на концентрування до РПА з вдосконаленою системою обігріву на основі ГПРЕНВТ до вмісту сухих речовин 25–30% за температури 50...70 °С протягом 0,7–1 хв, після чого одержана паста надходить на досушування в розроблену безрефлекторну вальцьову ІЧ-сушарку на основі ГПРЕНВТ за температури 45...60 °С де сушіться до вологості 6–8%.

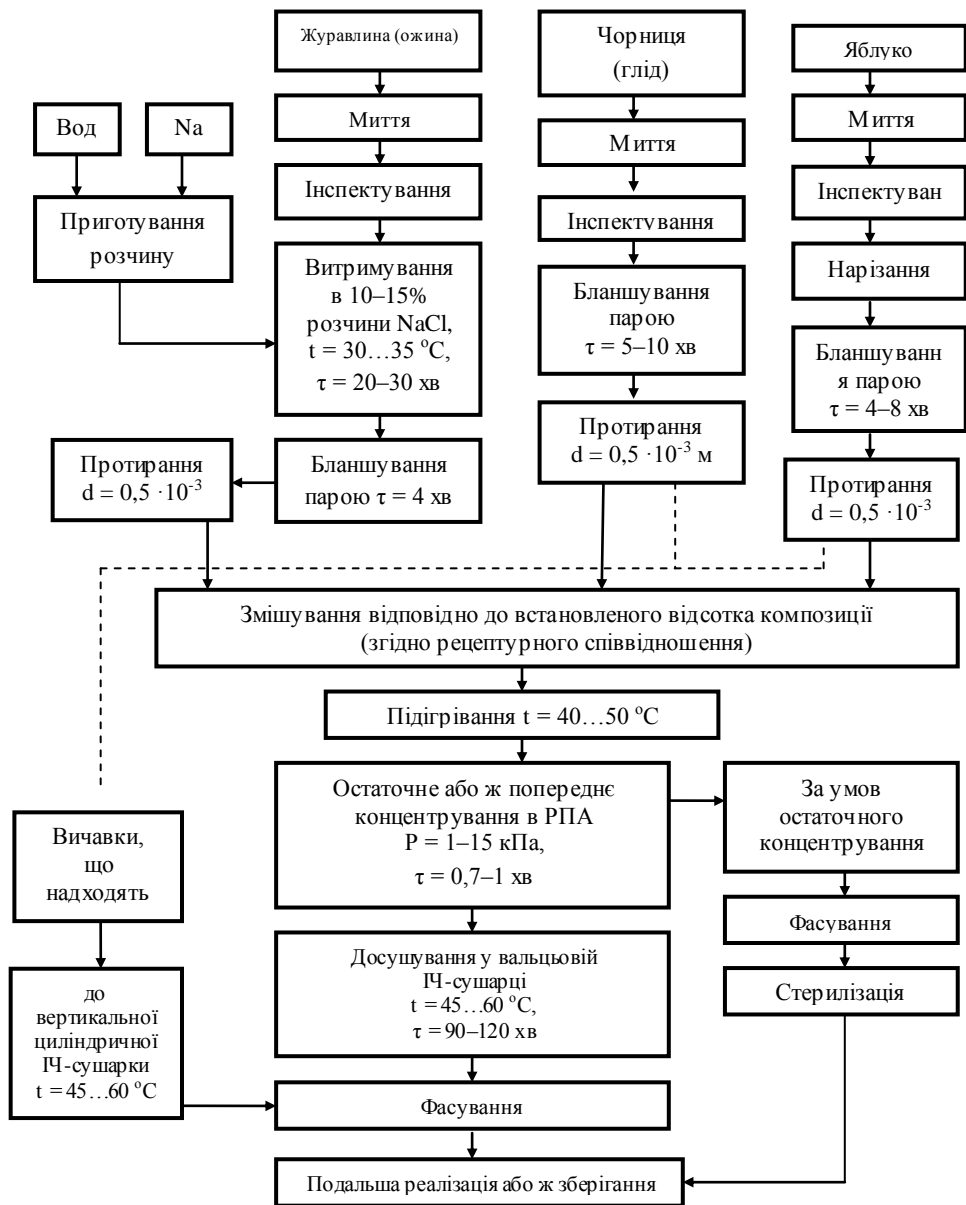


Рисунок 4.1 – Принципова схема виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів

Отриманий багатокомпонентний плодово-ягідний напівфабрикат надходить до фасувально-пакувальної машини, де розфасовується у

світлонепроникні герметичні поліетиленові пакети вагою 5–20 кг та картонні коробки з подальшою їх реалізацією або тимчасовим зберіганням [152].

Застосування процесу попереднього концентрування в РПА з вдосконаленою системою обігріву за температури (50...70 °С) та подальшого досушування сировини у безрефлекторній вальцьовій ІЧ-сушарці на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ з безпосередньою подачею сировини в зону сушіння за температури 45...60 °С запобігає значним втратам БАР та дозволяє спростити апаратне оформлення лінії виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних сушених напівфабрикатів.

4.1.1. Апаратне устаткування технологічної лінії з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів

Для виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів підібрано техніко-апаратну схему лінії (рис. 4.2).

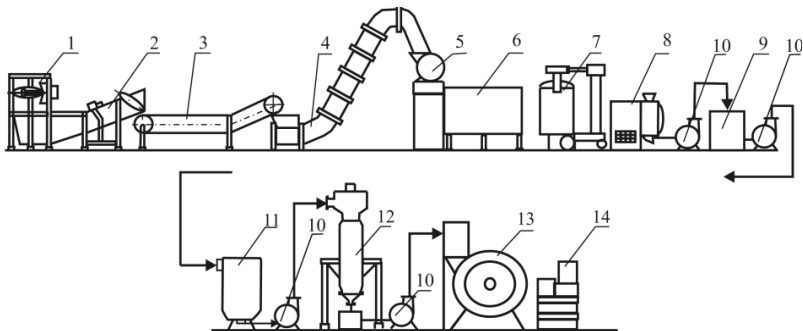


Рисунок 4.2 – Техніко-апаратна схема лінії з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів: 1 – контейнероперекидач; 2 – машина конвеєрна для миття; 3 – конвеєр інспекційний роликівий; 4 – скребковий транспортер; 5 – машина для різання плодово-ягідної сировини; 6 – ємність для накопичення вкладишів; 7 – універсальний багатофункціональний апарат; 8 – машина протиральна; 9 – збірник-мірник; 10 – насос шестеренний; 11 – електричний котел; 12 – роторний плівковий апарат на основі ГПРЕНВТ; 13 – безрефлекторна вальцьова ІЧ-сушарка на основі ГПРЕНВТ; 14 – пакувально-фасувальний автомат

Універсальний багатофункціональний апарат (рис. 2.38) також дозволяє здійснювати процеси витримування плодово-ягідної сировини в 10–15% розчини NaCl та бланшування гарячою парою, відповідно до технологічних потреб.

Багатокомпонентні плодово-ягідні пастоподібні та сушені напівфабрикати – це багатокомпонентні системи. У зв'язку з цим ділянки первинної підготовки плодово-ягідної сировини складається із інспектування, миття, попередньої теплової обробки, яка реалізується в розробленому УБА з подальшим подрібненням сировини. У табл. 4.1 зазначений перелік основного обладнання техніко-апаратурної схеми лінії з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних сушених напівфабрикатів.

Таблиця 4.1 – Перелік основного обладнання лінії з виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і сушених напівфабрикатів

Поз.	Обладнання	Марка обладнання	Потужність, кВт	Габаритні розміри, мм
1	2	3	4	5
1	Контейнероперекидач	А9-КРЖ	1,3	2230x1950x3250
2	Машина мийна конвеєрна	А9-КМЛ	0,43	2900x1000x1600
3	Конвеєр інспекційний роликівий	А9-КТ-2-0	0,6	4250x1212x1700
4	Скребоквий транспортер	ТЦС-1-2	0,8	4880x830x1980
5	Машина для різання плодово-ягідної сировини	А9-КРВ	1,5	640x840x1360
6	Місткість для накопичення вкладишів	МНВ	–	2100x700x600
7	Універсальний багатофункціональний апарат	УБА-50	0,15	650x650x650
8	Машина протиральна	А9-КИХ	3	1380x570x1310
9	Збірник-мірник	МЗ-2С-420	–	1140x1010x1230
10	Насос шестеренний	НШМ-10	3	800x300x350

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5
11	Електричний котел	КЕ	1,5	960x530x 355
12	Роторний плівковий апарат	РПА-100-0,82	9,2	350x300x1 700
13	Вальцова ІЧ-сушарка	Вальцова ІЧ-сушарка	6	1250x1060x 1200
14	Пакувально-фасувальний автомат	ФАМ-00	1,1	1050x980x1 1140

Для узгодження роботи обладнання між собою в лінії встановлено різні накопичувальні ємності [152–153].

4.1.2. Удосконалення роторного плівкового апарата на основі ГПРЕНВТ для виготовлення пастоподібного напівфабрикату

Удосконалений апарат належить до конструкцій тонкоплівкових роторних апаратів, які використовують для процесів випаровування, концентрування, дистиляції, а також під час виробництва пастоподібних харчових продуктів із природної сировини на підприємствах харчування та в інших галузях промислових виробництв.

В основу розробленої моделі покладено створення роторного плівкового апарата шляхом удосконалення пристрою найближчого аналога за рахунок використання як нагрівача гнучкого плівкового електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕНВТ) [156], що забезпечить рівномірне температурне поле в робочій камері апарата та поліпшення якості продукту, що обробляється, зі зниженням енерговитрат і габаритно-вагових характеристик, а отже, вартості таких апаратів.

Запропонована вдосконала конструкція РПА на основі ГПРЕНВТ (рис. 4.3) складається з корпусу роторного випарника 1, гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу 2, зовнішня поверхня якого обгорнута ізоляційним матеріалом 3, патрубків входу 4 і виходу 5 продукту, патрубка виходу вторинної пари 6, сепаратора 7, привідного шківів 8, вала ротора 9, оснащеного шарнірними лопатями 10 та системою герметизації обертового вала 11, і розподільного кільця 12.

Продукт, наприклад природне пюре, подається в патрубок уведення, розташований у верхній частині корпусу 1 і формується в розподільному кільці 12 у вигляді рідинної плівки на поверхні

теплообміну, обігрів якої здійснюється ГПРЕНВТ 2, зовнішня поверхня якого обгорнута ізоляційним матеріалом 3.

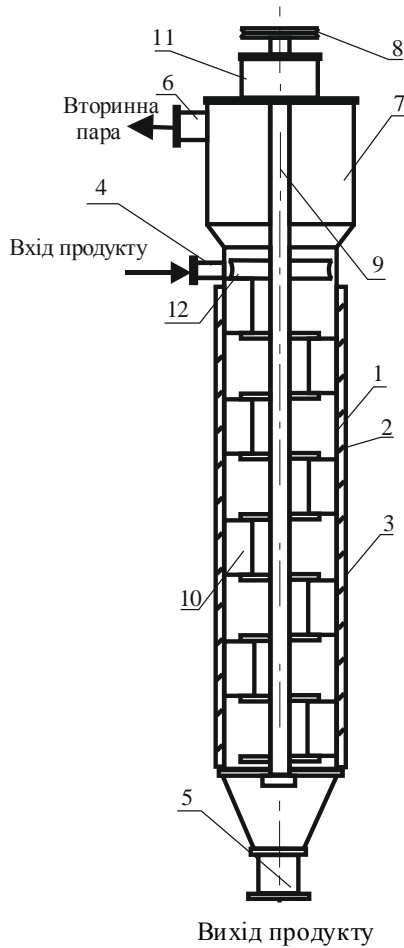


Рисунок 4.3 – Роторний плівковий апарат: 1 – корпус апарата; 2 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу; 3 – ізоляційний матеріал; 4 – патрубок входу продукту; 5 – патрубок виходу продукту; 6 – вихід вторинної пари; 7 – сепаратор; 8 – привідний шків; 9 – вал ротора; 10 – шарнірна лопать; 11 – система герметизації обертового вала; 12 – розподільне кільце

Ротор 9, оснащений системою герметизації обертового вала 11, має закріплені на ньому шарнірні лопаті 10, які переміщують тонку плівку продукту до вивантажувального патрубка 5.

Технічним результатом, що досягається під час використання вдосконаленої конструкції, є отримання роторного плівкового апарата, який має такі переваги: забезпечення рівномірного температурного поля в робочій камері апарата, це, у свою чергу, забезпечить поліпшення якості продукту, що обробляється, та зниження енерговитрат і габаритно-вагових характеристик, а отже, вартості таких апаратів.

4.1.3. Розробка вальцьової ІЧ-сушарки на основі ГПРЕНВТ для отримання порошкоподібного сушеного напівфабрикату

В основу розробленого апарата покладено створення енергозберігаючої вальцьової ІЧ-сушарки для сушіння плодово-ягідних паст (пюре) у порошкоподібні напівфабрикати шляхом використання гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕНВТ) [154; 156], що повторює внутрішні поверхні робочої камери апарата та рифленого барабана, також у зоні зрізання сушеного напівфабрикату встановлено зубчасті вальців, що забезпечить отримання порошкоподібної фракції та підвищення якості одержаної сушеної продукції і збереження БАР.

Запропоновано вальцьову ІЧ-сушарку (рис. 4.4). Робота апарата полягає в наступному. Природний продукт, наприклад, плодово-ягідна (овочева) паста (пюре) з вмістом 25–30% СР, надходить до апарата, встановленого на опорі 1, через нагнітаючий шнек 4 із прямокутною цавкою безпосередньо на рифлену поверхню барабана 2, що рухається проти годинникової стрілки. Прижимний пристрій 5 із підпружиненою пластиною забезпечує потрібну товщину шару сировини. Під час обертання рифленого барабана відбувається нагрівання пасту ГПРЕНВТ 3, що повторює внутрішні поверхні робочої камери апарата та рифленого барабана. При цьому здійснюється обдування сировини повітрям проти руху рифленого барабана 4 за рахунок нагнітаючого вентилятора 6, що створює вимушену конвенцією, у нижній частині робочої камери змонтовано захисний екран 7, що додатково захищає ГПРЕНВТ 3 від потрапляння на них сировини в нижній частині апарата та створює зону досушування перед розвантаженням. Під час нагрівання продукту волога з нього випаровується й пара з робочої камери відводиться за допомогою патрубка 9. Висушена сировина зрізається з рифленої поверхні барабана зрізаючими ножами 8 та

надходить до зубчастих вальців 10, які обертаються за допомогою ланцюгової передачі від рифленого барабана 2 назустріч один одному з попередньо встановленим проміжком, що відповідає отримуваній фракції порошкоподібного напівфабрикату.

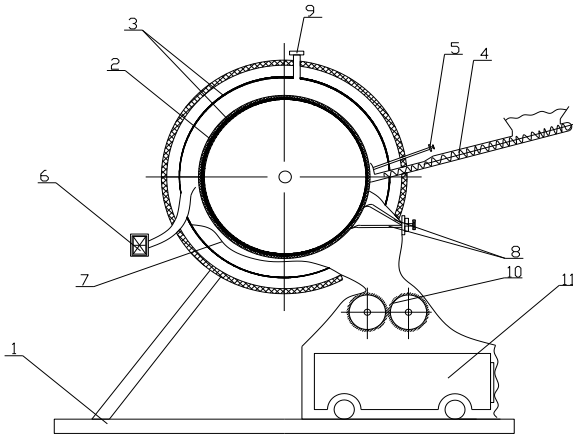


Рисунок 4.4 – Вальцова ПЧ-сушарка безрефлекторного типу безперервної дії для сушіння багатокомпонентних плодово-ягідних напівфабрикатів: 1 – опора; 2 – рифлений барабан; 3 – ГПРЕНВТ; 4 – нагнітаючий шнек із прямокутною цавкою; 5 – прижимний пристрій із підпружиненою пластиною; 6 – нагнітаючий вентилятор; 7 – захисний екран; 8 – зрізаючі ножі; 9 – патрубок відведення пари; 10 – накопичувальна ємність

Порошкоподібний природний сушений напівфабрикат після теплової обробки з подальшим подрібненням вивантажується з робочої камери сушарки до накопичувальної ємності 11. Після чого надходить на фасування з подальшим зберіганням та реалізацією.

Технічним результатом, що досягається під час використання розробленої вальцевої ПЧ-сушарки, є: рівномірне теплове поле в робочій камері апарата за рахунок використання ГПРЕНВТ; підвищення експлуатаційних характеристик апарата за рахунок встановлення зубчастих вальців у зоні зрізання сушеного напівфабрикату для подрібнення сировини безпосередньо в апараті, що забезпечить зменшення тривалості технологічного процесу та підвищення якості отриманого продукту.

4.2. Технологічний процес виробництва різаних сушених плодово-ягідних напівфабрикатів

Технологічний процес переробки плодово-ягідної сировини на прикладі яблук для отримання різаних сушених напівфабрикатів складається з сукупності операцій, що поєднують фізико-хімічну, теплофізичну та енергетичну основи (рис. 4.4).

Процес переробки плодово-ягідної сировини в різані сушені напівфабрикати мають, зокрема, стандартні технологічні операції: збирання, (попереднє зберігання), миття, інспектування, нарізання відповідної геометричної форми згідно з технічними вимогами процесів, ІЧ-сушіння із подальшим фасуванням у світлонепроникні герметичні поліетиленові пакети з подальшим зберіганням та реалізацією.

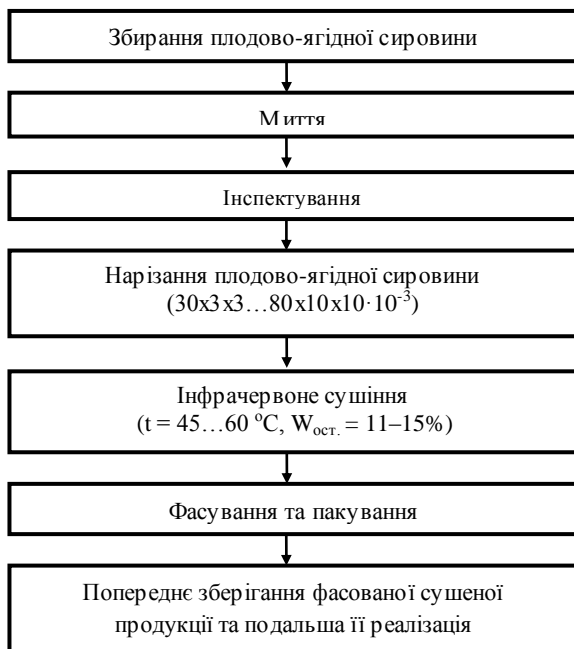


Рисунок 4.4 – Принципова схема виробництва різаних сушених
плодово-ягідних напівфабрикатів

Технологічний процес виробництва сушених плодово-ягідних напівфабрикатів на прикладі яблука здійснювався на міні-лінії

(рис. 4.5) у такій послідовності: зрілі плоди яблук збиралися з плодоносних дерев у дерев'яні контейнери та транспортувалися безпосередньо до мийних машин або ж на попереднє короткотривале зберігання.

Миття сировини здійснюється в конвеєрній мийній машині призначеній для видалення основних різновидів забруднень (земля, пил та ін.). Потім сировина надходить на інспектуючий стіл, де видаляється непридатна та неякісна сировина. Придатна сировина надходить до нарізаючої машини з попередньо встановленою необхідною матриці (30x3x3...80x10x10 · 10⁻³ м) або ін. відповідно до технологічних вимог. Нарізана сировина надходить на стіл для завантаження сировини на сітчасті піддони із подальшим фіксуванням на штативи та фіксуючому пристрої кришки ВЦ-ІЧ сушарки.



Рисунок 4.5 – Технологічна схема міні-лінії з виробництва різаних сушених плодово-ягідних напівфабрикатів: 1 – контейнероперекидач; 2 – машина мийна конвеєрна; 3 – інспектуючий стіл; 4 – машина для нарізання плодово-ягідної сировини; 5 – завантажувальний стіл із сітчастими піддонами; 6 – вертикальна циліндрична ІЧ-сушарка (ВЦ ІЧ-20); 7 – приймальний стіл фасувально-пакувального автомата

Завантаження сушарки здійснюється за допомогою завантажувально-розвантажувальний механізму, а саме під час підняття кришки з фіксованим штативом із сітчастими піддонами та її повертання на 150°. Температурний режим відповідає параметрам відповідно до рис. 4.4.

Після закінчення процесу сушіння за допомогою завантажувально-розвантажувального механізму висушена яблучна сировина розвантажується обслуговуючим персоналом на приймальний стіл фасувально-пакувального автомата де фасується у світлонепроникні герметичні поліетиленові пакети масою від 0,001 кг до 50 кг, та за необхідності загортається в одноразові картонні коробки з подальшою реалізацією або ж зберіганням.

Обране технологічне обладнання (табл. 4.2), що наведене в міні-лінії, має порівняно невелику потужність та компактні геометричні розміри. Також запропоновано спосіб сушіння плодово-ягідної сировини у вертикальний циліндричний ІЧ-сушарці [155]. За органолептичними показниками сушена сировина відповідала ГОСТу 7588-71.

Таблиця 4.2 – Перелік основного технологічного обладнання міні-лінії з виробництва різаних сушених плодово-ягідних напівфабрикатів

№	Назва обладнання	Показник		
		Марка обладнання	Кіл-ть	Потужність, кВт
1	Контейнероперекидач	КО-2	2	0,36
2	Машина мийна конвеєрна	ММК-0,5	1	0,5
3	Інспекційний стіл	СІГ	2	
4	Машина для нарізання плодово-ягідної сировини	AS16	2	0,35
5	Стіл для завантаження сітчастих піддонів	СТГ	2	
6	Вертикальна циліндрична ІЧ-сушарка (ВЦ-ІЧ-20)	ВЦ ІЧ-20	4	9
7	Фасувально-пакувальний автомат	РТ-УМ-4	1	1,8

Слід також зазначити, що запропонована технологічна схема міні-лінії з виробництва різаних сушених плодово-ягідних напівфабрикатів (рис. 4.4) за необхідності може працювати й з розробленою універсальною ІЧ-сушаркою природної (плодово-ягідної, овочевої та пряно-ароматичної) сировини безперервної дії на основі ГПРЕНВТ.

4.2.1. Розробка безрефлекторної вертикальної циліндричної ІЧ-сушарки періодичної дії на основі ГПРЕНВТ

На основі результатів досліджень розроблена безрефлекторна промислово-дослідницька сушарка вертикальна циліндрична ІЧ-20 на основі ГПРЕНВТ з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря (рис. 4.6).

Робота апарата здійснюється таким чином: плодово-ягідна сировина, наприклад – яблучна, завантажується на сітчасті піддони 6,

які фіксуються за допомогою фіксуючих шпильок 7 на штатив 4. Після чого штатив із сітчастими піддонами встановлюється у фіксуючому пристрої 3 кришки 2 із затяжними фіксаторами, на якій змонтовано витяжний вентилятор 15, що з'єднаний з нагнітаючим теплоізолюваним трубопроводом 16.

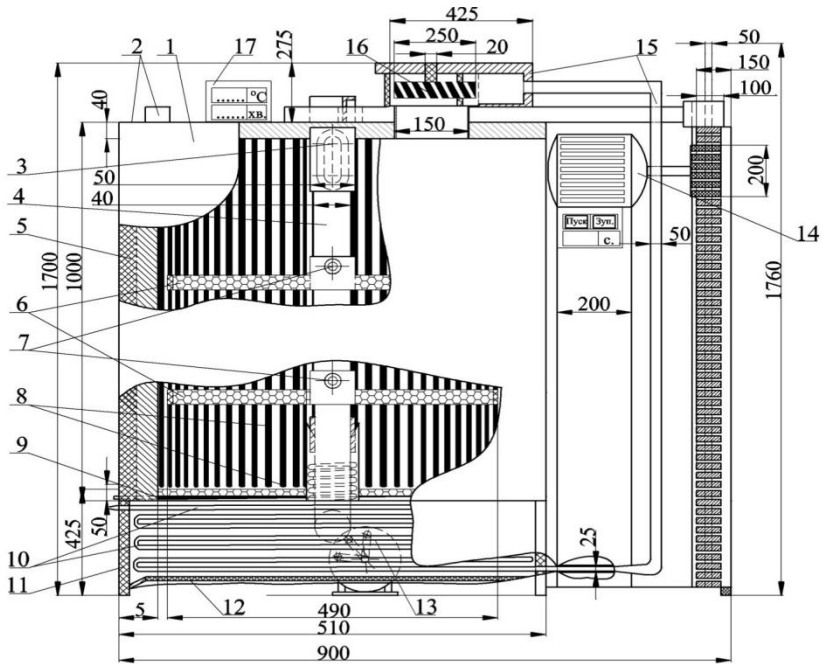


Рисунок 4.6 – Промислово-дослідницька сушарка ВЦ ІЧ-20:
 1 – вертикальна циліндрична робоча камера; 2 – кришка із затяжними фіксаторами; 3 – фіксуючий пристрій; 4 – штатив; 5 – теплоізолюючий іolon; 6 – сітчасті піддони; 7 – фіксуючі шпильки; 8 – ГПРЕНВТ; 9 – регульовальна заслінка; 10 – теплообмінний спіральний пристрій; 11 – стійки; 12 – розподільна решітка; 13 – вібраційний механізм для штатива із сітчастими піддонами; 14 – завантажувально-розвантажувальний механізм; 15 – нагнітаючий теплоізолюваний трубопровід; 16 – витяжний вентилятор; 17 – блок керування САУ

Після вмикання завантажувально-розвантажувального механізму 14 штатив із сітчастими піддонами завантажується до циліндричної вертикальної робочої камери ІЧ-сушарки 1, встановленої на стійках 11.

Після чого здійснюється технологічний процес ІЧ-сушіння сировини за температури 45...60 °С залежно від технологічних вимог.

Відпрацьоване повітря за рахунок витяжного вентилятору 15, з'єднаного з нагнітаючим теплоізольованим трубопроводом 16 надходить до теплообмінного спірального пристрою 10, який встановлено в нижній частині ІЧ-сушарки біля ІЧ-випромінювачів 8 та забезпечує можливість попереднього підігрівання «холодного» повітря відпрацьованим теплоносієм.

Після закінчення технологічного процесу ІЧ-сушіння вмикається завантажувально-розвантажувальний механізм 14, якій після підняття штативу з піддонами обертається на 150°, для розвантаження та завантаження сировини на технічному майданчику. Сушена сировина надходить до фасувальної машини та подальшу реалізацію.

4.2.2. Розробка універсальної ІЧ-сушарки природної сировини безперервної дії на основі ГПРЕнВТ

Розробка належить до конструкцій ІЧ-сушарок, які застосовуються для процесів сушіння органічної природної сировини, і може бути використана на підприємствах харчування та фермерських господарствах під час виробництва сушених органічних напівфабрикатів і готових виробів природного походження, а також в інших галузях промислового виробництва.

Недоліком існуючих конструкцій є складність використання як нагрівача ніхромової інфрачервоної плівки за рахунок можливості потрапляння вологовмісного повітряного середовища в місця підключення нагрівача до електромережі, що призводить до корозії з'єднання та викликає певні труднощі під час використання пристрою. Також є труднощі в завантаженні та розвантаженні апарата за значного його завантаження сировиною (100–350 кг).

В основу розробки покладено створення універсальної ІЧ-сушарки для сушіння органічної природної сировини з підвищеними техніко-експлуатаційними властивостями за рахунок:

- безперервної роботи апарата з можливістю одночасного сушіння декількох різновидів сировини в модульних сітчастих ємностях;
- використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу [156];
- підвищення якості отриманої продукції за рахунок м'якого температурного режиму;
- зменшення тривалості термічної обробки сировини шляхом використання вібрації.

Реалізація сушіння в запропонованому апараті (рис. 4.7) здійснюється таким чином: органічна природна сировина, попередньо відкалібрована або ж нарізана певними геометричними розмірами, надходить до завантажувального бункера 1, розташованого у верхній частині апарата та з'єднаного за допомогою гнучкої гофрованої трубки 2 з модульними сітчастими ємностями 3 (діаметр отворів яких менший за діаметри отворів горизонтальних перегородок), які мають усередині горизонтально вмонтовані перфоровані перегороди 4 зі змінними діаметрами отворів. Модульні сітчасті ємності 3 заповнюють внутрішню геометрію вертикальної циліндричної робочої камери 5 [157].

Розвантаження модульних сітчастих ємностей 3 здійснюється за рахунок використання вібраційного дискового механізму 6, стійки якого вмонтовано в нижніх частинах модульних секційних ємностей 3, та усушування сировини шляхом зменшення її геометричних розмірів з одночасним її проходженням під дією вібрації через відповідні діаметри отворів, розміщених на горизонтально вмонтованих перфорованих перегородках 4. Головною умовою розвантаження сировини в модульних сітчастих ємностях 3 є проходження її через нижню горизонтально вмонтовану перфоровану перегородку 4 із найменшими діаметрами отворів, які розраховуються за відповідним рівнянням та характеризують сушену сировину з кінцевим вологовмістом 6–12%.

Нижня частина модульних сітчастих ємностей 3 являє собою одночасно бункер розвантажування, що з'єднаний гнучкою гофрованою трубкою 2 із бункером тимчасового зберігання сушеної продукції 7. Сушіння природної сировини здійснюється за температури 40...60 °С за рахунок використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу 8 [155], який встановлено на зовнішній поверхні внутрішнього повітряного трубопроводу 9, розміщеного в центрі робочого простору апарата.

У верхній частині внутрішнього повітряного трубопроводу 9 вмонтовано нагнітаючий вентилятор 12, що створює необхідний тиск для руху свіжого повітря між розташованими всередині змієвиковими теплообмінниками 10, усередині яких рухається відпрацьоване вторинне повітря із середньою температурою 42...58 °С, що нагнітається за рахунок витяжних вентиляторів 11, розташованих у верхній частині апарата. Нижня частина внутрішнього повітряного трубопроводу 9 з'єднана зі спіральним розсіювачем повітря 13, який розташовано в нижній частині апарата.

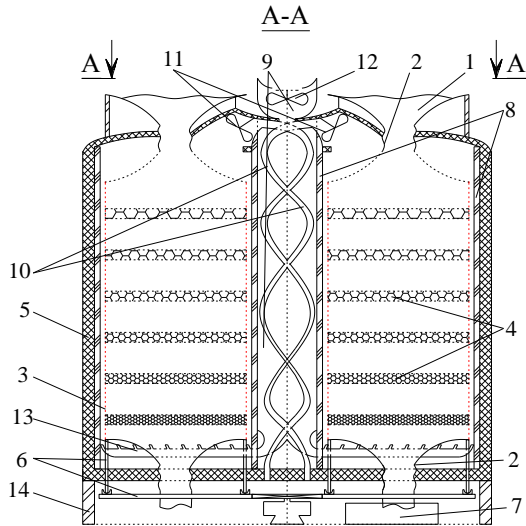


Рисунок 4.7 – Універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини, що складається з двох модулів сітчастих ємностей: 1 – завантажувальний бункер; 2 – гнучка гофрована трубка; 3 – модульні сітчасті ємності; 4 – горизонтальні вмонтовані перфоровані перегородки; 5 – вертикальна циліндрична робоча камера; 6 – вібраційний дисковий механізм; 7 – бункер тимчасового зберігання сушеної продукції; 8 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу; 9 – внутрішній повітряний трубопровід; 10 – змієвикові теплообмінники; 11 – витяжні вентилятори; 12 – нагнітаючий вентилятор; 13 – спіральний розсіювач повітря; 14 – стійки

Під час проходження свіжого повітря по внутрішньому повітряному трубопроводу 9 здійснюється його попереднє підігрівання в середньому на 4...8 °С, що, у свою чергу, дозволяє збільшити поглинальну спроможність повітрям випарованої вологи із сировини. Універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини змонтована на стійках 14.

Технічним результатом, що досягається під час використання універсальної ІЧ-сушарки органічної природної сировини, є:

- безперервна робота апарата з можливістю одночасного сушіння декількох різновидів сировини в модульних сітчастих ємностях;

- використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу;

– підвищення якості отриманої продукції за рахунок м'якого температурного режиму та зменшення тривалості термічної обробки сировини шляхом використання вібрації.

Запропоновано узагальнюючі принципові технологічні схеми виробництва сушених пастоподібних, порошкоподібних і сушених природних напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини (рис. 4.2, 4.4), реалізація яких здійснюється на основі ІЧ-сушіння з використанням як нагріваючого елемента сучасного енерго- та ресурсоефективного ГПРЕНВТ. Це забезпечить гарантоване збереження початкових властивостей природної сировини, а отже, максимальне збереження БАР та отримання привабливого для споживачів кольору.

Першою технологічною схемою передбачається попереднє або ж остаточне концентрування багатокomпонентної сировини в удосконаленому роторно-плівковому апараті до вмісту 25–30% СР за температури 50...70 °С протягом 0,5–1 хв із можливістю подальшого досушування попередньо концентрованої пастоподібної маси в розробленій безрефлекторній вальцьовій ІЧ-сушарці за температури 45...60 °С.

Другою технологічною схемою передбачено проведення етапу сушіння попередньо нарізаної природної сировини в сушарці ВЦ ІЧ-20 із використанням вібрації та вторинного повітря, також універсальній ІЧ-сушарці природної сировини. Спостерігається безперервна робота апарата з можливістю одночасного сушіння декількох різновидів сировини в модульних сітчастих ємностях.

Запропоноване обладнання для теплової обробки природної сировини забезпечить виготовлення якісних і лікувально-профілактичних напівфабрикатів природного походження, які можуть використовуватися як різноманітні вітамінні домішки, наповнювачі, загусники в різних галузях харчової промисловості, фармацевтії та для забезпечення річної потреби споживчої кооперації України та військовослужбовців. Слід також відзначити, що розроблена ВЦ ІЧ-сушарка та універсальна ІЧ-сушарка можуть бути використані й без запропонованої технологічної лінії на фермерських господарствах та в домашньому побуті.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу літературних джерел встановлено необхідність розширення асортименту концентрованих і сушених виробів із високим вмістом біологічно активних речовин природного походження. Визначено переваги використання технологій інфрачервоного сушіння та концентрування плодово-ягідної сировини й обґрунтовано недоліки існуючого сушарного обладнання, які характеризуються тривалістю обробки, нерівномірним розподілом теплових потоків і низькими рівнем енергозбереження, що зумовлює необхідність досліджень у цьому напрямі.

Визначено раціональні положення ІЧ-випромінювача та приймача в ІЧ-сушарці з верхнім розташуванням рефлектора (напівциліндричного, синусоїдального), що забезпечать рівномірність розподілу теплової енергії на приймачах. Розроблено математичну модель ІЧ-нагрівання за умови однобічного винесення за межі приймача рефлекторів для визначення їх раціональної форми під час проектування ІЧ-сушарок.

Визначено раціональні діапазони поглинаючої здатності природної сировини на прикладі яблука (3, 6, 9 та 12–15 мкм). Доведено раціональність використання нагрівального елемента – гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕНВТ), для проведення процесів ІЧ-сушіння плодово-ягідної сировини шляхом визначення його температури поверхні в діапазоні випромінюючої здатності 5–15 мкм. Обґрунтовано раціональну частоту вібрації сировини (4 с^{-1}) під час комбінованого застосування нагрівального елемента ГПРЕНВТ та вібраційного механізму, що забезпечує зменшення тривалості процесу сушіння на 21%.

Для виробництва багатокомпонентних плодово-ягідних пастоподібних і порошкоподібних сушених напівфабрикатів розроблено устаткування «РПА – вальцова ІЧ-сушарка» з використанням як нагрівача ГПРЕНВТ, що дозволяє суттєво скоротити термін теплової обробки сировини. Також розроблено спосіб із визначення зміни структурно-механічних властивостей багатокомпонентних плодово-ягідних паст із 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. У результаті чого доведено, що з підвищенням вмісту журавлини від 25 до 30% забезпечується збільшення дисперсності одержаного поре, під час

подальшого збільшення вмісту журавлини до 40%, навпаки, зниження дисперсності.

Розроблено універсальний багатофункціональний апарат (УБА) з попередньої обробки плодово-ягідної сировини та отримано узагальнені технічні параметри, які підтверджують ефективність його використання на невеликих фермерських і готельно-ресторанних підприємствах. Використання УБА забезпечить: зменшення тривалості витримання органічної сировини в технологічних кислотах на 22%, бланшування – на 25%, екстрагування – на 21%, уварювання – на 32%, підсушування – на 13%, настоювання – на 43% та розчинення дрібнодисперсної фракції – на 20%. Також забезпечується зменшення тривалості температурного впливу на сировину за рахунок вакуумування технологічної ємності УБА. Установлено, що необхідності в проведенні попередньої обробки яблучної сировини бланшуванням і витриманням у цукровому сиропі перед ІЧ-сушінням немає, лише для отримання сушених напівфабрикатів з оригінальними смаковими властивостями. Оскільки прийнятною тривалістю бланшування гарячою парою є 120 с із тривалістю процесу ІЧ-сушіння 180 с^{-1} та витримання в 20%-му цукровому сиропі з тривалістю 240 с^{-1} , а чисте ІЧ-сушіння має тривалість 175 с^{-1} .

Згідно з органолептичними дослідженнями, проведеними після попередньої теплової обробки, зразків сушених яблук під час попереднього бланшування, витримання у 20%-му цукровому сиропі та «чистого ІЧ-сушіння». Отримані зразки під час «чистого ІЧ-сушіння» мають чітку форму нарізання, не злипаються під час стискання, еластичні та мають однорідний світло-жовтий колір, характерний для сушеного напівфабрикату без сторонніх домішок. За рахунок використання ІЧ-випромінювання сушені напівфабрикати мають кращу здатність до відновлення, ніж під час конвективного сушіння, та не втрачають вітамін С протягом року.

Отримано кольорові характеристики плодово-ягідних пюре, паст і сушених напівфабрикатів спектральним методом. Домінуюча довжина хвилі яблучного пюре дорівнює 573,8 нм і відповідає зеленувато-жовтому кольору, для пюре журавлини та глоду – 597,7 і 590,0 нм відповідно. Чистота тону для яблучного пюре становить 65,6%, для пюре із журавлини та глоду, відповідно, – 77,8% (червоний колір) та 89,1% (помаранчевий колір). Домінуюча довжина хвилі зразків пюре в композиціях: для композиції пюре 1а дорівнює 610,8 нм, для композицій пюре 1б та 1в – 614,5 і 616,1 нм відповідно. Чистота тону в композиції пюре 1а становить 76,4%, для композицій пюре 1б та 1в, відповідно, – 70,7% та 78,1%, притаманний

червонуватого-поморанчевий колір. Домінуюча довжина зразків пасти в композиціях: для композиції пасти 1а дорівнює 610 нм із чистотою тону 77,6%; для композиції пасти 1б та 1в чистота тону становить 64,0% та 78,9% відповідно, характеризується червонувато-поморанчевим кольором. Чистота тону для сушеної порошкоподібної композиції 1а характеризує мінімальний внесок синювато-пурпурної складової світла в загальний колір – 34,7%, композиції 1б значення чистоти тону 34,8% відповідає візуальній оцінці щодо переваги червоного кольору. Для зразка 1в основною складовою за чистотою тону є 34,6%, що відповідає візуальній оцінці щодо переваги синювато-червоного кольору.

Порівняння кольорових характеристик багатокомпонентних композицій плодово-ягідних паст до та після ІЧ-сушіння за яскравістю й чистотою тону зразків указує на незначну зміну яскравості в межах 2–6%. Зменшення чистоти кольору майже вдвічі пояснюється усушуванням маси сировини та отриманням привабливого візуального кольору композицій для споживача. Згідно з результатами експертного оцінювання показників якості сушених багатокомпонентних композицій плодово-ягідних паст, отриманих у вальцьовій ІЧ-сушарці на основі ГПРЕНВТ за температури 45 °С і товщини шару сировини 1 мм визначено, що певну перевагу має напівфабрикат із рецептурним співвідношення компонентів: яблуко, журавлина, глід – 60:30:10, який отримав 49 балів від експертів.

Для спрощення визначення кольорових властивостей продуктів харчування розроблено метод цифрового аналізу кольору, а саме для плодово-ягідних композицій, який у цілому забезпечує мобільність та портативність аналізу з короткотривалою обробкою отриманих цифрових даних та одночасним перетворенням отриманих результатів у якісні кольорові параметри. Ефективність використання запропонованого методу доведено шляхом порівняння попередньо отриманих результатів спектроскопії кольороутворення та комп'ютерного аналізу цифрового фотознімка.

На основі безрефлекторного нагрівального елемента – ГПРЕНВТ – удосконалено систему обігріву роторного-плівкового апарата, призначеного для концентрування багатокомпонентних природних паст. Також розроблено три ІЧ-апарати безрефлекторного типу: вальцьову ІЧ-сушарку для сушіння попередньо концентрованих багатокомпонентних напівфабрикатів із безпосередньою подачею сировини нагнітаючим шнеком на рифлену робочу поверхню барабана за умови обдування її повітряним потоком та наявністю зони досушування й захисного екрана в нижній частині для запобігання

потраплянню сировини на випромінювач; ВЦ ІЧ-20 сушарку з вібраційним механізмом, що запобігає злипанню сировини в процесі сушіння, та спіральним теплообмінним пристроєм для використання вторинного повітря; універсальну ІЧ-сушарку природної сировини безперервної дії з можливістю одночасного сушіння декількох різновидів сировини в модульних сітчастих ємностях.

Запропоновано принципові схеми виробництва багатоконпонентних концентрованих і сушених плодово-ягідних напівфабрикатів на основі ІЧ-сушіння з використанням як нагрівального елемента ГПРЕНВТ. Першою схемою передбачається попереднє концентрування багатоконпонентної плодово-ягідної сировини в роторно-плівковому апараті з удосконаленою системою обігріву до вмісту 28–30% СР за температури 50...70 °С протягом 0,7–1 хв та подальшим її досушуванням у вальцьовій ІЧ-сушарці за температури 45...60 °С. Другою схемою передбачено проведення етапу сушіння попередньо нарізаної сировини в сушарці ВЦ ІЧ-20 із 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 $P = 0,85 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{кг}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єранкін О. О. Консолідація та глобалізація ринків продукції АПК України: оцінка та перспективи розвитку / О. О. Єранкін // АгроСвіт. – 2008. – № 23. – С. 14–21.
2. Тенденции и перспективы развития рынка плодоовощной продукции в Украине [Электронный ресурс] : Законодавство України. – Режим доступа : <http://zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : Інвестиційний портал. – Режим доступу : <https://inventure.com.ua/analytics/investments/investicionnyj-obzor-rynok-plodovoovoshnoj-produkcii-ukrainy>.
4. Про затвердження міжгалузевої комплексної програми «Здоров'я нації» на 2003–2011 рр. : Постанова КМУ від 27.02.2002 р. № 14. – К., 2007. – 9 с.
5. Єранкін О. О. Маркетинг в АПК України в умовах глобалізації : монографія / О.О. Єранкін. – К. : КНЕУ, 2009. – 419 с.
6. Перепечасенко В. Енергозберігаюча політика / В. Перепечасенко // Харчова і переробна промисловість. – 2001. – № 1. – С. 3–4.
7. Аграрний тиждень [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://a7d.com.ua/2012/04/27/page/2/>
8. Капустін В. Енергетична ефективність підприємств / В. Капустін // Харчова і переробна промисловість. – 1999. – № 1. – С. 10–11.
9. Умови зберігання плодово-ягідної продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://propozitsiya.com/?page=146&itemid=4372>
10. Кац З. А. Производство сушеных овощей, картофеля и плодов. / З. А. Кац. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 195 с.
11. Товароведение и переработка лекарственно-технического растительного сырья в БАД / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. В. Яницкий [и др.]. – Х., К. 2003. – 306 с.
12. Малюк Л. П. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологии полуфабрикатов многофункционального назначения из растительного сырья : дис. д-ра техн. наук : 05.18.16 / Малюк Людмила Петровна. – Х., 1995. – 406 с.
13. Тележенко Л. М. Наукові основи збереження біологічно активних речовин в технологіях переробки фруктів та овочів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.15 / Л. М. Тележенко. – Одеса, ОДАХТ, 2004. – 37 с.
14. Волончук С. К. Научные подходы повышения эффективности переработки растительного сырья / С. К. Волончук, Л. П. Шорникова,

Г. П. Филлиманчук // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 1. – С. 21.

15. Нестерина М. Ф. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / М. Ф. Нестерина, И. М. Скурихина. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 247 с.

16. Физико-химические основы пищевых производств / П. А. Ребиндер, А. В. Лыков, Г. И. Красовская [и др.]. – М. : Изд. МТИПП, 1946–1952. – 412 с.

17. Фазента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.webfazenda.ru/quince.html>.

18. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

19. Чорниця звичайна: ботанічна характеристика, хімічний склад, застосування та фармакологічні властивості [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ua.textreferat.com/referat-16071-2.html>

20. Бузина чорна – *Sambucus nigra* [Електронний ресурс] / Лікарські рослини – Режим доступу : <http://www.lekarstvennyerasteniya.info/lekarstvennye-rasteniya/buzina-chernaya-sambucus-nigra-l.html>.

21. Семенов Г. В. Сушка пищевого сырья / Г. В. Семенов, Г. И. Касьянов. – Ростов-на-Дону : МарТ, 2002. – 112 с.

22. Киселева Т. Ф. Технология сушки: Учебно-методический комплекс / Т. Ф. Киселева // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2007. – 117 с.

23. Бурич О. Сушка плодов и овощей : пер. с венг. / О. Бурич, Ф. Берки. – М. : Пищевая промышленность, 1978. – 275 с.

24. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А. С. Гинзбург. – М. : Пищевая промышленность 1973. – 528 с.

25. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 471 с.

26. Филоненко Г. К. Сушильные установки / Г. К. Филоненко, П. Д. Лебедев. – М. : Госэнергоиздат, 1976. – 345 с.

27. Погожих М. І. Технологія сушіння харчової сировини : навч. посібник / М. І. Погожих, В. О. Потапов, М. М. Цуркан. – Харків : ХДУХТ, 2009. – 240 с.

28. Потапов В. О. Кінетика сушки: аналіз і управління процесом : монографія / В. О. Потапов. – Харків : ХДУХТ, 2009. – 232 с.

29. Погорелов М. С. Оптимизация режимов инфракрасной сушки плодов и ягоды и ее оборудование : дис. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 / М. С. Погорелов. – Москва, 2007. – 121 с.
30. Якушенко Є. М. Підвищення енергоефективності процесу сушіння виноградних вичавок у масообмінному модулі з кондуктивним підведенням теплоти : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.18.12 / Є. М. Якушенко. – Харків, 2014. – 23 с.
31. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – 2-ге вид., допов. та виправл. – Харків : Світ книг, 2014. – 496 с.
32. Погожих Н. И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях : автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра техн. наук : спец. 05.18.12 / Н. И. Погожих. – Харьков, 2002. – 34 с.
33. Потапов В. О. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / В. О. Потапов, А. М. Поперечний, В. Г. Корнійчук. – Київ : Центр учбової літератури, 2012. – 312 с.
34. Снежкин Ю. Ф. Энергосбережение и интенсификация процесса сушки импульсным ИК-облучением / Ю. Ф. Снежкин, Л. А. Боряк, Д. С. Избасаров // Пром. теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 4–5. – С. 90–94.
35. Михайлова С. В. Використання мікрохвильової вакуумної обробки в процесах виробництва овочевих концентратів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.12 / С. В. Михайлова. – Харків, 2014. – 23 с.
36. Okmen Zinet Aytanga, Bayindirli A. Levent. Effect of microwave processing on water soluble vitamins. Kinetic parameters / Okmen Zinet Aytanga, Bayindirli A. Levent // Int. J. Food Prop. – 1999. – № 3. – P. 255–264.
37. Marc Regier. The Microwave Processing of Foods / Marc Regier, Helmar Schubert, Kai Knoerzer // Elsevier. – 2005. – 360 с.
38. Малахов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств : учеб. для вузов / Н. Н. Малахов, Ю. М. Плаксин, В. А. Ларин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Колос, 2005. – 760 с.
39. Кавецкий Г. Д. Технологические процессы и производства (пищевая промышленность) : учебник / Г. Д. Кавецкий, А. В. Воробьев ; под ред. Г. А. Гусевой. – М. : Колос, 2006. – 367 с.
40. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. – М. : Агропромиздат, 1989. – 215 с.
41. Кац З. А. Новые способы сушки овощей и фруктов. Обзор / З. А. Кац. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1975. – 50 с.

42. Agricultural and food science in Finland. International, peerreviewed, open access scientific journal [Electronic resource] / Agricultural and food science. – Available at : <http://www.afsci.fi>.

43. Алифанов О. М. Основы идентификации тепловых процессов и систем : учеб. пособие / О. М. Алифанов, П. Н. Вабищев, В. В. Михайлов. – М. : Логос, 2001. – 400 с.

44. Гришин М. А. Установки для сушки пищевых продуктов : справочник / М. А. Гришин, В. И. Атаназевич, Ю. Г. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 215 с.

45. Круз П. Основы инфракрасной техники / П. Круз, Л. Макглоулин, Р. Макквистан. – М. : Воениздат, 1964. – 464 с.

46. Погорелов М. С. Термообработка сельскохозяйственной продукции при использовании инфракрасных излучений / М. С. Погорелов // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. статей ученых ВСТИСП, посвященный 150-летию со дня рождения И. В. Мичурина. – М. : ВСТИСП 2005. – Т. XIII. – С. 130–135.

47. Хусаинов У. М. Сушка плодов и винограда с использованием аккумулярованной солнечной энергии / У. М. Хусаинов. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 39 с.

48. Федоров М. А. Промышленное хранение плодов / М. А. Федоров. – М. : Колос, 1981. – 184 с.

49. Zhongli Pan. Infrared Heating for Food and Agricultural Processing / Zhongli Pan, Griffiths Gregory // Atungulu CRC Press, 2011. – 300 с.

50. Киптелея Л. В. Технология пастообразного полуфабриката из плодово-ягодного сырья и его использование в производстве кулинарных изделий / Л. В. Киптелея, Н. А. Афукова, О. В. Загуменная // Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв : зб. наук. пр. – Х. ХДАТОХ, 2000. – Ч. 1. – С. 70–73.

51. Снежкін Ю. Ф. Тепломасообмінні процеси під час одержання картопиновмісних порошоків / Ю. Ф. Снежкін, Ж. О. Петрова ; Ін-т техн. теплофізики НАН України. – К. : Академперіодика, 2007. – 162 с.

52. Снежкін Ю. Ф. Безвідходна технологія отримання коротинновмісної пасти / Ю. Ф. Снежкін, Ж. О. Петрова, Т. О. Михайлик // Труды Международной научно-практической конференции школы-семинара «Повышение энергетической эффективности пищевых и химических производств». – Одесса, 2007.

53. УКРАГРОСУШКА (ОО «Укр Сушка») [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ik-agrosushka.com/infrakrasnye-shkafy/>

54. НПО «Империя металлов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://imperija.co.m/index.php?r=1.4.3>

55. «ИНДУКТОР-ИНДИГО» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://induktor-indigo.com.ua/?page_id=645
56. Промислові сушарки [Электронный ресурс] / ТОВ «Компанія «Технопром-Продукт». – Режим доступа : <http://www.tehnoprom.vn.ua/sysharka-prom.html>.
57. РОСС – Камеры и установки сушильные [Электронный ресурс] / ОАО «РОСС». – Режим доступа : <http://www.ross.com.ua/catalog/makaron/kamera.php>.
58. Система виробництва якісної сушні на базі універсальних енергоефективних сушарок: «Садочок» та «С-4Е» (СКРР–250) [Электронный ресурс] / ТОВ «Компанія «Технопром-Продукт». – Режим доступа : <http://www.tehnoprom.vn.ua/busines.html>.
59. Гришин М. А. Установки для сушки пищевых продуктов : справочник / М. А. Гришин, В. И. Атаназевич, Ю. Г. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 215 с.
60. Гришин М. А. Интенсификация сушки яблок и айвы / М. А. Гришин, Р. Ц. Ярославская // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1970. – № 11. – С. 34–35.
61. Rupert Hall A. Isaac Newton: Adventurer in Thought / Hall A. Rupert // Cambridge University Press. – 1996. – P. 67.
62. Панов В. А. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В. А. Панов. – 1-е изд. – Л. : Машиностроение, 1991. – С. 81.
63. Гинзбург А. С. Генераторы ИК-излучения для пищевой промышленности (обзор) / А. С. Гинзбург, Б. М. Ляховицкий. – М. : МТИИПП, 1971. – С. 4–10.
64. Электронный научно-методический комплекс «Облучение». Лекционный курс. Раздел 1, глава 8. Облучательные установки инфракрасного нагрева и особенности их расчета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://light.jino.ru/obluchenie/obluch/gl8.htm>.
65. Адрианов В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В. Н. Адрианов. – М. : Энергия, 1972. – 464 с.
66. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 320 с.
67. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / под ред. В. Н. Стабникова. – К. : Вища школа, 1982. – 199 с.
68. ТЕПЛОВ – производитель инфракрасных пленочных нагревательных элементов в Украине, странах Европы и СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://teplov.com.ua>

69. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением / А. Г. Блох – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1962. – 331 с.
70. Справочник по приборам инфракрасной техники / Л. З. Криксунов, В. А. Волков, В. К. Вялов [и др.] ; под ред. Л. З. Криксунова. – К. : Техника, 1980. – 232 с.
71. Нагреватели и электронагреватели любых видов и модификаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mimagreva.ru/contact.html>.
72. Трубчасті електронагрівальні елементи (ГЕН) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.electrosvit.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=135&Itemid=4&lang=ru
73. Инфракрасные нагреватели [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.symmetron.ru>
74. Керамічні випромінювачі [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.elcer.com.ua/infrakrasnye_nagrevateli/ir_ceramic/esr/
75. Инфракрасное тепловое оборудование, инжиниринг, технологи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pcstart.ru>
76. Инфракрасные нагревательные элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.infrared.com.ua>
77. ПЛЭН® – экономичная электрическая система отопления. Работает как солнце [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://estechology.ru/products/prod-dresva.html>
78. ПЛЭН – СУШИЛКА [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.venec-ess.ru/news/2012-07-06/novost-3>
79. ПЛЭН для сушки овощей и фруктов – основа плёночный электронагреватель ПЛЭН [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://esbplan.ru/produktsiya-na-osnove-plen/sushka-ovoshchej-i-frukto- plan.html>
80. ТеплоPLEN [Электронный ресурс] / Техническое описание. – Режим доступа : http://teploplen.com/plen_tehnicheskie_harakteristiki.html
81. Монокристалл – единственный производитель инфракрасных плёночных нагревательных элементов в Украине, странах Европы и СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://monocrystal.com.ua/index.php>
82. Пат. на винахід 106461 Україна, МПК А23N 12/08 В01D 1/00. ІЧ-сушарка для сушіння органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорюлько 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.

83. Статистическая обработка результатов экспериментов на микроЭВМ и программируемых микрокалькуляторах / А. А. Костылев, П. В. Миляев, Ю. Д. Дорский [и др.]. – Л. : Энергоатомиздат : Ленингр. отделение, 1991. – 304 с.

84. Айвозян С. А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей : справ. изд / С. А. Айвозян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статика, 1985. – 487 с.

85. Веденякин В. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / В. В. Веденякин. – М. : Колос, 1973. – 199 с.

86. Кокурин В. А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов / В. А. Кокурин // Украинский биохимический журнал. – 1975. – Т. 47, № 6. – С. 776–790.

87. Афафи А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / А. Афафи, С. Эйден. – М. : Мир, 1982. – 488 с.

88. Пат. на корисну модель 90104 Україна, МПК А23В 7/028 В01D 1/22. ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201314950 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с.

89. Пат. на винахід 106461 Україна, МПК А23N 12/08 В01D 1/00. ІЧ-сушарка для сушіння органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптела 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.

90. Зайченко Ю. П. Исследование операций / Ю. П. Звйченко. – Киев : Вища школа, 1988. – 552 с.

91. Завалий А. А. Теплофизические основы разработки устройств инфракрасной сушки термолабильных материалов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / спец. 05.14.06 / А. А. Завалий. – Симферополь, 2013. – 25 с.

92. Киптелая Л. В. Влияние размещения рефлектора в ИК-сушилке на процесс сушки плодово-ягодного сырья / Л. В. Киптелая, 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.

93. Загорулько А. Н. Влияние размещения и геометрии рефлектора на процесс сушки органического сырья / А. Н. Загорулько

// Східно-Європейський журнал передових технологій. Матеріали науково-практичної конференції «Наукові підсумки 2013 р.». – 2013. – С. 13–15.

94. Киптелея Л. В. ИК-сушка плодоягодного сырья / Л. В. Киптелея, 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.

95. 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.

96. Проничев С. А. Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна : дис. ... канд. техн. наук / С. А. Проничев. – М., 2007. – 161 с.

97. Авраменко В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов / В. Н. Авраменко, М. П. Есельсон, А. А. Заика. – М. : Пищевая промышленность, 1974. – С.45-50

98. Ильясов С. Г. Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 175 с.

99. Методы определения терморadiационных характеристик пищевых продуктов при различных условиях облучения / В. В. Красников, С. Г. Ильясов, Е. П. Тюрєв [и др.] // Электрофизические методы обработки пищевых продуктов : материалы Всесоюз. науч. конф. – Воронеж, 1974. – С. 107.

100. Брамсон М. А. Инфракрасное излучение нагретых тел / М. А. Брамсон. – М. : Наука, 1964. – 462 с.

101. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.

102. Лебедев П. Д. Теплофизические исследования процессов сушки инфракрасными лучами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / П. Д. Лебедев. – М., 1953. – 16 с.

103. ASABE. Professional and technical organization of members worldwide interested in engineering knowledge and technology for food and agriculture [Electronic resource] / ASABE. – Available at : <http://www.asabe.org>

104. Donna Kerr. Excel Senior High School: Food Technology / Donna Kerr, Sandra Wilson, 2004. – 156 с.

105. Пат. на корисну модель 90104 Україна, МПК А23В 7/028 В01D 1/22. ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини / Черєвко О. І.,

Кіптела Л. В., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201314950 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с.

106. Пат. на винахід 106461 Україна, МПК А23N 12/08 В01D 1/00. ІЧ-сушарка для сушіння органічної рослинної сировини / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько А. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № a201314949 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. – 5 с.

107. Контрольно-измерительные приборы ОВЕН [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.owen.ru/> ТРМ

108. Техноваги [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.technowagy.com.ua/uk/product/6>

109. 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. / НГУ «ХП». – Х. : НГУ «ХП», 2015. – № 52 (1162). – С. 78–82.

110. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов : монография / Ю. Ф. Снежкин, Л. А. Боряк, А. А. Хавин ; НАН Украины, Ин-т техн. теплофизики. – К. : Наук. думка, 2004. – 228 с.

111. Алтухов И. В. Энергосберегающая технология импульсной инфракрасной сушки сахаросодержащих корнеклубнеплодов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / спец. 05.20.02 / И. В. Алтухов. – Иркутск, 2015. – 23 с

112. Борхерт Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 278 с.

113. Киптелая Л. В. Компьютерное моделирование распределения теплового потока в ИК-сушилке / Л. В. Киптелая, С. Ю. Саенко, А. Н. Загорулько // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2014. – Вип. 45, Т. 3. – С. 89–93.

114. Завалий А. А. Компьютерное тепловое моделирование и анализ инфракрасных систем равномерного облучения плоских поверхностей / А. А. Завалий // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 1(88). – С. 5–11.

115. 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. – P. 44–46.

116. TRACEPRO [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lambdares.com/tracepro>

117. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини : монографія в 3 ч. Ч. 3. Підвищення ефективності теплового обладнання з інфрачервоним нагріванням / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, В. П. Плевако [та ін.]. – Харків : ХДУХТ, 2012. – 144 с.

118. Плевако В. П. Визначення форми рефлектора для рівномірного обігрівання пласкої поверхні / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Сучасні проблеми геометричного моделювання : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 20–23 жовтня. – Львів, 2003. – С. 191–194.

119. Тормосов Ю. М. Геометричне моделювання та оптимізація процесу теплової променевої обробки харчових продуктів : дис. д-ра техн. наук : 05.01.01 / Тормосов Ю. М. – К., 2004. – 339 с.

120. Завалий А. А. Влияние формы отражающих поверхностей на равномерность облучения продукта сушки в инфракрасной сушильной камере / А. А. Завалий, И. В. Янович // Харчова наука і технологія : наук-вироб. журн. – 2010. – № 4 (13). – С. 91–95.

121. Сорокова Н. М. Моделювання тепло- і масопереносу при зневодненні пористих тіл з метою оптимізації процесу сушіння : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / Н. М. Сорокова ; НАН України; Інститут технічної теплофізики. – К., 2004. – 20 с.

122. Дьяков И. Новые технологии обработки сырья / И. Дьяков, А. Орлов, В. Зоткин // Комбикормовая промышленность, 1988. – № 4. – С. 28–29.

123. Introduction to Radiative Heat Transfer. Radiative Heat Transfer. Modeling Heat Transfer : Fluent 6.0 manual // Help for Fluent 6.1 package. Fluent Inc. – 2001. – Vol. 11. – P. 9–10.

124. Порошки з овочів та фруктів / Ю. Снежкін, Л. Боряк [та ін.] // Зерно і хліб. – 2003. – № 2. – С. 38.

125. Киптелея Л. В. Научное обоснование процессов и оборудования производства пищевых полуфабрикатов из нетрадиционного плодоовощного сырья : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / спец. 05.18.12 / Л. В. Киптелея. – Харьков, 2005. – 25 с.

126. Загорулько О. Є. Розробка процесу та удосконалення обладнання для виробництва фруктових паст з використанням дикоплодної сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук / спец. 05.18.12 / О. Є. Загорулько. – Харків, 2003. – 18 с

127. Черевко О. І. Переробка дикорослої пряно-ароматичної рослинної сировини : монографія / О. І. Черевко, Ю. І. Єфремов, В. М. Михайлов. – Х. : ХДУХТ, 2007. – 230 с.

128. Пат. на корисну модель 124573 Україна, МПК В01D 1/22. Роторний випарник / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Ляшенко Б. В. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u 201711824; заявл. 04.12.2017 ; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7. – 5 с.

129. Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / Н. Н. Липатов. – М. : Экономика, 1987. – 272 с.

130. Прогрессивные процессы концентрирования нетрадиционного плодовоовощного сырья / А. И. Черевко, Л. В. Киптелая, В. М. Михайлов [та ін.]. – Х. : ХДУХТ, 2009. – 241 с.

131. Процеси виробництва багатокомпонентних паст із органічної сировини : монографія / О. І. Черевко [та ін.]. – Х. : ХДУХТ, 2015. – 167 с.

132. 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. – № u 201205599 ; заявл. 07.05.2012 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23. – 4 с.

133. Пат. на корисну модель 90048 Україна, МПК А23В 7/028, В01D 1/22. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодово-ягідних паст / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Шустов А. В., Товпига Д. А. ; заявник і патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201314422; заявл. 09.12.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с.

134. Пат. на корисну модель 105349 Україна, МПК В01D 1/22. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння плодоягідних паст / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Шустов А. В., Товпига Д. А. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201510162 ; заявл. 19.10.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 4 с.

135. Kotel vakuunnyi KVM [Electronic resource]. – Available at : http://www.agro-mash.ru/280111_kotel_vak_KVM.html

136. Деклараційний патент 53975 Україна, МКВ А 23N 12/04. Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, Н. О. Афукова (Україна). – № 20020429262, заявл. 11.04.02 ; опубл. 17.02.03. Бюл. 3.

137. Мачихин Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.

138. Junling Shi. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating / Junling Shi, Zhongli Pan, Tara H. McHugh, Delilah Wood, Edward Hirschberg, Don Olson // *LWT – Food Science and Technology* 41 (2008) 1962–1972. Available at : www.sciencedirect.com.

139. Пат. на корисну модель 83943 Україна, МПК G01N 30/00 A23L1/06. Спосіб визначення міцності багатоконпонентної структури рослинної пасти / Черевко О. І., Кіптела Л. В., Захаренко В. О., Загорулько А. М.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2013 02710; заявл. 04.03.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с.

140. Черевко А. И. Способ производства многокомпонентных порошкообразных полуфабрикатов / А. И. Черевко, Л. В. Киптелея, А. Е. Загорулько [та ін.] // *Первый независимый научный вестник*. – К., 2015. – № 1, Ч. 1. – С. 37–39.

141. Eitenmiller Ronald R. Vitamin analysis for the health and food sciences. – 2nd Edition. – CRC Press, 2002. – 675 p.

142. Improvement of a rotor film device for the production of highquality multicomponent natural pastes / Cherevko O., Mykhaylov V., Zagorulko A., Zahorulko A. // *Eastern-european journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 2, No 11 (92). – P. 11–17.

143. Color characteristics of dried three-component fruit and berry pastes / O. Cherevko, V. Mykhaylov, A. Zahorulko, A. Zahorulko, A. Borysova // *Food science and technology*. – 2018. – Vol. 12, Iss. 2. – P. 53–58.

144. Джадд Д. Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки. – М.: Мир, 1978. – 690 с.

145. Константинов М. М. Способ определения равномерности гидротермической обработки зерна крупяных культур / М. М. Константинов, А. А. Румянцев, Н. А. Борзов // *Известия Оренбургского гос. аграр. уни-та*. – 2012. – Вып. 35–1, т. 3. – С. 79–82.

146. Giorgianni E. Digital Color Management: Encoding Solutions / E. Giorgianni, T. Madden. – Addison Wesley. USA, 1998.

147. Ильясов С. Г. Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – М.: Пищевая пром.-сть, 1972. – 175 с.

148. Wyszecki G. Color science: Concepts and methods quantitative data and formulas / G. Wyszecki, W. Stiles. – John Wiley & Sons, New York, 1982.

149. Пат. на корисну модель 124046 Україна, МПК G01N 33/02, G01J 3/00. Спосіб визначення кольору харчових продуктів /

Черевко О. І., Михайлов В.М., Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Ляшенко Б. В., Черв'якова В. А., Коржавих Д. К.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2017 12264; заявл. 11.12.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5. – 4 с.

150. Льовшина Л. Д. Товарознавство плодоовочевих товарів, пряно-ароматичних рослин та прянощів : навч. посібник / Л. Д. Льовшина, В. М. Михайлов, О. В. М'ячиков. – К. : Ліра-К, 2010. – 388 с.

151. Исследование продовольственных товаров : учеб. пособие для товаровед. каф. торг. вузов / Л. А. Боровикова, А. И. Гримм, Л. А. Дорофеев [и др.]. – М. : Экономика, 1980. – 336 с.

152. 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.

153. Інтенсифікація апаратів для виробництва порошкоподібних напівфабрикатів із рослинної сировини / Л. В. Кіптела, 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.

154. Пат. на корисну модель 119166 Україна, МПК В01Д 1/22. Вальцова ІЧ-сушарка для сушіння природних паст (поре) у порошкоподібні напівфабрикати / Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Дяченко Н. В., Гончаренко В. А. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 201703857 ; заявл. 19.04.2017 ; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. – 5 с.

155. Пат. на корисну модель 103094 Україна, МПК А23В 7/00. Спосіб сушіння рослинної сировини в ІЧ-сушарці / Загорулько А. М., Кіптела Л. В., Загорулько О. Є. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 201413136 ; заявл. 08.12.2014 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23. – 4 с.

156. Пат. на корисну модель 108041 Україна, МПК Н05В 3/36, В01Д 1/22, G05D 23/19. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу / Загорулько А. М., Загорулько О. Є. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 201600827 заявл. 02.02.2016 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 5 с.

157. Пат. на корисну модель 123161 Україна, МПК А01Д 41/00, А23N 12/08, А23L 3/005, В01Д 1/00, F26В 9/00, А23В 7/00, А23В 9/00. Універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини / Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Дяченко Н. В., Гончаренко В. А. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2017 09431; заявл. 26.09.2017 ; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3. – 5 с.

Слово про Вчителя

Наукові результати, наведені в монографії, є останніми інноваційними розробками, отриманими під керівництвом професора кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв Харківського державного університету харчування та торгівлі Людмили Василівни Кіптелої, яка присвятила свій славетний життєвий шлях сучасному науковому напрямку «Наукове обґрунтування процесів та удосконалення обладнання для переробки органічної харчової сировини». Протягом багатолітньої науково-дослідної роботи вона підготувала багато фахівців у інженерно-механічній спеціалізації переробки харчових виробництв.

Результати плідної наполегливої праці проф. Л.В. Кіптелої викладено в низці підручників, навчальних посібників, монографій та інженерно-технічній науковій літературі, яка на сьогодні користується значним попитом під час підготовки спеціалістів для багатьох галузей харчової промисловості. Результати ґрунтовних інноваційних досліджень Людмила Василівна постійно публікувала у вітчизняних та закордонних виданнях, які є авторитетними та популярними в наукових колах, за що була неодноразово нагороджена різними відзнаками. У рамках наукової тематики працювала над розробкою навчально-наукового обладнання із сучасною автоматизованою системою керування. Маючи значні наукові досягнення, Л.В. Кіптела приділяла велику увагу освітньому процесу та протягом багатьох років мала глибоку повагу серед студентів.

Колектив кафедри завжди пам'ятатиме світлу людину, провідного наукового діяча, професора Людмилу Василівну Кіптелу та продовжуватиме її славетні традиції в науковій і педагогічній діяльності.

Наукове видання

ЧЕРЕВКО Олександр Іванович

КІПТЕЛА Людмила Василівна

МИХАЙЛОВ Валерій Михайлович

ЗАГОРУЛЬКО Андрій Миколайович

ЗАГОРУЛЬКО Олексій Євгенович

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕПЛОВІ АПАРАТИ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ
КОНЦЕНТРОВАНИХ І СУШЕНИХ
НАПІВФАБРИКАТІВ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ**

Монографія

Редактор Н.А. Кобилко

План 2018 р., поз. 28/__

Підп. до друку 5.11.2018. Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк офс.

Ум. друк. арк. 9,7. Тираж 350 прим.

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4417 від 10.10.2012 р.