

## УДОСКОНАЛЕННЯ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ СТВОРЕННЯ БЕЗРЕФЛЕКТОРНОЇ СУШАРКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Кіптела Л. В., Загорулько А. М., Загорулько О. Є., Ляшенко Б. В.

### 1. Вступ

Одним зі способів переробки рослинної сировини в сушені напівфабрикати є використання ІЧ-технології [1–3]. ІЧ-сушарки, які використовуються на сьогоднішній день [4], оснащені інерційними ІЧ-випромінювачами із високими температурами робочих поверхонь і фіксованими геометричними розмірами та рефлекторними блоками. Це збільшує їх металоємність та не завжди забезпечує рівномірний тепловий потік на приймальних поверхнях, що призводить до втрат її біологічно активних речовин (БАР) та зміни кольору сушеного напівфабрикату. Тому необхідно більш детально дослідити можливість використання сучасних малоінерційних випромінювачів, які не потребують використання рефлекторів та здатні забезпечувати рівномірність теплової енергії на приймачах. Отже, актуальним є дослідження шляхів удосконалення процесу ІЧ-сушіння напівфабрикатів із рослинної сировини та його апаратурного оформлення.

### 2. Об'єкт дослідження та його технічний аудит

*Об'єктом дослідження є вдосконалений гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу (ГПРЕНВТ) для створення безрефлекторної ІЧ-сушарки та рослинна сировина на прикладі яблука сорту Антонівка.*

До недоліків використання відомих ІЧ-випромінювачів (ТЕН, кварцова лампа та ін.) належать металоємність, інерційність, фіксовані геометричні розміри та висока температура робочих поверхонь. Саме це призводить до експлуатаційних ускладнень сушарного устаткування та значних втрат БАР в отримуваних сушених напівфабрикатах. Причинами цього, на думку авторів дослідження, є недостатня кількість ґрунтовних досліджень, пов'язаних із взаємодією спектральних властивостей ІЧ-випромінювача і сировини, що висушується, та сумніви щодо можливості використовувати більш сучасні випромінювачі.

Щоб підтвердити можливість використання вдосконаленого ГПРЕНВТ для створення безрефлекторного сушарного устаткування, проводився технологічний аудит, мета якого полягала у визначенні спектрально-оптичних властивостей рослинної сировини та ІЧ-випромінювачів, а також властивостей удосконаленого нагрівача (ГПРЕНВТ). Дослідження проводилися на кафедрі процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв Харківського державного університету харчування та торгівлі (м. Харків, Україна). При цьому використовувались сучасні методи та спектрально-оптичне обладнання Інституту монокристалів НАН України (м. Харків, Україна), а також спроектована вертикальна циліндрична (ВЦ) ІЧ-сушарка з вібраційним механізмом та теплообмінним пристроєм.

Проведені експериментальні дослідження за об'єктом засвідчили, що у вдосконаленого ГПРЕНВТ низька металоємність. Крім того, випромінювач легко монтується, має малу інерційність, низьку температуру робочої поверхні (45...85 °С), прийнятну довжину ІЧ-хвилі для проведення процесів сушіння рослинної сировини. Випромінювач здатен повторювати будь-яку геометричну форму робочої камери апаратів без використання рефлекторних блоків.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – інтенсифікація процесу ІЧ-сушіння рослинної сировини та його апаратурне оформлення шляхом використання вдосконаленого ІЧ-випромінювача. Це забезпечить зменшення металоємності устаткування, рівномірність розподілу теплових потоків на приймальних поверхнях та підвищення якості отримуваних напівфабрикатів

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Визначити спектрально-оптичні властивості рослинної сировини.
2. Визначити властивості вдосконаленого ГПРЕНВТ.
3. Розробити безрефлекторну ВЦ ІЧ-сушарку на основі ГПРЕНВТ.

### **4. Дослідження можливих рішень проблеми**

ІЧ-сушарки для переробки рослинної сировини, які сьогодні використовуються, характеризуються тривалістю термічної обробки, нерівномірністю розподілу теплових потоків на приймальних поверхнях. При цьому значна їх кількість характеризується відсутністю енергоощадних властивостей, що призводить до підвищення енерговитрат, зниження якості готових напівфабрикатів та підвищення їх ціни [1–4].

Одним із основних напрямів підвищення ефективності виробництв є збереження енергоресурсів під час проведення технологічних процесів сушіння на наявному обладнанні за рахунок його модернізації або створення принципово нового устаткування.

До основних недоліків наявного устаткування належать [4]:

- низька рівномірність 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 «рослинна сировина – ІЧ-випромінювач»;
- незначне енергозбереження.

Зазначені недоліки належать лише до конструктивно-апаратурних недоопрацювань, що впливають на якість сушіння рослинних напівфабрикатів. Тому виникає потреба в використанні сучасних низькометалевих ІЧ-випромінювачів [5] з чіткою динамікою роботи та низькою температурою робочої поверхні (рис. 1). Одним із різновидів таких ІЧ-випромінювачів є ГПРЕНВТ, який відрізняється простотою монтування, низькою металоємністю, інерційністю та простотою автоматизації, легкістю конструкції випромінювача, низькою енергоємністю та невисокою температурою робочої поверхні (40...85 °С). Для поперед-

нього визначення ефективності ГПРЕНВТ здійсимо порівняння його з наявними ІЧ-випромінювачами (табл. 1) [5–10].



**Рис. 1.** Фото сучасного ІЧ-випромінювача фірми «Монокристал» (Україна)

**Таблиця 1**

Порівняльна характеристики сучасних ІЧ-випромінювачів відповідно до зазначених технічних параметрів

ІЧ-випромінювач	Технічні параметри та можливість ремонту	Геометрична форма, металоємність та інерційність ІЧ-випромінювача
ТЕН	від 0,5...3 кВт, $t_{\max} = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ККД = 0,95, $\lambda = 3\text{ мкм}$ , $P_{\text{потуж.}} = 2,2\text{ Вт/см}^2$ , $\tau_{\text{роб.}} = 10000\text{ год}$ , ремонту не підлягають	фіксовані геометричні форми та розміри, висока температура робочої поверхні, інерційність, необхідність використання рефлекторів, що призводить до збільшення металоємності
Трубчаста кварцова лампа	від 1...2,5 кВт, $t_{\max} = 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ККД = 0,92, $\lambda = 1,3...3\text{ мкм}$ , $P_{\text{потуж.}} = 2\text{ Вт/см}^2$ , $\tau_{\text{роб.}} = 8000\text{ год}$ , ремонту не підлягають	фіксовані геометричні форми та розміри, високі температури робочих поверхонь, інерційність та незначна металоємність за рахунок використання рефлекторного блока
Керамічний електронагрівач	від 1...2,8 кВт, $t_{\max} = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ККД = 0,93, $\lambda = 1,2...3\text{ мкм}$ , $P_{\text{потуж.}} = 2,1\text{ Вт/см}^2$ , $\tau_{\text{роб.}} = 9000\text{ год}$ , підлягають ремонту	фіксовані геометричні форми, висока температура робочої поверхні, інерційність, потреба використання рефлекторів та збільшення металоємності
Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу (ГПРЕНВТ)	від 0,100...0,480 кВт, $t_{\max} = 40...85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ККД = 0,98, $\epsilon = 0,96$ , $\lambda = 3...15\text{ мкм}$ , $P_{\text{потуж.}} = 35...85\text{ Вт/м}^2$ , $\tau_{\text{роб.}} = 15000\text{ год}$ , підлягають ремонту	гнучкі геометричні форми та достатньо невисока температура робочих поверхонь, що забезпечує малу інерційність, простоту монтування та автоматизації, без використання рефлекторів

Аналіз отриманих порівняльних параметрів ІЧ-випромінювачів, наведених у табл. 1, зумовлює необхідність детальних досліджень використання

ГПРЕНВТ під час проектування сучасних безрефлекторних ІЧ-сушарок. Слід відзначити, що недоліком наявних ГПРЕНВТ за умов їх використання в ІЧ-сушарках є можливість потрапляння паровмісної складової у місця з'єднання з електромережею та невисока механічна міцність.

Запропоновано удосконалити ГПРЕНВТ шляхом напилення резистивного елемента на основі струмопровідної ніхромової пасти на гнучку електроізоляційну плівку з додатковим покриттям зверху та знизу шарами гнучкої електроізоляційної плівки. Також ГПРЕНВТ забезпечений відведеннями для підключення до електромережі.

Інфрачервоні сушильні системи [11] є популярними з точки зору значного тепло- і масообміну. За допомогою інфрачервоної сушарки можна здійснити швидке нагрівання за короткий проміжок часу в порівнянні з іншими методами сушіння. Більшість сушарок рослинної сировини мають свої недоліки, пов'язані з конструктивними параметрами (металоемність, енерговитратою). Найпростішим різновидом ІЧ-сушарки є сонячна сушарка [12], яка складалася з сонячного підігрівача повітря і сушильної камері. Використання цього типу сушарки зменшує тривалість сушіння та забезпечує якісну продукцію, але її ефективність залежить від тривалості сонячного дня.

Наприклад в комбінованій сушарці [13] з електромагнітним випромінювання та гарячим повітря значна кількість енергії витрачається не лише на сушіння сировини, а й на нагрів гарячого повітря. Досить перспективним для фермерських господарств України є промислова сушарка [14] розташована у вантажних автомобілях, що забезпечить значною мірою зменшити витрати на процес сушіння.

Інфрачервона переробка продуктів харчування в подальшому набиратиме популярність в порівнянні зі звичайними способами обробками. Оскільки в порівнянні з традиційною обробкою має рівномірне нагрівання з незначною тривалістю та мінімальні втрати якісних властивостей сировини. Компактну конструкцію обладнання, значну енерго- та металоекономічність [15].

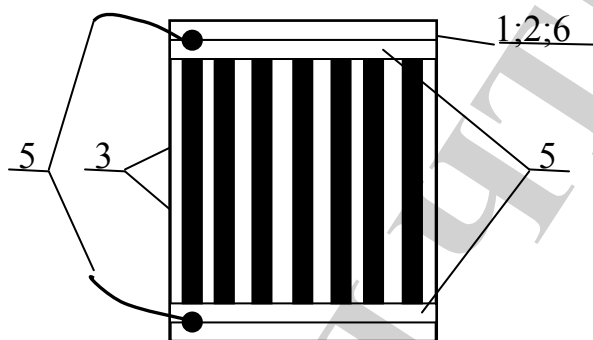
## **5. Методи досліджень**

Дослідження ефективності використання вдосконаленого ГПРЕНВТ здійснювали на базі попередньо спроектованої моделі ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом та теплообмінним пристроєм [16]. Для визначення властивостей сучасних ІЧ-випромінювачів використовували систему автоматичного управління (САУ) у реальному часі за допомогою контрольно-вимірювального пристрою ТРМ101 (Україна) [17].

Визначення спектральної складової взаємодії ІЧ-випромінювача з плодово-ягідною сировиною здійснювали за допомогою спектрометра ОМЕ Elman (Росія) на прикладі яблучної сировини для сорту Антонівка з початковою вологістю 86 %. 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 використовують спеціальну таблетку – калієву сіль бромоводневої кислоти (KBr).

## 6. Результати досліджень

Удосконалений ГПРЕНВТ (рис. 2) складається з гнучкої електроізоляційної плівки 1, на поверхню якої наноситься резистивний елемент на основі струмопровідної ніхромової пасти. У вигляді послідовно з'єднаних прямокутних смуг 3, які розташовані перпендикулярно до шин 4, забезпечених відведеннями 5 для підключення до електромережі та додатково покриті зверху та знизу шарами гнучкої електроізоляційної плівки 2 і 6. Шари гнучкої електроізоляційної плівки 1, 2 та 6 повторюють геометричну форму резистивного елемента та з'єднані ламінуванням, що забезпечує високу механічну міцність та електробезпеку.



**Рис. 2.** Принципова схема вдосконаленого гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу: 1, 2, 6 – гнучка електроізоляційна плівка; 3 – ніхромові резистивні прямокутні смуги; 4 – струмопровідні мідні шини; 5 – відведення з шин (4)

Під час підключення ГПРЕНВТ до електромережі за допомогою відведень 5, з'єднаних із шинами 4, струм надходить до послідовно з'єднаних прямокутних смуг із резистивного елемента на основі струмопровідної ніхромовою пастою 3. За рахунок опору елемента (3) здійснюється процес рівномірного випромінювання в значних довжинах ІЧ-хвиль всією ізотермічною поверхнею електронагрівача. При цьому резистивний елемент розташований на гнучкій електроізоляційній плівці 1, яка додатково покрита зверху та знизу шарами 2 і 6 з того ж електроізоляційного матеріалу [18].

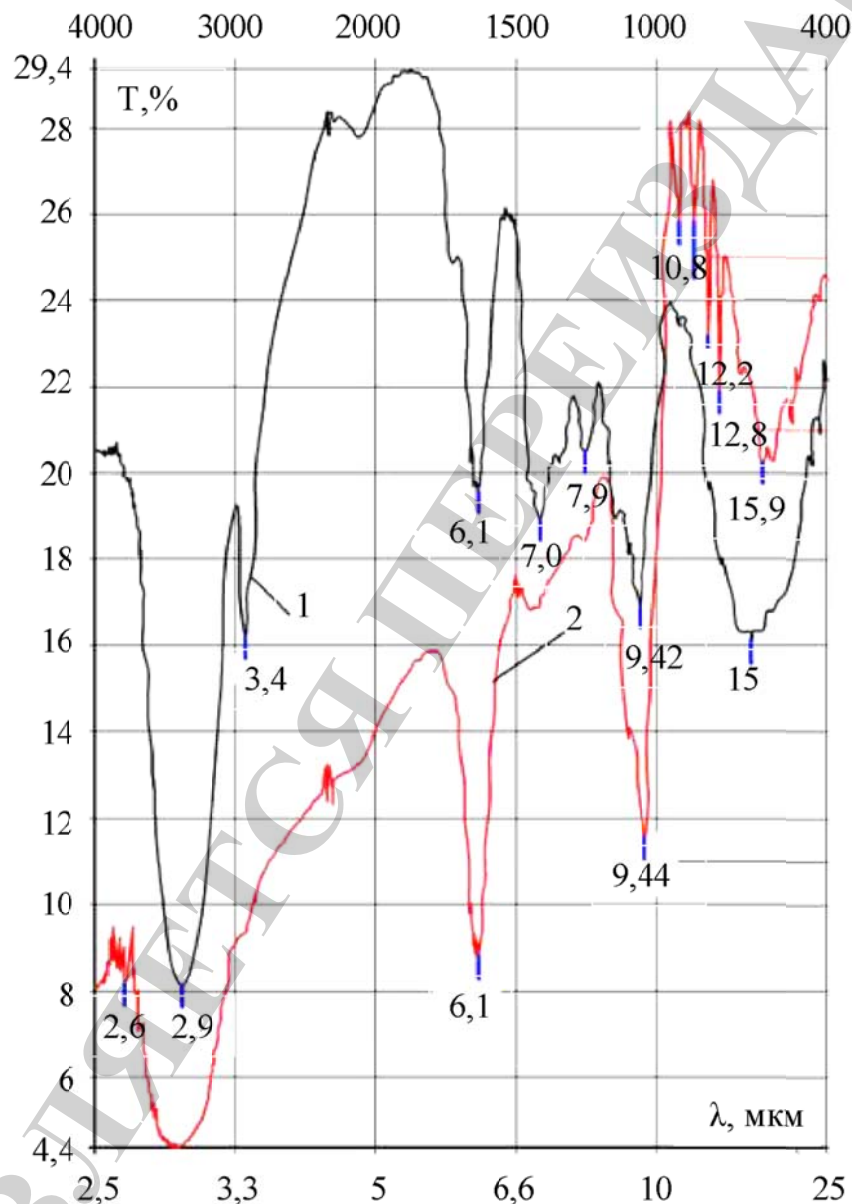
За рахунок цього забезпечується тривалий термін використання екологічно чистого ГПРЕНВТ, який не спалює кисень та цілком придатний для використання в сушарних шафах для сушіння рослинної сировини. Наявність декількох електроізоляційних шарів підвищує його механічну міцність та електробезпеку.

Технічним результатом вдосконалення ГПРЕНВТ є підвищення електробезпеки, надійності, механічної міцності, вологостійкості, а також досягнення екологічності в процесі експлуатації ГПРЕНВТ, що сприяє його використанню в сушарному безрефлекторному обладнанні.

Для визначення ефективності використання вдосконаленого випромінювача типу ГПРЕНВТ для створення сушарного устаткування здійснені спектрально-оптичні дослідження за допомогою спектрометра OME Elman на базі Інституту монокристалів НАН України (м. Харків, Україна). Отримані залежності

коефіцієнта пропускання яблучної сировини для сорту Антонівка з початковою вологістю 86 % залежно від зміни довжини ІЧ-хвилі в області спектра (рис. 3). Яблучна сировина, як і більшість рослинної сировини, має чітко виражену поглинальну здатність ІЧ-випромінювання в широких діапазонах хвиль, що забезпечується значним вмістом рідинної складової.

У результаті було визначено чітко виражені чотири інтенсивні ІЧ-області, а саме: 2,5...3, 6, 9 та 12...15 мкм, – які є прийнятними для проведення процесів сушіння (рис. 3).



**Рис. 3.** Інтерферограма пропускання яблучної сировини «Антонівка» отримана за допомогою спектрометра OME Elman:

1 – сира яблучна сировина; 2 – сушена яблучна сировина

Наявні ІЧ-випромінювачі (ТЕНи, трубчасті кварцови лампи, керамічні електронагрівачі) відповідно до табл. 1 мають високі температурні параметри

робочих поверхонь із високим діапазоном температур та інерційністю. Це ускладнює їх використання для сушіння рослинної сировини [2–6].

Враховуючи аналітичні дані (табл. 1), можна зробити висновок, що зазначені електронагрівачі не здатні повним обсягом виконувати вимоги процесів сушіння рослинної сировини. За рахунок високої металоємності, фіксованих геометричних розмірів, високої температури робочої поверхні. Робота ТЕНів, трубчастих кварцових ламп та керамічних електронагрівачів не відповідає конструкторським умовам під час використання їх в циклічних режимах (вмикання/вимикання), що призведе до виходу їх із ладу, на відміну від параметрів вдосконаленого ГПРЕНВТ.

Для визначення інерційності та динаміки роботи відомих ІЧ-випромінювачів використовували систему автоматичного управління (САУ) у реальному часі за допомогою контрольно-вимірювального пристрою ТРМ101 [12]. Та попередньо встановленої температури – 60 °С, яка відповідає максимально можливому температурному параметру під час сушіння рослинної сировини для збереження БАР [1].

На основі отриманих даних можна зробити такі висновки, 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;

– трубчаста 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 врахування інерції) становить  $\tau = 100$  с;

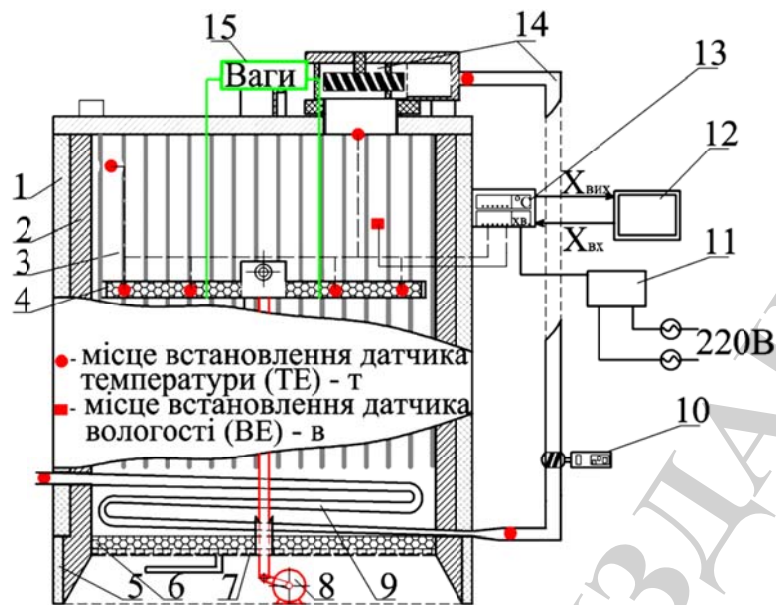
– керамічний електронагрівач (С) має високу інерційність за температури 60 °С із тривалістю нагрівання  $\tau = 68$  с, а вихід на постійно рівномірну температуру робочої поверхні (без врахування інерції) становить  $\tau' = 94$  с;

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

Аналіз режимів нагрівання ІЧ-випромінювачів підтверджує чітку динаміку управління в циклічному режимі саме у вдосконаленого ГПРЕНВТ. Це забезпечить економію електроенергії за рахунок низької металоємності, високий ступінь автоматизації устаткування та збереження БАР.

Також на основі удосконаленого ГПРЕНВТ розроблена експериментальна ВЦ ІЧ-сушарка з вібраційним механізмом та теплообмінним пристроєм (рис. 4).



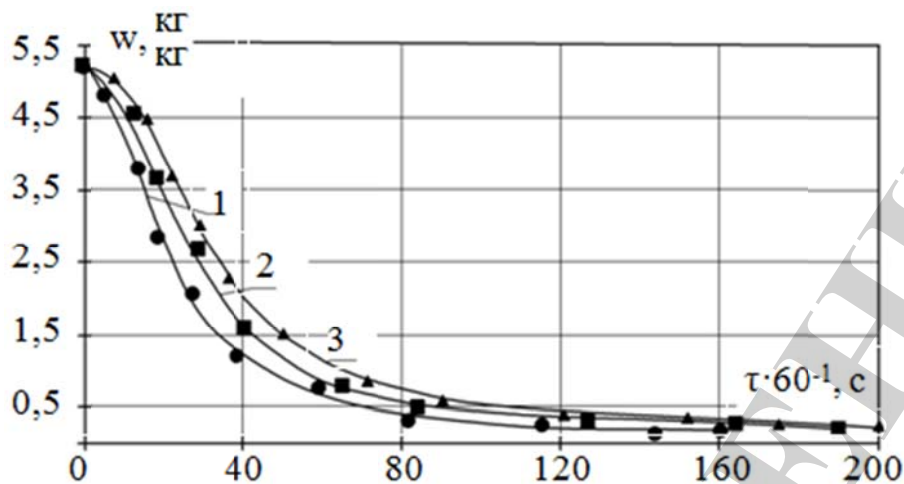


**Рис. 4.** Принципова схема експериментальної моделі вертикальної циліндричної ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом та теплообмінним пристроєм:  
 1 – робоча камера; 2 – теплоізолятор; 3 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу; 4 – сітчастий піддон;  
 5 – стійки; 6 – розподільча решітка; 7 – регулююча засувка; 8 – вібраційний механізм; 9 – теплообмінний спіральний пристрій; 10 – анемометр;  
 11 – лічильник електроенергії; 12 – персональний комп’ютер (ПК);  
 13 – вимірювальний регулятор ТРМ101; 14 – витяжний вентилятор, що з’єднаний з теплоізольованим трубопроводом; 15 – ваги

Вібраційний механізм запобігає злипанню рослинної сировини та забезпечує її перемішування під час теплової обробки, що дозволяє визначити вплив вібрації на технологічний процес сушіння. А теплообмінний пристрій підвищує енергоефективність процесу за рахунок використання відпрацьованого повітря з метою підігрівання холодного повітря на вході до робочої камери апарату.

Для підтвердження ефективності використання ГПРЕНВТ для сушіння рослинної сировини на прикладі яблучної сировини Антонівка було порівняно відомі ІЧ-випромінювачі, за допомогою експериментально отриманої кінетики вологовмісту сировини (рис. 5).





**Рис. 5.** Кінетика вологовмісту яблука сорту Антонівка: 1 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу; 2 – лінійна кварцова лампа; 3 – трубчастий електронагрівач

Найменша тривалість теплового процесу зі збереженням БАР та природного кольору спостерігається при використанні удосконаленого ГПРЕНВТ та тривалістю процесу  $160 \text{ с}^{-1}$ . Позитивна тенденція використання удосконаленого ГПРЕНВТ спостерігалась й під час інших експериментальних досліджень з використанням моркви, кизилу, аронії, груши та пряно-ароматичної сировини. Це підтверджує попередні теоретично-практичні висновки щодо ефективності його застосування.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* Серед переваг цього дослідження необхідно відзначити результати, які підтверджують можливість використання вдосконаленого ГПРЕНВТ для створення безрефлекторних ІЧ-сушарок з метою отримання сушених напівфабрикатів рослинного походження. Використання запропонованої розробки дозволить знизити металоємність апаратів, забезпечить ефективний діапазон термічної обробки рослинної сировини зі збереженням БАР та їх високої якості.

*Weaknesses.* Основний недолік дослідження полягає в тому, що під час виробництва вдосконаленого ГПРЕНВТ вакуумне наплення резистивного шару необхідно здійснювати в декілька етапів. Спочатку нанести шар на електроізоляційну плівку з монтуванням відведень на мідних шинах для підключення до електричної мережі, а потім ламінувати двома шарами додаткової електроізоляції, що забезпечує більшу міцність нагрівача. Це призводить до незначного подорожчання технології виробництва випромінювача, але при цьому його позитивні властивості ліквідують цей недолік.

*Opportunities.* Додаткові можливості, які забезпечують досягнення мети дослідження полягають в імовірних зовнішніх чинниках, що пов'язані з уже наявним сушарним устаткуванням, яке експлуатується в країнах Східної Європи та України («Садочок», «Універсал – СД-4», «Уран-70»). У більшості сушарного устаткування використовуються інерційні, металоємні ІЧ-випромінювачі з високими температурами робочих поверхонь, які переважно є застарілими фізично та морально. Тому необхідно впроваджувати розроблене або вдосконалене

не сушарне устаткування на основі принципово нових чи вдосконалених ІЧ-випромінювачів. Це забезпечить ефективність проведення технологічних процесів переробки рослинної сировини зі збереженням БАР, а також зменшить вартість експлуатації спроектованої ВЦ ІЧ-сушарки з вібраційним механізмом та теплообмінним спіральним пристроєм.

*Threats.* Складність упровадження отриманих експериментально-практичних результатів досліджень пов'язана з двома основними чинниками. Перший – умови менеджменту переробних виробництв та фермерських господарств, що експлуатують спроектоване сушарне устаткування на основі удосконаленого ГПРЕНВТ. Зокрема, вклад додаткових коштів на придбання необхідного обладнання та відсутність гарантованого результату від упровадження є стримуючими чинниками для керівників підприємств. При цьому позиція осіб, котрі приймають рішення, зрозуміла і часто виправдана. Адже неправильно підібране допоміжне технологічне обладнання і режимні параметри можуть не забезпечити очікуваний позитивний результат. Другий – ринок сучасного сушильного обладнання, що пропонують світові компанії-лідери [19, 20]. При цьому слід зазначити, що вкладення коштів у придбання установок нового типу є більш доцільним, ніж модернізація фізично застарілих.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів дослідження дозволяє визначити основні напрями діяльності для успішного виконання поставленої мети, а саме розробки сучасних безрефлекторних ІЧ-сушарок на основі вдосконаленого ГПРЕНВТ. Це забезпечить підвищення енергоефективності сушильного обладнання та зменшення металовитрат при їх виробництві.

## **8. Висновки**

1. Визначено спектрально-оптичні властивості яблука сорту Антонівка, а саме прийнятні ІЧ-області його поглинаючої здатності (2, 5...3, 6, 9 та 12...15 мкм). Це підтверджує ефективність використання ГПРЕНВТ під час сушіння рослинної сировини.

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

3. Розроблена безрефлекторна ВЦ ІЧ-сушарка з вібраційним механізмом та теплообмінним пристроєм. Удосконалений ГПРЕНВТ повторює геометричну форму робочої камери апарата, забезпечуючи зменшення геометричних розмірів та простоти конструкції апарата. Відповідно до експериментально отриманої кінетики вологовмісту для яблука Антонівка забезпечується найменша тривалість теплової обробки 160 с<sup>-1</sup> зі збереженням БАР та природного кольору.

## **Література**

1. Kiseleva, T. F. Tehnologiiia sushki [Text]: Educational-methodical complex / T. F. Kiseleva. – Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 2007. – 117 p.
2. Zavaliy, A. A. Sravnitel'naia otsenka energeticheskikh ztrat pri sushke produktov pitaniia infrakrasnym i konvektivnym sposobami v ustroistvah kamernogo

tipa [Text] / A. A. Zavaliy, I. V. Yanovich, L. A. Lago // Food science and technology. – 2010. – № 3. – P. 128–132.

3. Snezhkin, Yu. F. Energoberegaiushchie teplotehnologii proizvodstva pishchevyykh poroshkov iz vtorichnykh syr'evykh resursov [Text]: Monograph / Yu. F. Snezhkin, L. A. Boriak, A. A. Havin; Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine. – Kyiv: Naukova dumka, 2004. – 228 p.

4. Promyslovi susharki [Electronic resource] // TOV «Kompaniia «Tekhnoprom-Produkt». – Available at: \www/URL: <http://tehnoprom.vn.ua/ua/>

5. Monocrystal. Heating systems [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://monocrystal.com.ua/index.php>

6. Cherevko, A. I. Progressivnye protsessy kontsentrivaniia netraditsionnogo ploovoshchnogo syr'ia [Text]: Monograph / A. I. Cherevko, L. V. Kiptelaia, V. M. Mihailov, A. E. Zagorulko. – Kharkiv: KhSUFTT, 2009. – 241 p.

7. Ginzburg, A. S. Generatory IK-izlucheniia dlia pishchevoi promyshlennosti (obzor) [Text] / A. S. Ginzburg, B. M. Liahovitskii. – Moscow: TsNIITEIleg-pishchemash, 1971. – 71 p.

8. Karpov, V. N. Energoberezhenie v opticheskikh elektrotekhnologiiah APK [Text] / V. N. Karpov, S. A. Rakut'ko. – St. Petersburg: SPbGAU, 2009. – 100 p.

9. Sabadash, S. M. Doslidzhennia protsesu sushinnia kharchovykh produktiv u psevdozridzhenomu shari [Text] / S. M. Sabadash, O. R. Yakuba, V. B. Tarelynyk // Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli. – 2008. – Vol. 2 (8). – P. 296–303.

10. Kasatkin, V. V. Sushka termolabil'nykh materialov na ustanovkakh nepreryvnogo deistviia [Text] / V. V. Kasatkin, I. Sh. Shumilova // Pishchevaia promyshlennost'. – 2006. – № 10. – P. 12–13.

11. Aktaş, M. Analysis of drying of melon in a solar-heat recovery assisted infrared dryer [Text] / M. Aktaş, S. Şevik, A. Amini, A. Khanlari // Solar Energy. – 2016. – Vol. 137. – P. 500–515. doi:10.1016/j.solener.2016.08.036

12. Musembi, M. N. Design and Analysis of Solar Dryer for Mid-Latitude Region [Text] / M. N. Musembi, K. S. Kiptoo, N. Yuichi // Energy Procedia. – 2016. – Vol. 100. – P. 98–110. doi:10.1016/j.egypro.2016.10.145

13. Hebbar, H. U. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables [Text] / H. U. Hebbar, K. H. Vishwanathan, M. N. Ramesh // Journal of Food Engineering. – 2004. – Vol. 65, № 4. – P. 557–563. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.02.020

14. Kiranoudis, C. T. Design of tray dryers for food dehydration [Text] / C. T. Kiranoudis, Z. B. Maroulis, D. Marinos-Kouris, M. Tsamparlis // Journal of Food Engineering. – 1997. – Vol. 32, № 3. – P. 269–291. doi:10.1016/s0260-8774(97)00010-1

15. Pan, Z. Infrared Processing of Foods [Text] / Z. Pan, C. Venkitasamy, X. Li // Reference Module in Food Science. – Elsevier BV, 2016. – 12 p. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.03105-x

16. ICh-susharka dlia sushinnia orhanichnoi roslynnoi syrovyny [Electronic resource]: Patent UA 106461 C2, MPK A23N 12/08 V01D 1/00 / Cherevko O. I.,

Kiptela L. V.; assignee: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. – № a201314949; filed 20.12.2013; published 26.08.2014, Bull. № 16. – 5 p. – Available at: \www/URL: <http://uapatents.com/6-106461-ich-susharka-dlya-sushinnya-organichno-roslinno-sirovini.html>

17. OWEN LLC [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.owen.ru/en>

18. Hnuchkyi plivkovyi rezystyvnyi elektronahrivach vyprominiuiuchoho typu [Electronic resource]: Patent UA 108041 U, MPK G05D 23/19, B01D 1/22, H05B 3/36 / Zagorulko A. M., Zagorulko O. Ye.; assignee: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. – № u201600827; filed 02.02.2016; published 24.06.2016, Bull. № 12. – 4 p. – Available at: \www/URL: <http://uapatents.com/5-108041-gnuchkijj-plivkovijj-rezistivnijj-elektronagrivach-viprominyuyuchogo-tipu.html>

19. Oborudovanie [Electronic resource] // Royal Walnuts. – Available at: \www/URL: <http://www.royal-walnuts.com.ua/oborudovanie>

20. EL-A VERFAHRENSTECHNIK GMBH [Electronic resource] // EUROPAGES. – Available at: \www/URL: <http://www.europages.com.ru/ELA-VERFAHRENSTECHNIK-GMBH/DEU287468-00101.html>