

ЕКОЛОГІЧНІ ЕНЕРГООЩАДНІ СУШАРКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРОДУКЦІЇ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

І. Г. Грабар, д. т. н., професор
Житомирський національний агроекологічний університет

Значення процесу сушіння в багатьох технологічних процесах переробки органічної продукції є надзвичайно важливим – як з позиції зберігання, так і з позиції набуття нових корисних властивостей. Як правило, рослинна сировина після заготівлі містить 60-80 % вологи. В той же час ферментна активність сировини суттєво знижується при вологості 20-25 %, а при досягненні вологості до 10-15 % активність ферментів припиняється, а значить, призупиняються хімічні процеси, що руйнують сировину. Це суттєво збільшує тривалість її зберігання. При цьому сировина продукції органічного виробництва (ПОВ), що містить глікозиди та алкалоїди, відносно добре висушується при температурах +55...60⁰С, не втрачаючи якості, тоді як для сировини ПОВ, що містить ефірні масла, оптимальною температурою сушіння є 35-45⁰С. Останнє особливо стосується лікарських рослин. Як правило, вміст вологи в сировині лікарських трав не має перевищувати 15%.

Найвні на ринку інфрачервоні, конвеєрні, тунельні, карусельні сушарки є занадто дорогими для невеликих фермерських господарств – і за ціною, і за експлуатаційними витратами.

Нами розроблено гамму модульних сушарок для органічного виробництва: МС-4 - МС-10 з корисним об'ємом 4... 10 м³, з максимально низькими енергетичними та економічними показниками: витратами на енергоносії 0,3-0,5 грн/1 кг сухої продукції та вартістю 1 м³ робочого об'єму камери 5...10 тис грн. Температура в сушильній камері – в діапазоні +30...55 ⁰С. Монтаж і налаштування такої сушарки «під ключ» здійснюється протягом 10 днів. Термін окупності – 0,2-0,5 року.

На даний час виготовлено 4 дослідних зразки з корисним об'ємом від 4 до 10 м³, що успішно апробовані в ряді СВГ Житомирщини.

Стандартний модуль, що живиться від енергетичної установки 60 кВт, дозволяє завантажувати до 1...1,5 т сировини, з 24-годинним циклом дозволяє отримати 300-500 кг сухої продукції.

Використаємо модель Арреніуса до процесу висушування сировини з m_0 до m_p , як твердофазної реакції, що пробігає за час τ_1 при температурі T_1 :

$$\tau_1 = \tau_0 \exp \frac{U_0}{kT} \quad (1)$$

Легко бачити, що наявність лише однієї експериментальної точки $\{\tau_1; T_1\}$ дозволяє визначити енергію активації процесу [1-3] та визначити час сушіння τ_2 при будь-якій температурі T_2 . Для продуктів органічного виробництва діапазон підвищення температури сушіння має бути наближеним до режимів природної сушки. В таблиці 1 наведені режими прискореного сушіння, коли природна сушка при $T_1 = 293 \text{ K}$ (20°C) становила τ_1 відповідно 50; 100; 150 та 200 годин.

Як видно з таблиці 1, кожне підвищення температури сушіння лише на 10°C прискорює (в наближенні моделі постійності енергії активації) процес сушіння в 3,5...4 рази!

Таблиця 1

Режими прискореного сушіння

Час сушіння (годин) при $T_1=293\text{K}$ (20°C)	Час сушіння (годин) при температурі			
	303 K (30°C)	313 K (40°C)	323 K (50°C)	333 K (60°C)
50	12,5	3,4	1,0	0,32
100	24,4	6,5	1,9	0,59
150	36,1	9,5	2,7	0,84
200	47,6	12,5	3,5	1,08

При цьому швидкість зменшення маси сировини при сушінні гарно описується диференціальним рівнянням (2):

$$\frac{dm}{dt} = -\lambda m \quad (2)$$

що після інтегрування дає:

$$m(t) = (m_0 - m_p) e^{-\lambda t} + m_p \quad (3)$$

де m_0 та m_p – початкова маса сировини та залишкова (рівноважна) маса висушеної продукції.

На рисунках 1-6 наведені кінетичні криві процесу сушіння ряду культур ПОВ.

В таблиці 2 наведено результати апроксимації даних експериментальних результатів запропонованою моделлю (3). Як видно з таблиці 2, значення m_p (вихід продукції після сушіння) змінюється в широкому діапазоні – від 0,17 для яблук до 0,782 – для цукатів. При цьому параметр швидкості процесу сушіння λ змінювався від 0,023 для суцвіть пижми до 0,138 для липового цвіту.

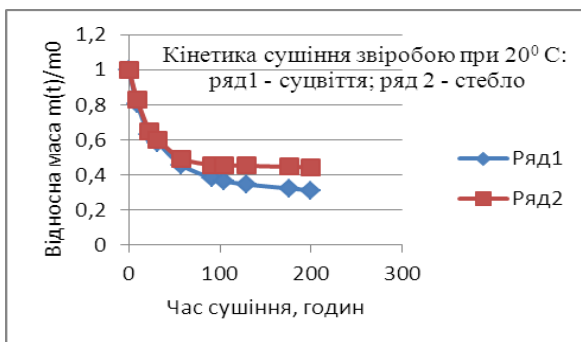


Рис.1. Кінетика сушіння звіробою

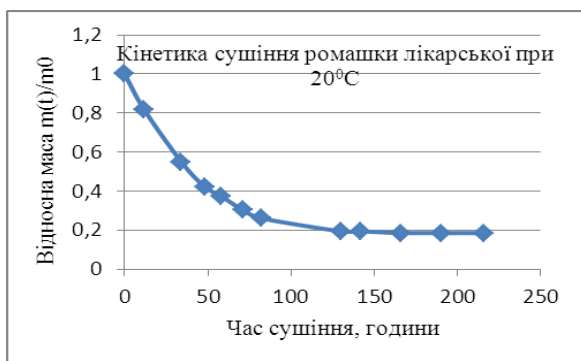


Рис.2. Кінетика сушіння ромашки лікарської

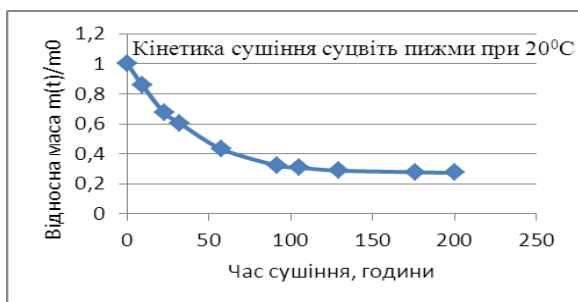


Рис.3. Кінетика сушіння суцвітть пижми

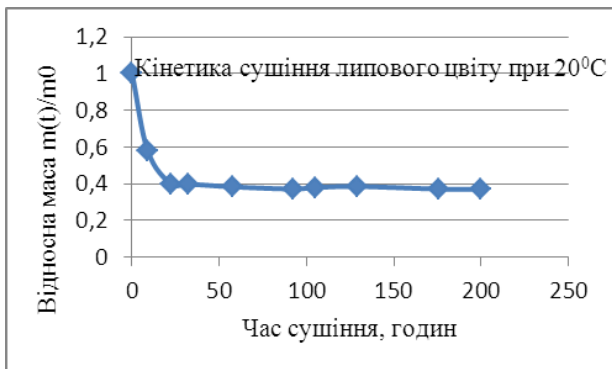


Рис.4. Кінетика сушіння липового цвіту



Рис.5. Кінетика сушіння яблук



Рис.6. Кінетика сушіння цукатів гарбузяних

Як видно з графіків (рис.1-6), при менших значеннях λ час природного сушіння сягає до 200 годин (8 діб), тоді як для більших значень λ , як у випадку липового цвіту, час досягнення m_p не перевищує 25 годин.

Аналіз даних таблиць 1 та 2, а також графіків (рис.1-6) показує, що час сушіння липового цвіту недоречно скорочувати підвищенням температури в камері сушарки. В той же час сушіння інших лікарських трав доцільно інтенсифікувати підвищенням температури на 10-20⁰С, що дозволяє скоротити час сушіння, наприклад, пижми в 10-15 разів – з 200 годин до 12...20. При цьому температура в сушильній камері (40-45⁰С) забезпечує максимальне збереження ефірних масел висушеної продукції.

Таблиця 2

Параметри моделі (3) для сушіння ПОВ при кімнатних температурах

№ п/п	Культура	m_p/m_0	λ	$R^2_{1/1}$
1	Звіробій, квіти	0,31	0,034	0,999
2	Звіробій, стебло	0,44	0,04	0,998
3	Пижма, перед цвітінням	0,27	0,027	0,994
4	Пижма, початок цвітіння	0,25	0,023	0,986
5	Липовий цвіт	0,36	0,138	0,998
6	Листя липи	0,38	0,049	0,985
7	Цвіт ромашки лікарської	0,18	0,027	0,969
8	Яблука	0,17	0,06	0,998
9	Цукати гарбузові	0,782	0,027	0,999

Апроксимація кривих природного та прискореного сушіння з коефіцієнтом кореляції не менше 0,96 підтверджує модель (3) та дані таблиці 1 для ПОВ, наведених в таблиці 2, а також при сушінні деревини з розпилем дощок товщиною до 30 мм.

Література

1. Грабар І. Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування / І. Г. Грабар – Житомир : ЖІТІ. – 2002. – 312 с.
2. Родова садиба / М. Л. Васильєв, І. Г. Грабар, М. Ф. Плотнікова, С. В. Молодецька. – Житомир : Рута. – 2017. – 272 с.
3. Перколяційно-фрактальні матеріали / І. Г. Грабар, О. І. Грабар, О. А. Гутніченко, Ю. О. Кубрак. – Житомир : ЖДТУ. – 2007. – 354 с.