

5. Развитие научно-технических решений в медицине: учеб. пособие / В.Н. Канныков, Н.Г. Терегулов, В.Ф. Винярский, В.В. Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.

УДК 664.83.047.8

Поперечний А.М., д-р техн. наук, проф.,

Жданов І.В., Османова Ю.В., кандидати техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

СУШІННЯ РОСЛИННОЇ ПАСТОПОДІБНОЇ СИРОВИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІАЦІЙНОГО ТА КОМБІНОВАНОГО РАДІАЦІЙНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПІДВЕДЕННЯ

У статті наведено експериментальні дані з сушіння пастоподібної картоплі за радіаційного та комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення. Проаналізовано вплив режимних параметрів на якість продукції.

Ключові слова: *пастоподібна сировина, радіаційне теплопідведення, картопля, сушіння.*

Постановка проблеми і її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями. Немало харчових продуктів рослинного походження, зокрема картоплю, кизил, яблука [1-3] тощо, висушують у пастоподібному вигляді. У промислових масштабах сушіння пастоподібної сировини здійснюється декількома способами.

Одним з найбільш розповсюджених є кондуктивний спосіб сушіння на вальцьових атмосферних чи вакуумних сушарках. Він передбачає нанесення продукту тонкою плівкою на металеву циліндричну поверхню обертового барабана, яка підігрівається парою чи електричними нагрівачами. Завдяки тонкому шару продукту та інтенсивному теплопідведенню тривалість сушіння становить декілька хвилин, залежно від властивостей продукту. Висушений продукт у вигляді пластівців чи стрічки знімається з барабана за допомогою скребкового пристрою. Вакуумні вальцьові сушарки відрізняються від відповідних атмосферних сушарок головним чином герметичним кожухом і допоміжним обладнанням, яке необхідне для роботи під час розрядження приладів (сепаратор, конденсатор, вакуум-насос). Перевагою їх у порівнянні з атмосферними сушарками є інтенсивне видалення вологи за низьких температур, що важливо під час сушіння термолабільних продуктів, чистота готового продукту, незалежність процесу сушіння від атмосферних умов тощо. До переваг вальцьових сушарок слід віднести: безперервне сушіння за досить високої напруги поверхні нагрівання (до $70 \text{ кг/м}^2\text{ч}$); можливість сушіння продуктів, чутливих до дії високих температур; економічність сушіння в порівнянні з конвективним способом, обумовлена малими втратами теплоти з відпрацьованим повітрям. Однак ці сушарки мають і низку недоліків: використання пари як теплоносія; порівняно висока вологість висушеного продукту; можливе перегрівання продукту; непродуктивні втрати енергії для нагрівання вільної поверхні барабана.

Частково ці недоліки усунуті авторами [4], які запропонували нову конструкцію завантажувального пристрою та скребкового ножа і встановили вентилятор для охолодження поверхні барабана. Для забезпечення потрібної вологості готового продукту вальцьові сушарки комбінуються в одному агрегаті з конвеєрними або барабанними.

Широке розповсюдження також отримав конвективний спосіб сушіння пастоподібних продуктів, який реалізований на конвеєрних, вихрових і розпилювальних сушарках, а також сушарках з псевдозрідженим та віброкиплячим шаром [1; 2]. Перед сушінням на конвеєрних сушарках з пастоподібного продукту формують циліндричні гранули (у виробництві картопляних гранул – діаметр до 3 мм, довжина до 30 мм). Недоліком цих сушарок є громіздка конструкція, незначна продуктивність, неоднорідний за якістю продукт та великі втрати теплоти з відпрацьованим повітрям.

Недоліки конвеєрної сушарки частково усунуті в експериментальній сушарці з псевдозрідженим шаром [5], в якій сушіння сформованої у циліндричні гранули (діаметр 3 мм, довжина 3-5 мм) пастоподібної картоплі відбувалося у трьох зонах з різними параметрами гарячого повітря: у першій зоні до 150°C, у другій – до 130°C, у третій – до 120°C. Завдяки перевагам псевдозрідженого шару в порівнянні з конвеєрними сушарками вдалося зменшити енерговитрати в 1,8 разу, робочу площину для сушарки – у 4,3 разу, пришвидшити тривалість сушіння у 15 разів, підвищити якість готового продукту завдяки більш рівномірній тепловій обробці. Слід також зазначити, що для усунення налипання продукту на стінки сушарки їхня внутрішня поверхня вкрита плівкою з фторопласту. Водночас з очевидними перевагами цієї сушарки треба відзначити і недоліки – втрати теплоти з відпрацьованим повітрям та складність псевдозрідження схильних до злипання продуктів, до яких можна віднести гранули з фруктових пюре.

Для інтенсифікації теплообміну шляхом збільшення поверхні контакту продукту з гарячим повітрям запропоновано варіант сушіння у псевдозрідженому шарі з використанням частинок інертного матеріалу [6].

У розпилювальних сушарках пастоподібний чи рідкий продукт диспергується спеціальними пристроями (форсунками чи дисками) на краплі малих розмірів (5-500 мкм), що значно збільшує поверхню випаровування, і продукт висушується в потоці гарячого повітря [1]. Тривалість процесу 5-30 с. Розпилювальні сушарки в харчовій промисловості знайшли застосування для сушіння овочевих та фруктових паст, пюре, соків, ячного меланжу, молока тощо. Унаслідок короткої тривалості процесу та рівномірної теплової обробки готовий продукт має високі органолептичні та фізико-хімічні показники. Тимчасом ці сушарки мають істотні недоліки: високі втрати продукту та теплоти з відпрацьованим повітрям, високу собівартість обладнання.

В останні роки для сушіння харчових продуктів найбільш перспективними вважаються способи сушіння, коли використовується мікрохвильове та інфрачервоне теплопідведення [7-10]. Вони мають немало переваг над традиційними для більшості вітчизняних виробництв конвективним та кондуктивним способами теплопідведення; це об'ємний характер теплопідведення, що забезпечує менші енерговитрати та кращу якість продукції; простота експлуатації та авто-

матизації; можливість забезпечення вологовмісту до 1...2%; відсутність обладнання для утилізації теплоти відпрацьованого повітря тощо.

Так, у роботі [11] приведені результати експериментальних досліджень із сушіння картопляного пюре за комбінованого кондуктивно-радіаційного теплопідведення. Дослідження проводились на стенді, який являє собою вальцюву сушарку зі встановленим над барабаном блоком інфрачервоних випромінювачів для інтенсифікації процесу сушіння. Для дослідження використовували сорти картоплі Невська, Луговська, Андретта. Температура поверхні барабана змінювалася в межах 95-170°C. Тривалість інфрачервоного опромінення варіювали у межах 0-24 с, щільність теплового потоку – 10-50 кВт/м². У результаті за оптимальних параметрів сушіння тривалість процесу зменшена на 29%, енерговитрати – на 19%, вміст вітаміну С в продукті вищий на 7...9% у порівнянні з традиційним кондуктивним сушінням картоплі на вальцювій сушарці.

Незважаючи на ефективність запропонованого авторами [11] кондуктивно-радіаційного способу сушіння картопляного пюре, у випадку сушіння продуктів з великим вмістом цукру, наприклад, фруктових пюре, підвищується налипання продукту на гарячу металеву поверхню. Складність відділення такого продукту від поверхні нагрівання, як показали наші попередні експериментальні дослідження, зумовлює його низьку якість.

Тому, зважаючи на проведені експерименти, перспективним і універсальним є спосіб сушіння пастоподібних продуктів у тонкому шарі за допомогою радіаційного або за комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення.

Метою статті є експериментальне дослідження сушіння картопляного пюре в тонкому шарі за допомогою радіаційного та комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення.

Виклад основного матеріалу досліджень. Дослідження проводилися на експериментальному стенді, принципова схема якого зображена на рисунку 1.

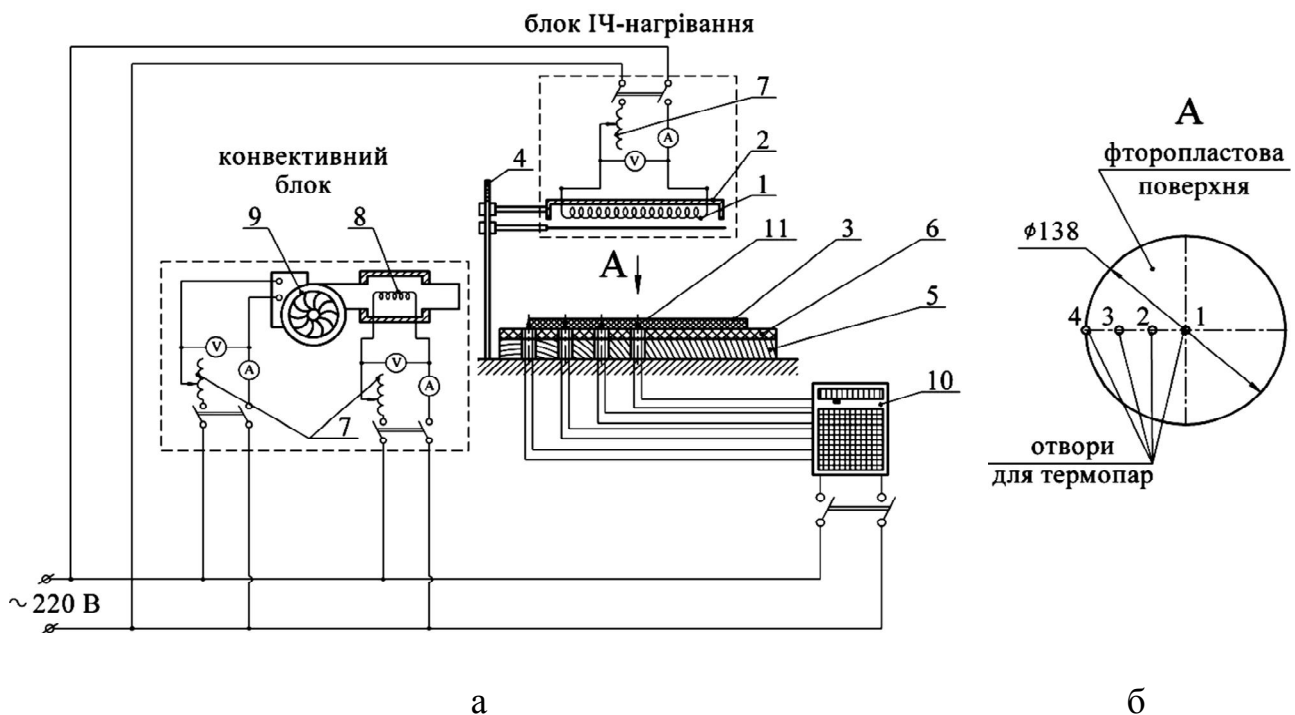
Стенд складається з таких основних блоків: блок ІЧ-нагрівання, конвективний блок та блок вимірювання температури. Кожен з блоків працює незалежно один від одного.

Основним елементом ІЧ-блоку є ТЕНи 1 у формі вісімки. ТЕНи обладнані відбивачем 2, який спрямовує на продукт 3 теплові промені, що падають угору. Блок ІЧ-випромінювачів змонтований на спеціальній стійці 4, може вертикально переміщуватися і фіксуватися на різних відстанях відносно продукту. Продукт розташовують на дерев'яній основі 5 з круглою фторопластовою пластиною 6 діаметром 138 мм (рисунок 1, б). Величина опромінення змінюється за допомогою автотрансформатора 7 і варіювання відстані між блоком ІЧ-випромінювачів та пластиною з продуктом.

Основними елементами конвективного блоку є калорифер 8 і вентилятор 9, які забезпечують нагрівання повітря з навколишнього середовища та обдування ним продукту. За допомогою автотрансформаторів 7 здійснюється регулювання напруги, що подається на калорифер 8 і вентилятор 9. У такий спосіб регулюється температура і швидкість повітря.

Блок вимірювання температури складається з шеститочкового автоматичного потенціометра 10 марки КСП-6 та хромель-копельових термопар 11 (рису-

нок 1, а). Схему встановлення термопар наведено на рисунку 1, б. Для встановлення термопар 4 у дерев'яній основі 5 та фторопластовій пластині 6 рівномірно від центра вздовж радіуса зроблено чотири отвори (рисунок 1, б).



1 – ТЕН; 2 – відбивач; 3 – продукт; 4 – стійка; 5 – дерев'яна основа; 6 – фторопластова пластина; 7 – ЛАТР; 8 – калорифер; 9 – вентилятор; 10 – потенціометр; 11 – термопара

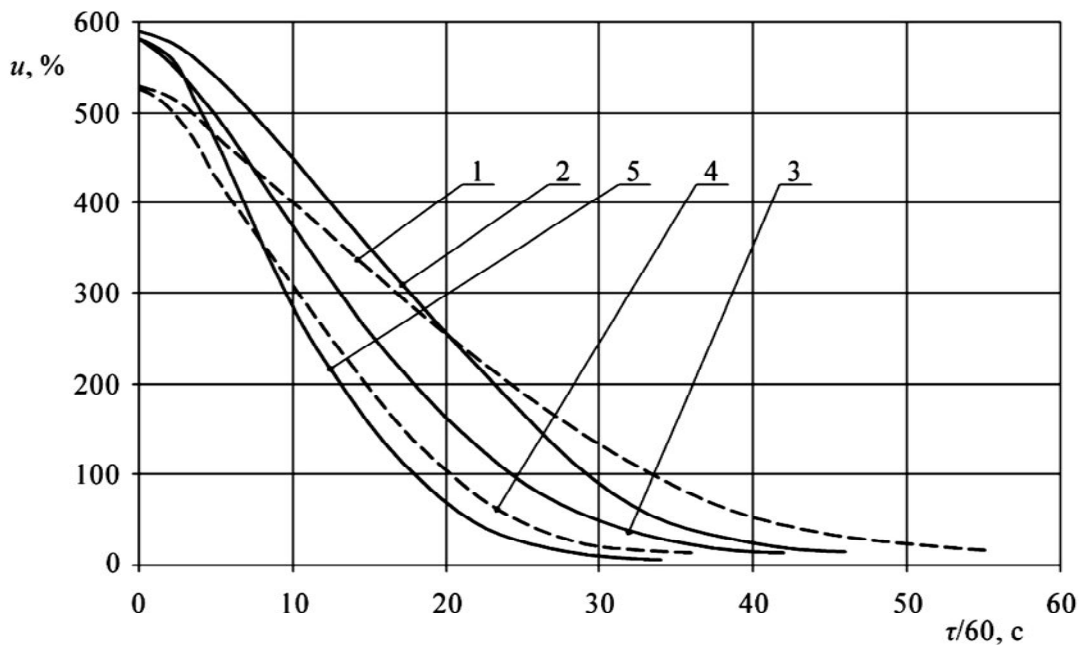
Рисунок 1 – Принципова схема експериментального стенду для дослідження сушіння пореподібних продуктів (а) та схема встановлення термопар (б)

Як продукт досліджувалася подрібнена до пореподібного стану картопля сорту Луговська. На підставі експериментальних даних побудовані криві сушіння, швидкості сушіння та температури в різних точках продукту (термограми).

На рисунку 2 наведені криві сушіння, отримані за радіаційного теплопідведення для різних значень щільності теплового потоку. Досліди проводили за температури повітря у приміщенні $19-21^{\circ}\text{C}$, початковому вологовмісті продукту $525-590\%$, питомому навантаженні продукту на фторопластову пластину $25,8-27,1\text{ кг/м}^2$.

Аналіз кривих показує, що процес сушіння проходить у три періоди: прогрівання (невеличка випукла до верхньої горизонтальної осі ділянка на початку кривих), лінійна зміна вологовмісту та спадаюча швидкість сушіння.

Тривалість сушіння коливається у межах $34-55\text{ хв}$, тобто процес сушіння повільніший, ніж за кондуктивного теплопідведення. Однак органолептичні показники готового продукту значно кращі: структура готового продукту пориста, він легко видаляється з фторопластової пластини.



1 – 1736 Вт/м²; 2 – 1478 Вт/м²; 3 – 1322 Вт/м²; 4 – 1267 Вт/м²; 5 – 1210 Вт/м²

Рисунок 2 – Криві сушіння картоплі за радіаційного теплопідведення залежно від щільності теплового потоку

Однак трапляється неоднорідність теплової обробки продукту, яка викликана відповідною формою і розташуванням ІЧ-випромінювачів. За щільності теплового потоку 1322-1736 Вт/м², що відповідає відстані між ТЕНами та продуктом 100-150 мм, на периферії шару продукту має місце кільцева зона підгоряння. Її розмір і ступінь підгоряння тим вищий, чим менша відстань між ТЕНами та продуктом. Тобто підвищення нерівномірності теплової обробки залежить від зменшення вказаної вище відстані. З позиції енерговитрат та продуктивності найкращі результати отримані за найменшої відстані між ТЕНами та продуктом.

Для оцінки зміни температурного поля продукту розглянемо термограми (місце розміщення термопар приведено на рисунку 1, б), подані на рисунках 3-4.

Аналіз термограм показує, що у радіальному напрямку має місце значна нерівномірність температурного поля. З підвищенням відстані між ТЕНами та продуктом ця нерівномірність стає суттєвою як і під час лінійного видалення вологи, так і в період спадаючої швидкості сушіння. Загальний температурний рівень з підвищенням відстані між ТЕНами та продуктом знижується. Отже, якість готового продукту визначається ступенем нерівномірності температурного поля під час сушіння та середнім температурним рівнем.

Дані з кінетики сушіння за різних значень висоти між ТЕНами та продуктом наведено в таблиці 1.

На рисунку 5 наведено криві сушіння, отримані за комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення, для швидкості і температури повітря. Досліди проводили за температури повітря у приміщенні 19-21°C, початковий вологовміст продукту коливався в межах 435-465%, питома навантаження про-

дукту на фторопластову пластину становило 26,2-26,6 кг/м², щільність теплового потоку – 1372 Вт/м².

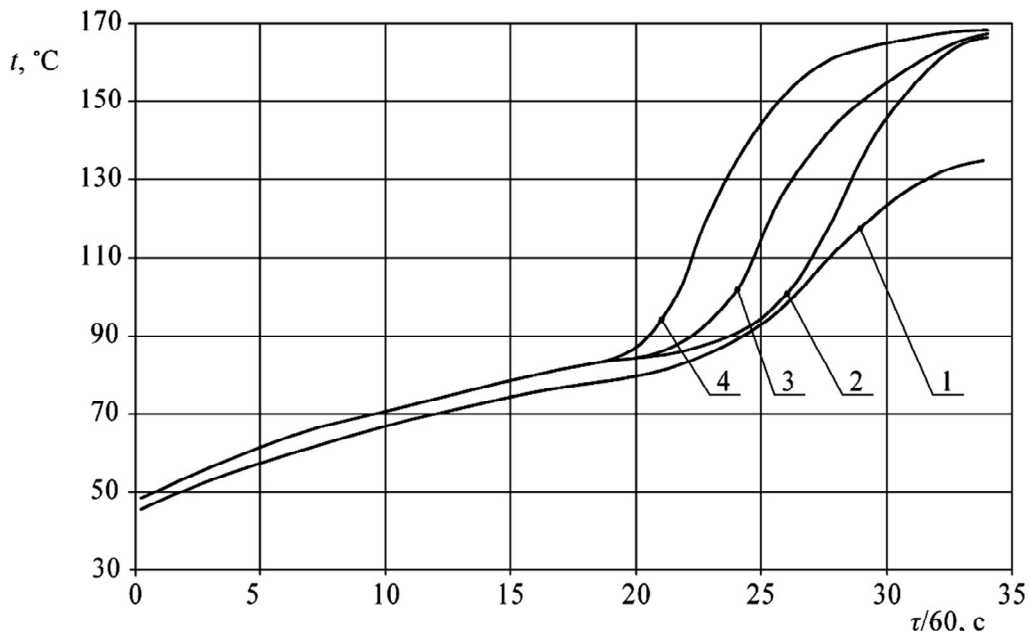


Рисунок 3 – Термограми продукту за щільності теплового потоку 1736 Вт/м²

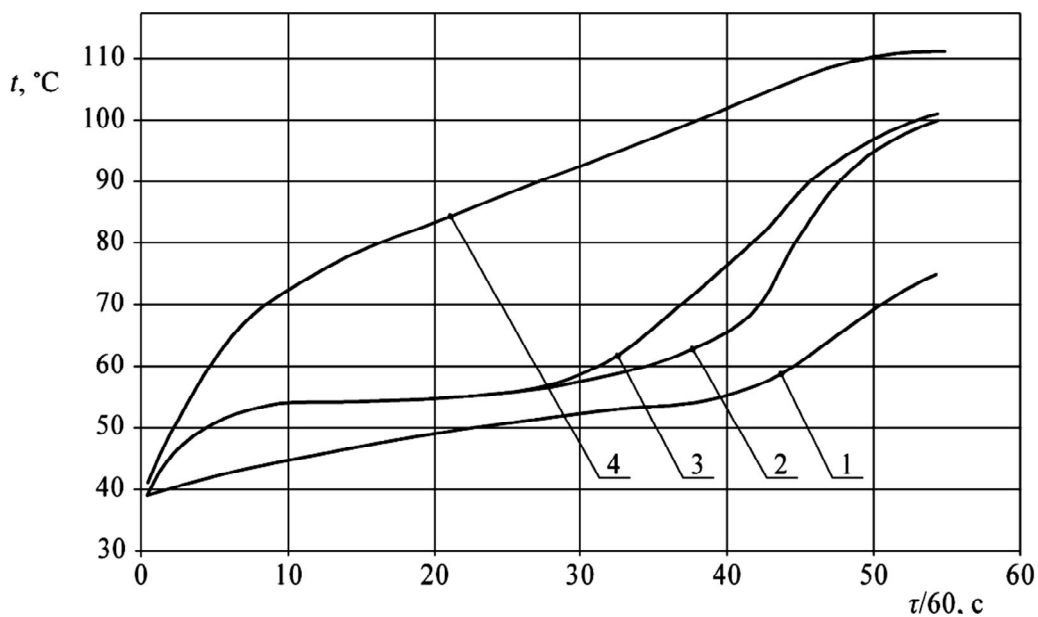
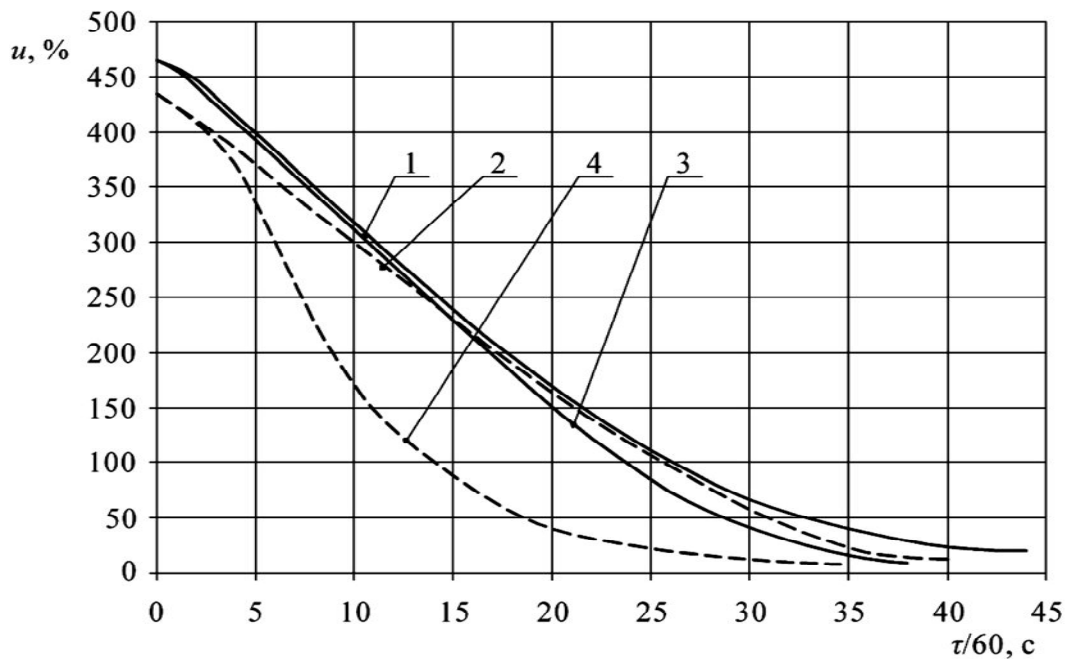


Рисунок 4 – Термограми продукту за щільності теплового потоку 1210 Вт/м²

Таблиця 1 – Дані з кінетики сушіння пореподібної картоплі за радіаційного теплопідведення залежно від щільності теплового потоку

| | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|
| Висота між ТЕНами і продуктом, мм | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 |
| Щільність теплового потоку, Вт/м ² | 1736 | 1478 | 1322 | 1267 | 1210 |
| Тривалість сушіння, хв | 34 | 36 | 42 | 36 | 55 |
| Рівноважний вологовміст, % | 7,5 | 12,9 | 14 | 14,8 | 17 |
| Початковий вологовміст, % | 580 | 525 | 581 | 590 | 528 |



1 – 38°C, 2,2 м/с; 2 – 45°C, 2 м/с; 3 – 48°C, 1,3 м/с; 4 – 60°C, 0,7 м/с

Рисунок 5 – Криві сушіння картоплі за комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення залежно від температури та швидкості повітря

Форма кривих аналогічна кривим сушіння на рисунку 2. Їхній аналіз показує, що використання комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення дозволяє значно пришвидшити процес сушіння. Тривалість сушіння змінюється в межах 29-44 хв. Як свідчать графіки на рисунку 5, більш істотний вплив на тривалість сушіння чинить температура повітря, ніж його швидкість. До того ж вона значно впливає на значення рівноважного вологовмісту. Так, за температури повітря 38°C він становить 20,1%, а за 60°C – 7,5%.

З додаванням конвективного теплопідведення значно покращилися і органолептичні показники висушеного продукту. У всіх дослідях з комбінованим теплопідведенням не простежувалася зона підгоряння продукту на периферії, яка була за радіаційного теплопідведення.

Це викликано вирівнюванням температурного поля, як видно з термограм на рисунках 6-8.

На рисунку 6 градієнт температури має місце лише у період спадаючої швидкості повітря. З підвищенням температури повітря рівномірність температурного поля продукту підвищується. Для останнього дослідження, термограми якого зображені на рисунку 8, взагалі відсутній градієнт температур. Тобто з позиції якості додавання конвективного теплопідведення значно підвищилась якість висушеного продукту.

Для апроксимації кривих швидкості сушіння, отриманих за комбінованого теплопідведення, у періоді спадаючої швидкості були розглянуті різні математичні моделі. Найкращі результати були отримані за апроксимації таким рівнянням [12]:

$$\frac{du}{d\tau} = \chi' N(u - u_p)^n, \quad (1)$$

де $du/d\tau$ – швидкість сушіння;

u – поточний вологовміст;

u_p – рівноважний вологовміст;

N – швидкість сушіння під час лінійного видалення вологи;

χ' – відносний коефіцієнт сушіння;

n – коефіцієнт, що характеризує властивості продукту.

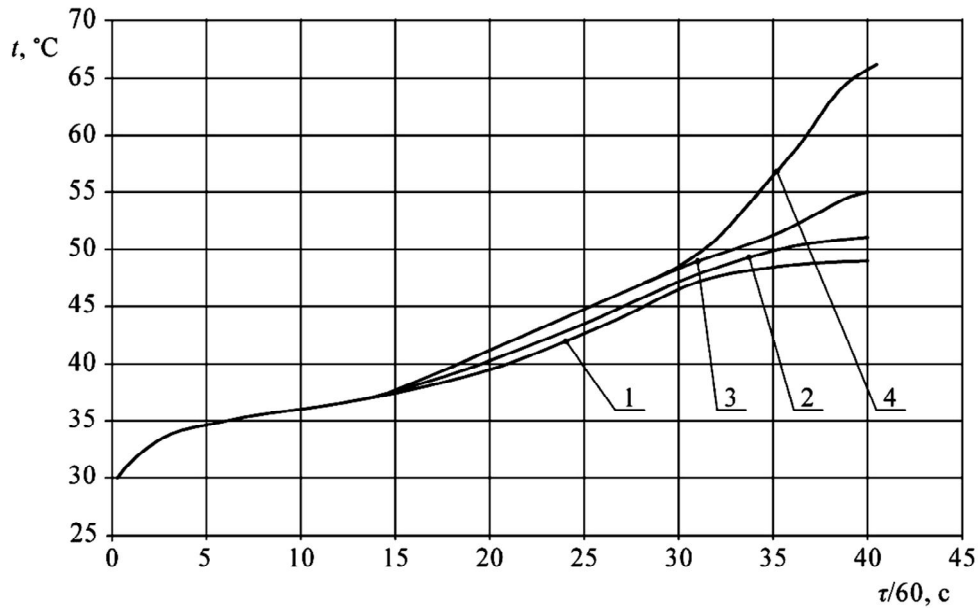


Рисунок 6 – Термограми продукту за температури повітря 45 °С та його швидкості 2 м/с

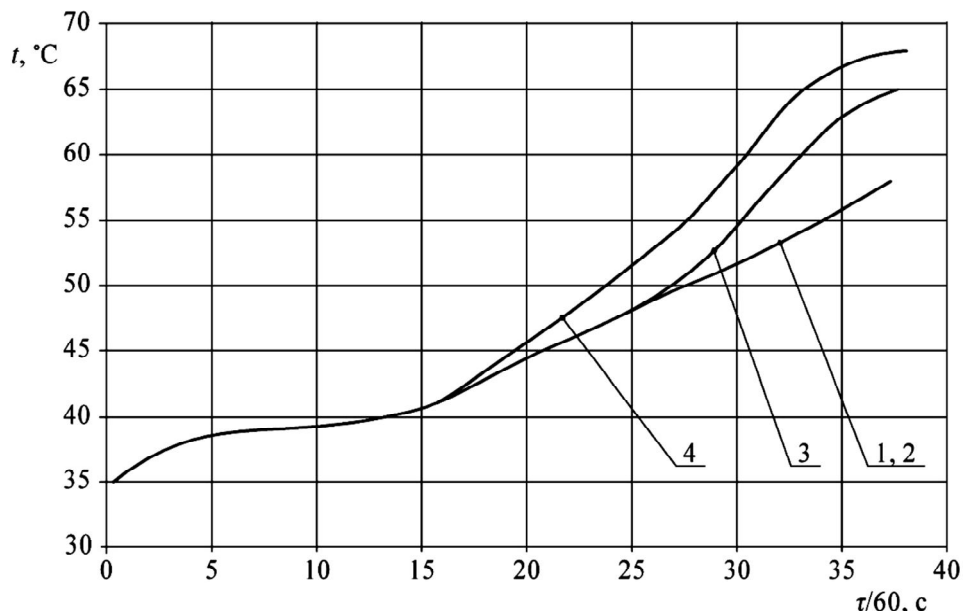


Рисунок 7 – Термограми продукту за температури повітря 48 °С та його швидкості 1,3 м/с

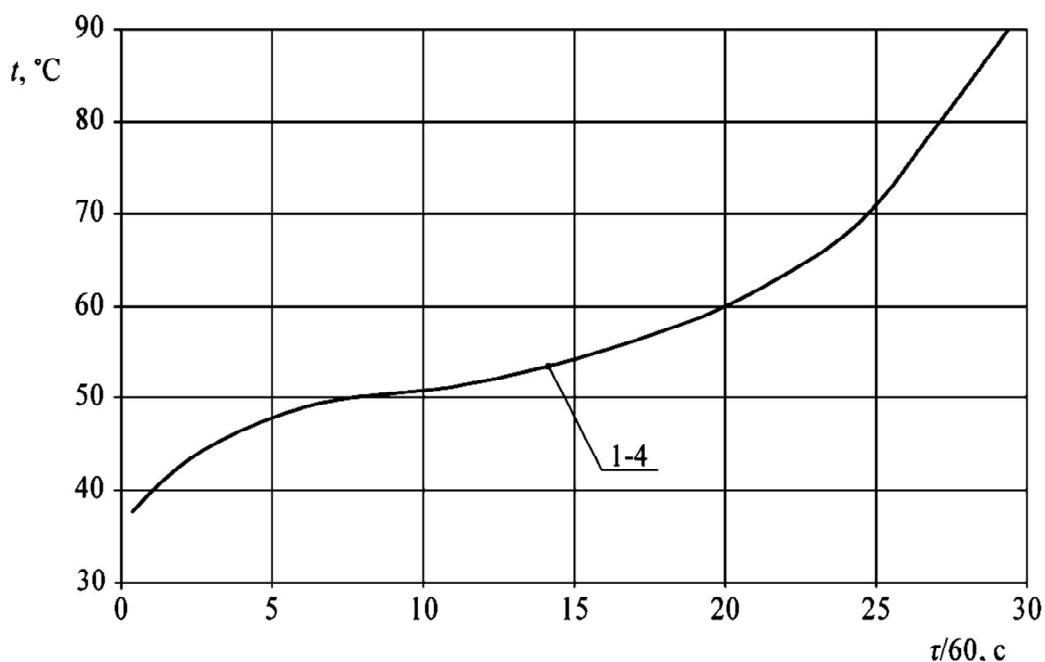


Рисунок 8 – Термограми продукту за температури повітря 60 °С та його швидкості 0,7 м/с

Обробка експериментальних результатів проводилася за допомогою методу найменших квадратів у комп'ютерному пакеті Mathcad. Коефіцієнт кореляції для всіх дослідів був не нижчим за 0,98. Результати статистичної обробки наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Дані апроксимації кривих швидкості сушіння

| | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Температура повітря, °С | 38 | 45 | 48 | 60 |
| Швидкість повітря, м/с | 2,2 | 2 | 1,3 | 0,7 |
| χ' | 0,921 | 2,148 | 1,155 | 0,769 |
| n | 0,531 | 0,350 | 0,520 | 0,656 |

Дані з кінетики сушіння за допомогою комбінованого теплопідведення наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Дані з кінетики сушіння пюреподібної картоплі за комбінованого теплопідведення

| | | | | |
|---|------|------|-------|------|
| Температура повітря, °С | 38 | 45 | 48 | 60 |
| Швидкість повітря, м/с | 2,2 | 2 | 1,3 | 0,7 |
| Тривалість сушіння, хв | 44 | 40 | 38 | 29 |
| Рівноважний вологовміст, % | 20,1 | 13,1 | 9,9 | 7,5 |
| Початковий вологовміст, % | 465 | 435 | 465 | 435 |
| Швидкість сушіння у період лінійного видалення вологи, %/хв | 16 | 13,5 | 16,1 | 35,6 |
| Перший критичний вологовміст, % | 234 | 176 | 145,7 | 206 |

Висновки. За результатами дослідів можна зробити наступні висновки:

– на процес сушіння картопляного пюре за допомогою радіаційного теплопідведення суттєво впливає рівномірність теплового потоку, яка визначається формою джерел інфрачервоного випромінювання та відбивачів, а також відстанню від них до продукту;

– застосування фторопластової поверхні, на якій розташовується продукт під час сушіння, забезпечує легке його відділення, що є проблемою для кондуктивного теплопідведення;

– застосування комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення дозволяє значно зменшити нерівномірність температурного поля продукту під час сушіння, що в результаті покращує його органолептичні і споживні властивості;

– отримані експериментальні дані оброблені за допомогою теорії сушіння та методів математичної статистики у комп'ютерному пакеті Mathcad, що в результаті дає змогу визначити для дослідженого діапазону режимних параметрів тривалість сушіння до визначеного кінцевого вологовмісту та використати ці дані під час проектування промислової сушильної установки.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. У подальшому нами планується проведення аналогічних досліджень для інших видів пастоподібної рослинної сировини, узагальнення результатів та виявлення оптимальних режимних параметрів сушіння для різних видів продуктів, розробка конструкції промислової сушильної установки.

Список літератури

1. Сушеные овощи и фрукты: монография / В.А. Воскобойников [и др.]. – М.: Пищевая пром., 1980. – 190 с.
2. Кац З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и плодов: монография / З.А. Кац. – М.: Пищевая пром., 1976. – 198 с.
3. Пат. 3204141 ФРГ, МКИ А 23 L 1/212. Verfahren zur Herstellung von schnellloslichem keimarmem Gemusepulver / Braeutigam Frank (ФРГ). – № Р 3204141.1, заявл. 06.02.82; опубл. 18.08.83. – 2 с.
4. Пат. України № 24915, МПК (2007) F 26B 17 / 28. Сушарка для пюреподібних матеріалів / Поперечний А.М., Варваріна Н.М., Сич М.І.; заявник і власник Донецьк. нац. ун-т економ. і торг. ім. Михайла Туган-Барановського. – заявл. 11.12.2006; опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11. – 4 с.
5. Ларионов Б.А. Экспериментальная установка для диспергирования и сушки картофельного пюре / Б.А. Ларионов, Б.Л. Шапиро // Консервная и овощесушильная промышленность. – М.: Пищевая пром., 1979. – С. 30-32.
6. Пат. России № 2124683, МПК (1999) F26B3/088, F26B9/06, F26B21/04. Способ сушки пастообразных пищевых продуктов и установка для его осуществления / Шляховецкий В.М., Беззаботов Ю.С., Гордиенко Ю.В.; заявитель и владелец Кубанский государственный технологический ун-т. – заявл. 02.04.1997; опубл. 10.01.1999. – 6 с.
7. Калинин Л.Г. Моделирование процесса извлечения влаги из капиллярно-пористых структур под воздействием микроволнового электромагнитного поля /

- Г.Л. Калинин, О.Л. Бошкова // Наук. праці ОНАХТ. – О., 2006. – Вип. 2. – Т. 2. – С. 275-278.
8. Zheng-Wei Cui. Effect of microwave-vacuum drying on the carotinoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of chinese chive leaves / Zheng-Wei Cui, Shi-Ying Xu, Da-Wen Sun // Drying Technol. – 2004. – 22 (3) – P. 563-575.
9. Малежик І.Ф. Дослідження кінетики сушіння морквяних вичавок за допомогою інфрачервоного випромінювання / І.Ф. Малежик, Т.М. Левківський, А.Т. Безусов // Наук. праці ОНАХТ. – О., 2009. – Вип. 35. – Т. 2. – С. 190-192.
10. Бурдо О.Г. Кінетика сушки в електромагнітном полі / О.Г. Бурдо, А.В. Зыков, Ю.А. Казмирук // Наук. праці ОНАХТ. – О., 2006. – Вип. 28. – Т. 2. – С. 113-116.
11. Волончук С.К. Энергосберегающие технологии переработки растительного сырья / С.К. Волончук, А.Н. Сапожников, Л.П. Шорникова // Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – Вип. 2/1. – С. 166-171.
12. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

УДК 615.8:639.64

**Свідло К.В., канд. техн. наук, доц., Пересічний М.І., д-р техн. наук, проф.,
Бачинська Я.О., канд. с.-г. наук, доц. (ХТЕІ КНТЕУ, Харків)**

ТЕХНОЛОГІЯ ОВОЧЕВИХ СТРАВ ГЕРОДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Раціонально побудоване харчування, особливо для людей після 60 років, сприяє оптимізації метаболічного стану організму та підвищує рівень захисної реакції організму стосовно несприятливих чинників навколишнього середовища. Запропонована технологія овочевих страв геродієтичного призначення вміщує більшість БАР, у т.ч. вітаміни-антиоксиданти відповідно до добової функціонально-фізіологічної норми людей похилого віку.

Ключові слова: *овочеві страви, геронтологічне харчування, вітаміни-антиоксиданти, оптимізація метаболічного стану організму.*

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. В Україні частка людей похилого та старечого віку у загальній структурі населення становить 23,5%. Тому пошук ефективних засобів підвищення творчого довголіття представників старших вікових категорій, збереження їх здоров'я і профілактика захворювань є актуальними і мають соціальне, економічне і політичне значення.

Численні наукові дослідження, проведені за останні роки, та їх результати щодо стану здоров'я людей похилого, старечого віку та довгожителів і вплив на нього такого чинника, як харчування переконливо свідчать про тісний зв'язок між нутрієнтним складом раціону харчування та метаболічним станом організму людини [1-16].