Вісник ЖНАЕУ **№ 1 (47), т. 1 2015**

Механізація

УДК 631.365:635.54

І. В. Нездвецька
к. т. н.
Житомирський національний агроекологічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦИКОРІЮ КОРЕНЕВОГО

У статті наводиться обґрунтування конструкційно-кінематичних параметрів барабанної сушарки, адаптованої для сушіння коренів цикорію, в якій здійснюється періодичний вплив теплової енергії на об'єкт сушіння. Викладені результати експериментальних досліджень доводять зв'язок конструкційно-кінематичних параметрів сушарки з технологічними параметрами процесу сушіння – тривалістю періоду опромінювання матеріалу і періоду його відлежування. Дані дослідження підтверджують можливість застосування періодичного впливу енергії ІЧ-випромінювання на об'єкт сушіння у сушарках барабанного типу.

Ключові слова: *цикорій кореневий, інфрачервоне випромінювання, випромінювач, технологія, параметри, енерговитрати.*

Постановка проблеми

Сушіння сільськогосподарської продукції є технологічно складним і енергомістким процесом. Енергомісткість деяких технологій сушіння характеризується показниками до 3 кВт·год/кг випареної вологи. Вплив високих температур на органічний матеріал негативно відображається на його якісних показниках, що знижує ринкову конкурентоспроможність. Знизити енергомісткість процесу сушіння органічних матеріалів при умові збереження їх якісних показників можливо застосуванням періодичного впливу на матеріал енергії випромінювання інфрачервоного діапазону. Така технологія, за даними досліджень [1, 2], характеризується питомими енерговитратами, не більшими за 1,5 кВт·год/кг, а специфіка впливу електромагнітних хвиль ІЧ-діапазону на матеріал дозволяє максимально зберегти його біологічно активні компоненти. Конструкційна реалізація періодичного впливу енергії ІЧ-випромінювання на об'єкти сушіння можлива у сушарках барабанного типу, де матеріал може підлягати періодичному опроміненню під час обертання барабана [3]. Проведені теоретичні дослідження [4] впливу конструкційних параметрів сушильного барабана на технологічні періоди опромінювання потребують експериментального обґрунтування.

© І. В. Нездвецька

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [1, 2] наведені результати досліджень процесів сушіння сільськогосподарської сировини за допомогою енергії інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, доведено позитивний вплив застосування цієї технології на ефективність процесу – максимальне збереження якісних показників об'єкта сушіння при мінімальних питомих енерговитратах.

Аналіз проведених теоретичних та експериментальних досліджень [1, 2, 4, 5] свідчить, що засоби механізації для сушіння сипких матеріалів рослинного походження вивчено ще недостатньо. Перспективним є подальший розвиток такого обладнання, зокрема для цикорію кореневого, створення конструкцій сушильних установок барабанного типу зі забезпеченням періодичної дії на матеріал енергії інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, що дасть змогу обмежити критичну дію високих температур, а, отже, одержати кінцевий продукт із високими якісними показниками та гарантувати бажану продуктивність за умови мінімізації питомих енерговитрат.

Представлені у роботах [4, 6] теоретичні дослідження руху матеріалу коренів цикорію, подрібнених на шматочки розміром близько 10–15 мм, встановлюють зв'язок конструкційно-кінематичних і технологічних параметрів барабанної сушарки з ІЧ-джерелом теплової енергії. Разом з тим, викладені теоретичні передумови потребують практичних досліджень.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є практичне дослідження впливу конструкційно-кінематичних параметрів сушарки барабанного типу з ІЧ-джерелом теплової енергії на технологічні параметри процесу сушіння, адаптованого для коренів цикорію.

Експериментальні дослідження було здійснено у два етапи. На першому етапі уточняли окремі механіко-технологічні властивості коренів цикорію та досліджували в лабораторних умовах вплив конструкційних параметрів сушарки барабанного типу з періодичним впливом теплової енергії на технологічні показники процесу сушіння. На другому етапі було досліджено технологічний процес сушіння продукції рослинного походження на експериментальній установці, адаптованій до технологічної лінії виробництва сушеного цикорію кореневого у виробничих умовах. За критерії оптимізації прийнято показники енергомісткості технологічного процесу сушіння та вмісту інуліну у кінцевому продукті.

Результати досліджень

Для перевірки висновків теоретичних досліджень й встановлення раціональних режимів періодичного опромінювання були використані стандартні та спеціально виготовлені лабораторні прилади і установка (рис. 1).

Рис. 1. **Модель барабанної сушарки:** *1 – корпус барабана; 2 – накладка із органічного скла з нанесеною кутовою шкалою; 3 – ІЧ-випромінювач; 4 – ланцюгова передача; 5 – напрямна похила поличка; 6 – перемішуюча лопатка*

У моделі сушарки передбачено можливість зміни кута нахилу β напрямної полички 5 до горизонту, заміну лопаток 6 щодо їх геометричних розмірів (висоти l й радіуса заокруглення r) та заданої їх кількості z. Зміна частоти обертання барабана n здійснювалася частотним регулятором живлення електродвигуна Барс-Зад.

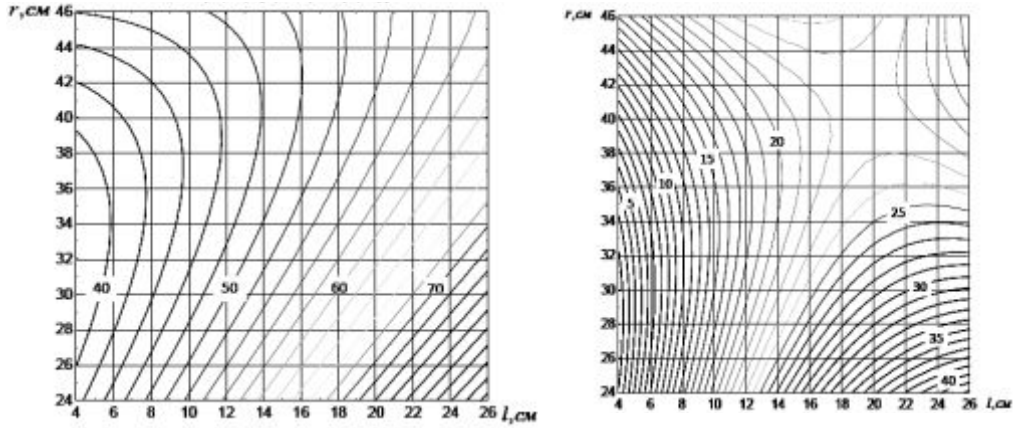
Обробка експериментальних даних проводилася за стандартною методикою планування та обробки результатів багатофакторних експериментів, за допомогою розроблених програм із використанням табличного процесора Excel. Перевірка адекватності отриманих експериментальних моделей проводилася за критеріями Фішера та Стьюдента.

З аналізу експериментальних даних дослідження впливу геометричних параметрів лопатки (висоти l та радіуса заокруглення r) на кут підйому a частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана отримано рівняння регресії (1), (2) для початкової (W = 75 %) та кінцевої (W = 14 %) вологості цикорію відповідно:

$$б = 72,5 + 3,3l - 2,65r + 0,02l^2 - 0,07lr + 0,045r^2,$$

$$б = 18,43 + 5,43l - 2,4r - 0,058l^2 - 0,078lr + 0,048r^2$$

та окреслено відповідні поверхні відгуку (рис. 2). Із сумісного аналізу рівнянь (1), (2) та контурів поверхонь (рис. 2), встановлено, що гарантований підйом частинок матеріалу на кут $б = (20...50)^0$ забезпечується при довжині лопатки $l = 0,15$ *м* та радіусі її заокруглення $r = (0,35...0,4)$ *м*.



а) б)

Рис. 2. **Контури поверхонь відгуку залежності кута підйому a частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана від висоти l та радіуса заокруглення r лопатки:** *а) для вологості цикорію 75 %; б) для вологості цикорію 14 %.*

За експериментальним дослідженням визначено залежність тривалості інтервалу опромінювання $t_{опр}$ від частоти обертання барабана n та кількості лопаток z, що встановлено периметром барабана, при фіксованому діаметрі барабана експериментальної установки ($D_б = 0,6\ м$), за аналізом яких отримано рівняння регресії з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$:

$$t_{опр} = 212,3 - 295,24\,n - 9,05\,z + 140,1\,n^2 + 3,03\,n\,z + 0,2\,z^2 .$$

Визначені коефіцієнти рівняння регресії (3) дали змогу графічно окреслити поверхню відгуку (рис. 3). Аналіз отриманих даних свідчить, що раціональні значення тривалості періоду опромінювання $t_{опр} = (30...50)\ c$ забезпечуються при таких параметрах сушарки: при кількості лопаток $z = 12\ шт.$ частота обертання барабана має становити $n = (0,4...0,6)$ хв$^{-1}$; при кількості лопаток $z = 8\ шт.$ частота обертання барабана має становити $n = (0,5...0,7)$ хв$^{-1}$.

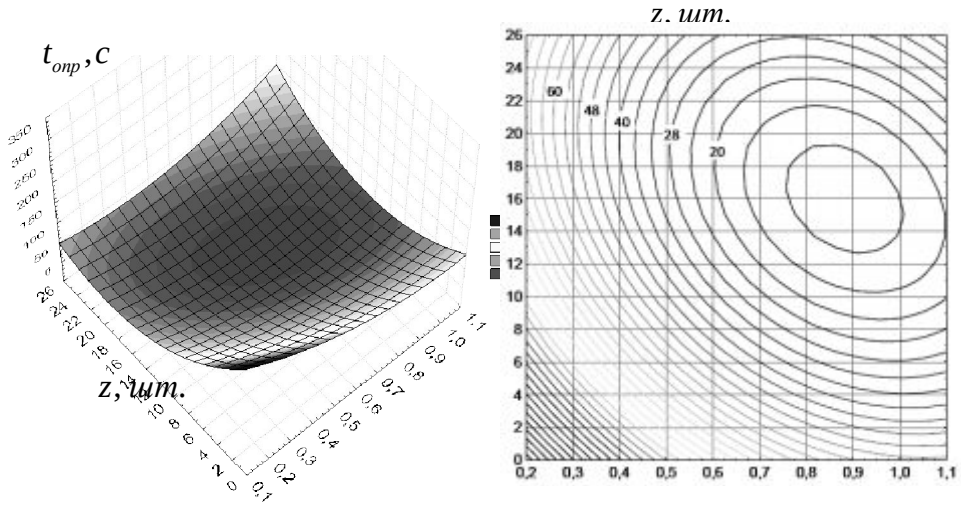


Рис. 3. **Поверхня відгуку залежності часу опромінювання матеріалу $t_{опр}$ від кількості лопаток z та частоти обертання барабана n**

Обробка експериментальних даних із дослідження тривалості періоду відлежування від кута b нахилу напрямної полички та частоти обертання барабана n, дала змогу отримати рівняння регресії (4) та поверхню відгуку (рис. 4):

$$t_{відл} = 204{,}4 - 309{,}4n + 0{,}047\,в + 192{,}9n^2 - 0{,}11n\,в + 0{,}001\,в^2 \ .$$

Із аналізу отриманих даних виходить, що при значеннях кута нахилу напрямної полички b від 18^0 до 44^0 технологічно рекомендована тривалість періоду відлежування $t_{відл} = (90...120)\,c$ забезпечується при частоті обертання барабана $n = (0{,}4...0{,}5)$ хв$^{-1}$.

Висновок те перспективи подальших досліджень

Результати лабораторних випробувань довели адекватність проведеного математичного моделювання [4, 6], що дає змогу рекомендувати розроблені моделі для використання при проектуванні технічних засобів галузі механізації переробки і зберігання продукції рослинництва.

У подальшому дослідження слід зосередити на вивченні впливу технологічних параметрів процесу сушіння на якісні показники сировини.

Література

1. *Гинзбург А. С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.

2. *Бурич О.* Сушка плодов и овощей: пер. с венгерского / *О. Бурич, Ф. Берки.* – М. : Пищевая промышленность, 1978. – 279 с.

3. Патент України (Винахід) 96243А, МПК *23N 12/08* (2006.01), *A23L 3/54* (2006.01), *A23B 7/02* (2006.01), *F26B 3/30* (2006.01). Установка для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження / *Лось Л. В., Кухарець С. М., Нездвецька І. В., Шубенко В. О.* (Україна); заявник і патентовласник – Житомирський національний агроекологічний університет. – № A201014874, заявл. 25.12.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

4. *Нездвецька І. В.* Теоретичні передумови визначення залежності технологічних параметрів процесу сушіння від конструкційних параметрів сушильного барабана / *І. В. Нездвецька* // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 95–101.

5. *Нездвецька І. В.* Визначення раціональних технологічних параметрів процесу сушіння цикорію кореневого з перервною дією теплової енергії / І. В. Нездвецька // Зб. заук. Пр. ПДАТУ. – 2012. – Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування : матеріали VII наук.-практ. конф. – С. 168–171.

6. Формалізація параметрів ІЧ-сушильних установок імпульсної дії при моделюванні технологічних процесів сушіння / *І. В. Нездвецька, С. М. Кухарець, С. С. Бучик, Л. А. Сидорчук* // Вісн. ЖДТУ. – 2012. – № 1. – С. 47–52.