

УДК 631.365.22

© С.Г. Панасюк, к.т.н., С.Є. Голячук, к.с.-г.н., О. Мазур
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ КОМБІНОВАНОГО СУШІННЯ КІСТОЧКОВИХ ПЛОДІВ

У статті приведено результати дослідження кінетики комбінованого сушіння плодів слив та персиків та впливу НВЧ-нагрівання на інтенсивність випаровування вологи.

СУШІННЯ, СУШИЛЬНИЙ АГЕНТ, ТЕМПЕРАТУРА, КРИВА СУШІННЯ, ШВИДКІСТЬ СУШІННЯ.

Постановка проблеми. Особливістю кісточкових плодів є високий вміст води, що обумовлює у них наявність ніжної, соковитої м'якоти. Тому термін їх зберігання у свіжому вигляді нетривалий і виникає складність у транспортуванні.

Сушіння було і залишається одним із найпоширеніших способів консервування плодів та овочів, що дозволяє отримати готову продукцію високої якості із збереженими поживними властивостями. Сухі плоди мають тривалий термін зберігання за певних умов, потребують менших витрат на пакування, тару і складські приміщення, зручні в транспортуванні.

Існує багато способів сушіння, найпоширенішим з яких є конвективний, під час якого відбувається випаровування вологи з матеріалу за рахунок передачі йому теплової енергії від сушильного агента. Однак при такому сушінні волога випаровується з поверхні продукту і можливе утворення плівки, що негативно впливатиме на його відновлення. Через високу температуру і тривалість сушіння кісточкових плодів відбувається окислення, втрата вітамінів і інших

біологічно активних речовин у сухому продукті. При контактному сушінні перенесення тепла до матеріалу здійснюється від нагрітої поверхні. Контактні сушарки, що застосовуються для сушіння кісточкових плодів характеризуються високою метало- та енергомісткістю. Сублимаційне сушіння засноване на видаленні вологи із замороженого продукту в умовах глибокого вакууму. Такий спосіб дозволяє отримати продукцію високої якості, але є складним з технічної точки зору, бо вимагає поєднання техніки, що створює глибокий вакуум, і криогенних технологій. Плоди часто сушать з використанням сонячної енергії. Проте такий спосіб має багато недоліків, таких як повільність процесу, виникнення ризику забруднення продукції, невизначеність погоди, і використання ручної праці. Перспективними є способи сушіння з використанням мікрохвиль та інфрачервоних променів, які дозволяють скоротити тривалість процесу отримання сушеної продукції.

Сушіння – енергоємний процес, тому актуальним завданням є пошук можливих технічних рішень зменшення енергомісткості технологічного процесу та його інтенсифікації шляхом поєднання відомих способів сушіння.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вирішенням задачі інтенсифікації сушіння рослинної сировини займалися багато науковців [1-3]. Зокрема було узагальнено закономірності кінетики сушіння плодовоовочевої сировини, розроблено ступінчасті режими її зневоднення з метою інтенсифікації процесу [2]. Проведено моделювання процесу сушіння вологих матеріалів рослинного походження під впливом мікрохвильового електромагнітного поля [3].

Сушіння плодів і овочів є тривалим процесом через високий вміст води у них. Прискорити процес випаровування вологи із плодовоовчевої продукції можна, застосувавши методи її попередньої обробки перед проведенням сушіння [4-6].

Аналіз проведених досліджень вказує на те, що поєднання різних способів сушіння для інтенсифікації проведення процесу та покращення якості готового продукту є актуальним завданням.

Метою дослідження було виявлення впливу мікрохвиль на процес випаровування вологи та дослідження кінетики комбінованого сушіння кісточкових плодів.

Результати дослідження. Для дослідження процесу сушіння кісточкових плодів було вибрано свіжі, без механічних пошкоджень плоди слив сорту Угорка та персиків сорту Київський ранній. Відсортовані плоди мили та ділили на половинки, звільняючи від кісточки, та розташовували рівномірним шаром у касетах. Касети з

матеріалом зважували і поміщали у мікрохвильову піч, змінюючи тривалість опромінювання продукту при потужності 600 Вт. Потім ці касети розташовували у сушильній установці, де просушували повітрям, нагрітим до температури 60 °С, періодично зважуючи. Вологість матеріалу визначали за стандартними методиками.

За отриманими результатами було побудовано криві сушіння слив та персиків (рис. 1, 2).

З рис.1 видно, що період прогрівання слив без попереднього НВЧ-нагрівання складає 20-30 хвилин. У зразків слив, які піддавались НВЧ-нагріванню, час прогрівання значно скоротився і після розміщення їх у конвективній сушильній установці відразу проходило випаровування вологи. У період постійної швидкості сушіння видається в основному капілярна та осмотична волога і теплова енергія затрачається на інтенсивне зниження вологи, при цьому температура поверхневих шарів плодів залишається незмінною. Тривалість цього періоду зразків слив, які піддавались НВЧ-нагріванню, майже вдвічі менша, ніж для слив без попереднього НВЧ-нагрівання. Для періоду спадаючої швидкості сушіння, який наступає, коли вологість поверхневих шарів дорівнює першій критичній, характерним є зниження швидкості випаровування вологи та зростання температури поверхневих шарів.

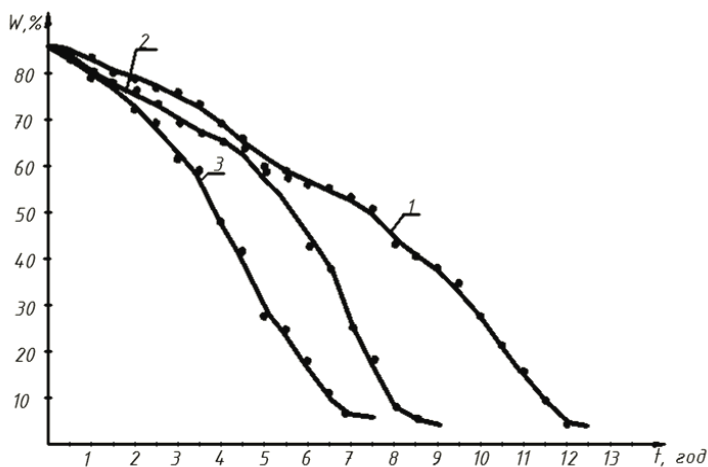


Рис.1 – Криві сушіння слив: 1 – без попереднього нагрівання; 2 – з попереднім НВЧ-нагріванням 2 хв; 3 – з попереднім НВЧ-нагріванням 3 хв

Загальна тривалість сушіння слив, що не піддавались НВЧ-нагріванню, склала 11,5 годин. Із зростанням часу НВЧ-нагрівання тривалість сушіння зменшувалась: для зразка слив, що піддавались НВЧ-нагріванню протягом 3 хвилин, час сушіння скоротився до 7 годин.

Криві сушіння персиків (рис.2) мають дещо інший вигляд в порівнянні з кривими сушіння слив. Період прогрівання персиків тривав довше, проте волога із плодів персиків випаровувалась інтенсивніше, ніж із слив. Загальна тривалість сушіння персиків, що не піддавались НВЧ-нагріванню, склала 9 годин, а для зразка персиків, що піддавались НВЧ-нагріванню протягом 3 хвилин, час сушіння скоротився до 6 годин.

Експериментальні дослідження показала, що у зразках плодів, для яких застосовувалось комбіноване сушіння шляхом поєднання НВЧ-нагрівання та конвективного сушіння, значно зростала інтенсивність випаровування вологи.

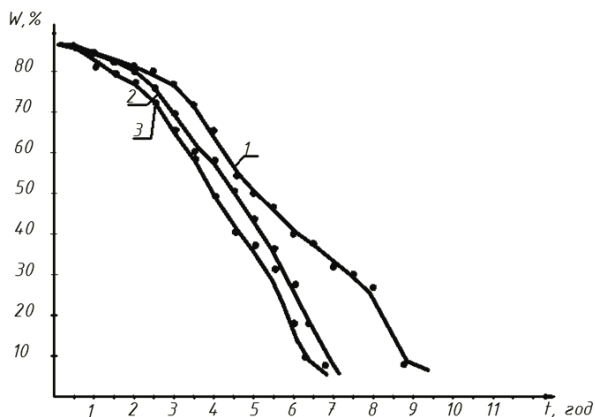


Рис.2 – Криві сушіння персиків: 1 – без попереднього нагрівання; 2 – з попереднім НВЧ-нагріванням 2 хв; 3 – з попереднім НВЧ-нагріванням 3 хв

Це пояснюється тим, що плоди містять велику кількість води, яка є полярним діелектриком. Під впливом електричного поля молекули води деполаризуються, в результаті чого зростає кінетична енергія та температура внутрішніх шарів плодів, яка перевищує температуру їх поверхневих шарів. Нагрівання плодів відбувається рівномірно за всім об'ємом. Градієнт температури,

який виникає, направлений із внутрішніх шарів до поверхні плодів і співпадає з напрямом термодифузії вологи. В результаті випаровування вологи розпочинається у всьому об'ємі плода, причому у центрі плоду воно інтенсивніше, що спричиняє виникнення градієнта загального тиску. Але при НВЧ-нагріванні плодів вологовміст поверхневих шарів вищий, ніж центральних, градієнт вологовмісту перешкоджає переміщенню вологи до поверхні плодів. Тому з метою рівномірного розподілу вологовмісту всередині плодів НВЧ-нагрівання краще проводити нетривалий час і комбінувати його із конвективним сушінням.

При комбінуванні конвективного сушіння з НВЧ-нагріванням основне рівняння кінетики процесу можна записати у вигляді [7]:

$$r \frac{d\bar{u}}{d\tau} R_v \rho_0 (1 + K_c R b_0) = Q_v R_v + q_n(\tau), \quad (1)$$

де K_c – критерій, який враховує зміну теплоємності вологого плоду;

r – питома теплота випаровування вологи, Дж/кг;

$R b_0$ – критерій Ребіндера, визначений відносно до сухого тіла,

$$R b_0 = \frac{c_0 b}{r};$$

R_v – геометричний параметр, який характеризує відношення об'єму плоду до його площі поверхні, м;

Q_v – кількість тепла, що виділяється у одиниці об'єму плоду, Вт/см³.

При НВЧ-нагріванні величина Q_v визначається за формулою:

$$Q_v = A E^2 v \varepsilon_v \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (2)$$

де A – сталий коефіцієнт;

E – напруженість зовнішнього електричного поля, В/см;

v – частота, Гц;

ε – діелектрична проникність;

δ – кут діелектричних втрат.

Використовуючи відомі критерії рівняння (1), можна записати таким чином:

$$K i_m(\tau) L u K o (1 + K_c R b_0) = K i_q(\tau) + P o(\tau), \quad (3)$$

де $K i_m(\tau)$ – масообмінний критерій Кірпічова, який характеризує інтенсивність випаровування вологи;

$K i_q(\tau)$ – критерій Кірпічова, що відображає теплові втрати у навколишнє середовище;

Lu – критерій Ликова;

Ko – критерій Косовича;

$Po(\tau)$ – критерій Померанцева, який визначається з відношення

$$Po(\tau) = \frac{Q_v R_v^2}{\lambda T_c}, \quad (\lambda - \text{коефіцієнт теплопровідності плоду}).$$

Період постійної швидкості сушіння характеризується незначною зміною температури плоду та мінімальними втратами тепла, тому можна прийняти $Rb_0 \approx 0$ і $Ki_q(\tau) \approx 0$. Тоді критеріальне рівняння (3) матиме вигляд:

$$Ki_m(\tau) Lu Ko = Po(\tau). \quad (4)$$

Відповідно до (4) інтенсивність випаровування вологи буде зростати із зростанням частоти та напруженості зовнішнього електричного поля.

Після закінчення періоду постійної швидкості сушіння інтенсивність випаровування вологи зменшується і починає зростати температура плодів.

Висновок. Аналіз проведених досліджень вказує на те, що інтенсифікувати процес випаровування вологи із кісточкових плодів можна поєднанням конвективного сушіння із НВЧ-нагріванням плодів. Отримані криві сушіння дають можливість скоротити розрахунки технологічних режимів сушіння кісточкових плодів у комбінованих сушарках.

Література

1. Шапар Р.О. Інтенсифікація процесів сушіння рослинних пектиновмісних матеріалів: Дис...канд. тех. наук.: – К., 2004. – 196 с.
2. Снежкін Ю.Ф. Переробка рослинної сировини на сушену продукцію / Ю.Ф. Снежкін, Р.О. Шапар, Ж.О. Петрова, В.М. Чалаєв, В.С. Шаврін, Г.К. Воспітанніков / Наукові доповіді НАУ. – Київ, 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журн.: <http://www.nbuu.gov.ua/e-Journals/nd/2006-2/06syfodp.pdf>
3. Яровий І.І. Деякі проблеми експериментального моделювання процесів сушіння рослинної сировини в мікрохвильовому електромагнітному полі / І.І. Яровий, О.В. Катасонов / Наукові праці ОНАХТ – Вип. 47. Т2. – Одеса, 2015 – с. 227-231.
4. Панасюк С.Г. Дослідження процесу сушіння яблук. / С.Г. Панасюк // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за

напрямок «Інженерна механіка»). Випуск №39. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2012. – С.141-144.

5. Панасюк С.Г. Дослідження впливу температури та методів попередньої обробки сировини на процес сушіння. / С.Г. Панасюк, О.В. Лисик // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. праць. Вип.27. – Луцьк, 2014. – с.85-89.

6. Панасюк С.Г. Порівняльна оцінка методів енергозбереження при сушінні яблук. / Р.В. Кірчук, С.Г. Панасюк, В.В. Тарасюк // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Вип. 3. – Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2015. – С. 214-222.

7. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.