

КІНЕТИКА СУШІННЯ КОРИННЯ ЦИКОРІО У НВЧ-ПОЛІ

Поперечний А.М., д.т.н., проф., Жданов І.В., Османова Ю.В.
(*Донецький національний університет економіки і торгівлі імені
Михайла Туган-Барановського*)

*Наведені експериментальні дані з сушіння коріння цикорію у
НВЧ-полі, їх математична обробка та аналіз.*

Постановка проблеми. Мікрохвильові технології нагрівання відносяться до перспективних наукоємних технологій високого рівня – технологіям ХХІ сторіччя.

При створенні та дослідженнях мікрохвильових технологій і обладнання застосовуються такі унікальні властивості НВЧ-поля, як:

- вибірковість нагрівання; в багатокомпонентній суміші діелектриків сильніше нагріваються складові з більш високим тангенсом кута діелектричних витрат;

- рівномірність нагрівання продукту у всьому його об'ємі;

- висока чистота нагрівання у зв'язку з відсутністю теплоносіїв;

- саморегуляція нагрівання – нагрівання висушених ділянок автоматично припиняється, оскільки тангенс діелектричних витрат більшості матеріалів по мірі їх висушування зменшується;

- високий коефіцієнт перетворення мікрохвильової енергії в теплову.

Аналіз основних досліджень. Відомі і описані пристрої і установки, що реалізують технології мікрохвильового нагрівання в різних галузях промисловості. Однак потенціал цих технологій на даний час далеко не вичерпаний, особливо в області практичного застосування.

Динаміка застосування мікрохвильових технологій стримується рядом проблем, які ще необхідно вирішити. До їх числа відносяться:

- відсутність достатньої кількості достовірного матеріалу про діелектричні характеристики харчових продуктів та їх адсорбційні властивості при поглинанні електромагнітної енергії;

- відсутність достатньої кількості експериментальних

досліджень з мікрохвильових технологій різноманітних харчових продуктів, що не дозволяє з достатньою повнотою дати їм теоретичне обґрунтування;

- відсутність достатньої кількості матеріалів для економічного обґрунтування ефективності мікрохвильових технологій.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку в області сушіння рослинної сировини засвідчує зростання робіт з використанням НВЧ енергопідведення.

Одним із етапів технології виробництва порошку з коріння цикорію є його сушіння після екстрагування у водо-спиртовому розчині (при співвідношенні об'ємних долів води та етилового спирту 1:4). Після екстрагування цикорій представляє собою тирсоподібну фракцію, яка за своєю структурою близька до пивної дробини.

Оскільки гранулометричний склад такої сировини обмежує застосування для її сушіння активних режимів руху, для досліджень нами обраний спосіб сушіння з НВЧ енергопідведенням.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження проводилися у лабораторних умовах в НВЧ-печі моделі ДМО-170MG фірми Delfa. В якості робочої ємності використовувалася скляна циліндрична посудина діаметром 100 мм. Висота шару продукту змінювалася залежно від його маси. Вологовміст температура продукту під час сушіння визначалися за відповідною методикою.

Параметри повітря приміщення при проведенні дослідів: температура 16-19° С, відносна вологість 48-49 %. Початковий вологовміст цикорію складав 126 %. Потужність випромінювання НВЧ-генератора змінювалася в межах 136-264 Вт, маса завантаження продукту – в межах 50-75 г.

Інтегральним параметром, який характеризує ступінь теплового впливу на продукт, є питома потужність випромінювання НВЧ-генератора. На рис. 1 наведені криві сушіння та швидкості сушіння коріння цикорію в залежності від питомої потужності випромінювання НВЧ-генератора. Аналіз цих кривих показує, що процес сушіння протікає практично в три періоди: прогрівання продукту, постійної швидкості та спадаючої швидкості. Доля кожного періоду в загальній тривалості процесу змінюється в залежності від питомої потужності: при підвищенні потужності зменшується долі періодів прогрівання та постійної швидкості та

збільшується доля періоду спадаючої швидкості.

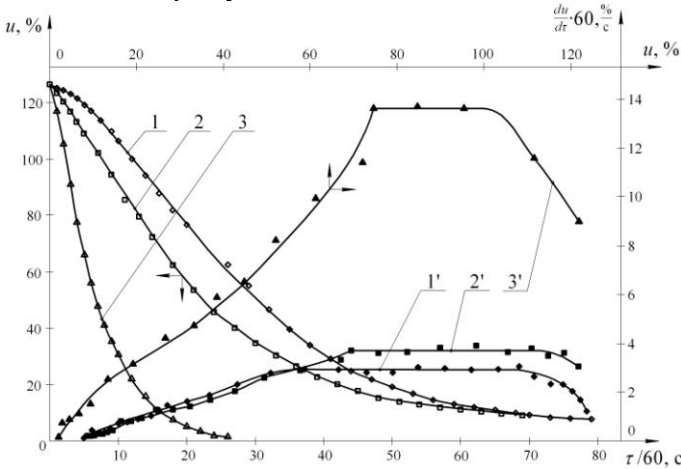


Рис. 1. Криві сушіння 1-3 та швидкості сушіння 1'-3' цикорію при різних значення питомої потужності: 1, 1' – 1,83 кВт/кг; 2, 2' – 2,72 кВт/кг; 3, 3' – 5,28 кВт/кг

Від питомої потужності суттєво залежить тривалість сушіння. Так, при її значенні 1,83 кВт/кг тривалість сушіння складає 79 хв, тоді як при 5,28 кВт/кг вона зменшується практично втричі і складає 28 хв. Як показано на рис. 2, залежність $\tau = f(W)$ близька до лінійної.

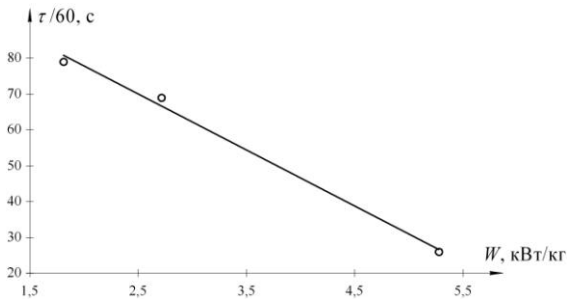


Рис. 2. Залежність тривалості сушіння від питомої потужності

Аналіз кривих швидкості сушіння (рис. 1) також показує, що скорочення тривалості для двох вищевказаних значень питомої потужності відбувається як в період постійної, так і у період спадаючої швидкості сушіння. Так, постійна швидкість сушіння

складає: при 1,83 кВт/кг – 2,92 %/хв, при 5,28 кВт/кг – 13,5 %/хв. Тобто, підвищення питомої потужності прискорює як зовнішнє, так і внутрішнє перенесення вологи.

Порівняння кривих 1' і 2' показує, що зменшення тривалості сушіння досягається в основному за рахунок підвищення швидкості сушіння у другому періоді, тобто інтенсифікації зовнішнього перенесення вологи.

Для цих дослідів потужність НВЧ-генераторів була однакова і складала 136 Вт, а початкові маси коріння цикорію були різні – 75 г та 50 г відповідно. Оскільки у обох випадках продукт завантажувався у однакову ємність з діаметром днища 100 мм, то при підвищенні його маси пропорційно підвищувалася висота шару. В результаті можна констатувати, що товщина шару не впливає на його дифузійний опір перенесенню вологи у третьому періоді, що характерно для НВЧ-енергопідведення. Тобто, при реалізації процесу у промисловому варіанті можна рекомендувати великі навантаження продукту на одиницю площини робочої поверхні, що забезпечить малі габарити сушильної установки та підвищити її продуктивність. Для підтвердження цього було визначене напруження робочої поверхні за випаруваною вологою: при 1,83 кВт/кг воно складає 3,81 кг/(ч·м²), при 2,72 кВт/кг – 2,87 кг/(ч·м²).

Для апроксимації кривих сушіння був розглянутий ряд математичних моделей. Найкращі результати були отримані при апроксимації наступним рівнянням [1]:

$$u = u_0 \cdot e^{-(k\tau)^{\bar{n}}}, \quad (1)$$

де u_0 – початковий вологовміст; k – коефіцієнт сушіння; \bar{n} – середній коефіцієнт напруженості сушіння.

Обробка експериментальних результатів проводилася за допомогою метода найменших квадратів у комп'ютерному пакеті Mathcad. Результати статистичної обробки наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дані апроксимації кривих сушіння

Питома потужність, кВт/кг	1,83	2,72	5,28
k	0,031	0,040	0,135
\bar{n}	1,433	1,139	1,201
Коефіцієнт кореляції	0,999	0,999	0,999

З рівняння (1) випливає формула для розрахунку тривалості сушіння до кінцевого вологовмісту u :

$$\tau = \frac{1}{k} \left(\ln \frac{u}{u_0} \right)^{1/\bar{n}}. \quad (2)$$

На рис. 3 наведені термограми продукту за тривалістю сушіння. Вони були побудовані шляхом вимірювання температури у декількох точках робочої ємності з продуктам та усереднення отриманих значень.

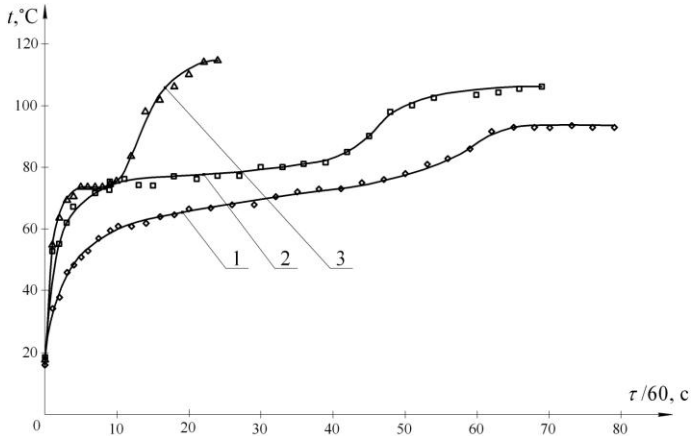


Рис. 3. Термограми при різних значення питомої потужності: 1– 1,83 кВт/кг; 2 – 2,72 кВт/кг; 3 – 5,28 кВт/кг

Аналіз кривих показує, що вони мають три характерні ділянки: круту ділянку інтенсивного підвищення температури на початку процесу, полого ділянку низького підвищення температури у середині процесу та круту ділянку підвищення температури наприкінці процесу.

Співвідношення долів кожної ділянки у загальній тривалості процесу різна і залежить від питомої потужності: при її підвищенні зменшується доля пологої ділянки низького підвищення температури.

Температура продукту при сушінні визначає якість сушеного коріння цикорію, тому для кількісної оцінки жорсткості температурного впливу кожного режиму сушіння була визначена середня температура продукту на протязі всього процесу.

Дослідження засвідчують, що якісні показники сушених овочів добре корелюють зі значенням середньої температури.

Обчислені значення середньої температури наведені у табл. 2. Вони засвідчують про підвищення жорсткості температурного впливу при підвищенні питомої потужності.

Таблиця 2

Зведена таблиця даних з кінетики сушіння коріння цикорію при різних значеннях питомої потужності

Питома потужність, кВт/кг	1,83	2,72	5,28
Рівноважний вологовміст, %	8,9	7,6	1,7
Тривалість сушіння, хв	79	69	26
Напруженість робочої поверхні, кг/(ч·м ²)	3,81	2,87	8,08
Питомі енерговитрати, МДж/кг	16,38	21,75	14,98
Швидкість сушіння в період постійного видалення вологи, %/хв	2,92	3,7	13,6
Перший критичний вологовміст, %	61,9	69,4	74,6
Середня температура продукту, °С	74	85,4	87,8

Слід зазначити, що під час проведення експериментів температурне поле продукту у різних зонах робочої ємності не було однорідним. Максимум температури спостерігався у невеликій зоні в центрі. У інших зонах температура була приблизно однакова. Це можна пояснити неоднорідністю проникнення електромагнітної енергії в продукт, в результаті чого має місце нерівномірність розподілу вологовмісту вздовж товщини продукту, що в свою чергу впливає на якість кінцевого продукту. Проведені досліди показали, що різниця між температурами продукту у центральній зоні і на периферії збільшується з підвищенням питомої потужності.

На основі проведеного аналізу та отриманих результатів, які зведені в табл. 2, можна рекомендувати для промислової реалізації значення питомої потужності НВЧ-генератора близько 1,83 кВт/кг.

Попередні дослідження показали, що сушіння тирсоподібної сировини доцільно здійснювати у віброкиплячому шарі. Застосування низькочастотних механічних коливань дозволяє створити активні гідродинамічні режими, за рахунок яких в процесі тепло-масообміну бере участь вся поверхня частинок, коефіцієнт теплообміну сягає максимального значення. Сушильні установки з

віброкиплячим шаром компактні, поєднують процес сушіння з транспортуванням. В цих установках майже немає втрат матеріалу з повітрям.

Висновки. Застосування віброкиплячого шару дозволить усунути вищевказаний недолік СВЧ-нагрівання – неоднорідність проникнення електромагнітної енергії в продукт. До того ж, активізація гідродинамічної обстановки дозволить прискорити зовнішній масообмін, який характеризується коефіцієнтом масовіддачі. Це – перспективи подальших досліджень.

Список літератури

1. Потапов, В.О. Рациональні режими сушіння овочів змішаним теплопідводом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.О. Потапов. – Одеса, 1994. – 16 с.

Аннотація

КИНЕТИКА СУШКИ КОРНЯ ЦИКОРИЯ В СВЧ-ПОЛЕ

В статье приведены экспериментальные данные по сушке корня цикория в СВЧ-поле, их математическая обработка и анализ.

Abstract

KINETICS OF DRYING OF THE CHICORY ROOT IN MICROWAVE FIELD

In article are brought experimental data of drying of the chicory root in microwave field, mathematical processing and analyzing of them.