

УДК 631.365:635.54

І. В. Нездвецька

к.т.н.

А. П. Войцицький

доцент

О. Б. Плужніков

аспірант

Житомирський національний агроекологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦИКОРІЮ КОРЕНЕВОГО ВІД КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СУШАРКИ

Наведено результати експериментальних досліджень раціональних конструкційно-кінематичних параметрів сушильного барабана при періодичному терморадіаційному впливі теплової енергії на об'єкт сушіння на прикладі цикорію кореневого.

Ключові слова: сушіння, цикорій кореневий, ІЧ-випромінювання, період опромінювання, період відлежування.

Вступ

Сушіння с.-г. матеріалів харчового призначення, якісні показники яких критичні до дії високих температур, можливе в сушарках барабанного типу з терморадіаційним енергопідведенням. При цьому ефективність процесу підвищується при забезпеченні періодичного впливу теплової енергії на матеріал – досягається висока продуктивність процесу сушіння при збереженні якісних показників об'єкту сушіння при мінімальних енерговитратах. Періодичний вплив теплової енергії досягається за рахунок вдосконалення конструкції сушильного барабана [1]. Постає задача обґрунтування і узгодження конструктивно-кінематичних параметрів сушарки при яких забезпечуються раціональні технологічні параметри періодичного впливу теплової енергії на матеріал.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Доцільність застосування періодичного впливу теплової енергії інфрачервоного (ІЧ) діапазону на матеріал розглянуто в дослідженнях А. С. Гінзбурга, С. Г. Ільясова, А. В. Ликова, І. А. Рогова та інших [2, 3, 4, 5]. Проте розрахунок конструкційно-технологічних параметрів сушарок має свою специфіку, оскільки кожна сушарка має свої конструкційні особливості, характеризується наявністю тих чи інших складових, які впливають на технологічні параметри і ефективність процесу сушіння.

Мета досліджень

Обґрунтування конструкційно-кінематичних параметрів барабанної сушарки з періодичним впливом теплової енергії ІЧ-діапазону на об'єкт сушіння, що забезпечується за рахунок регулювання тривалості перебування матеріалу під дією теплової енергії.

Результати досліджень

Встановлення режимів перервної дії енергії ІЧ-випромінювання на матеріал забезпечується регулюванням інтенсивності випромінювання або регулюванням тривалості перебування матеріалу в зонах опромінювання та відлежування шляхом забезпечення геометричних та кінематичних параметрів обладнання. Регулювання тривалості перервної дії енергії ІЧ-випромінювання на матеріал за рахунок зміни теплової потужності випромінювача ускладнено інерційністю нагрівного обладнання, яке використовується при ІЧ-сушінні, а перехідні процеси, що виникають при цьому, призводять до зниження терміну його експлуатації і викликають підвищення приведених витрат при сушінні сільськогосподарської продукції.

Організувати перервне опромінювання матеріалу, зокрема в сушарках барабанного типу, можливо регулюванням тривалості перебування матеріалу в зонах опромінювання та відлежування за рахунок зміни внутрішньої конструкції сушарки [1].

Дослідження впливу конструкційно-кінематичних параметрів (радіусу заокруглення r та висоти l лопатки, кількості лопаток Z , частоти обертання n барабана) сушарки на технологічні параметри процесу сушіння проводились із використанням моделі-імітатора барабанної сушарки (рис. 1 а).

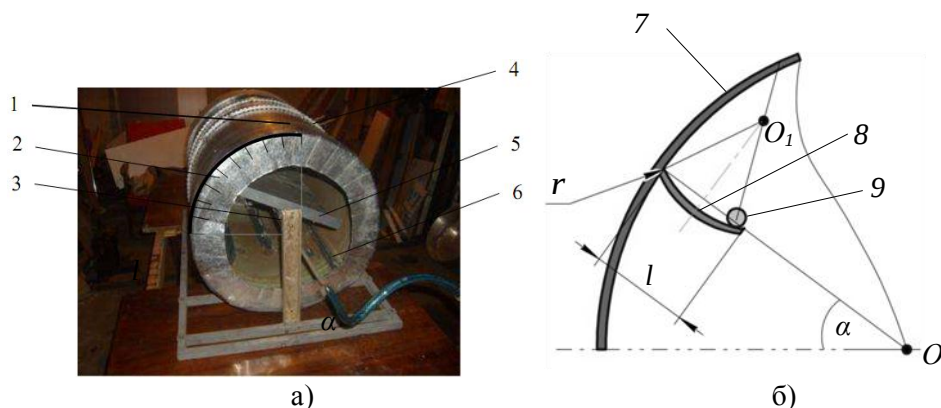


Рис. 1. Модель барабанної сушарки:

- а) загальний вигляд: 1 – корпус барабана; 2 – кутова шкала; 3 – джерело енергії ІЧ-випромінювання; 4 – ланцюгова передача; 5 – напрямна похила полицка; 6 – перемішуюча лопатка; б) фрагмент поперечного перерізу барабана: 7 – корпус барабана; 8 – лопатка; 9 – частинка матеріалу.

Перевірка та уточнення залежності кута підйому α (рис. 1 б) частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана від параметрів лопатки барабана

(висоти l та радіусу округлення r) здійснювалась візуально за допомогою встановленої на одному із торців барабана проградуйованої шкали 2 (рис. 1 а).

У барабані передбачено можливість заміни лопаток, що виконані з оцинкованого заліза товщиною 0,5 мм, на лопатки з іншими геометричними параметрами (висотою l та радіусом заокруглення r). Отримані в результаті експеримента дані після відповідної математичної та статистичної обробки дозволили визначити залежність $\alpha = f(l, r)$ при ступенях вологості матеріалу $W=(14...16)\%$ (рис. 2 а) та $W=(73...75)\%$ (рис. 2 б).

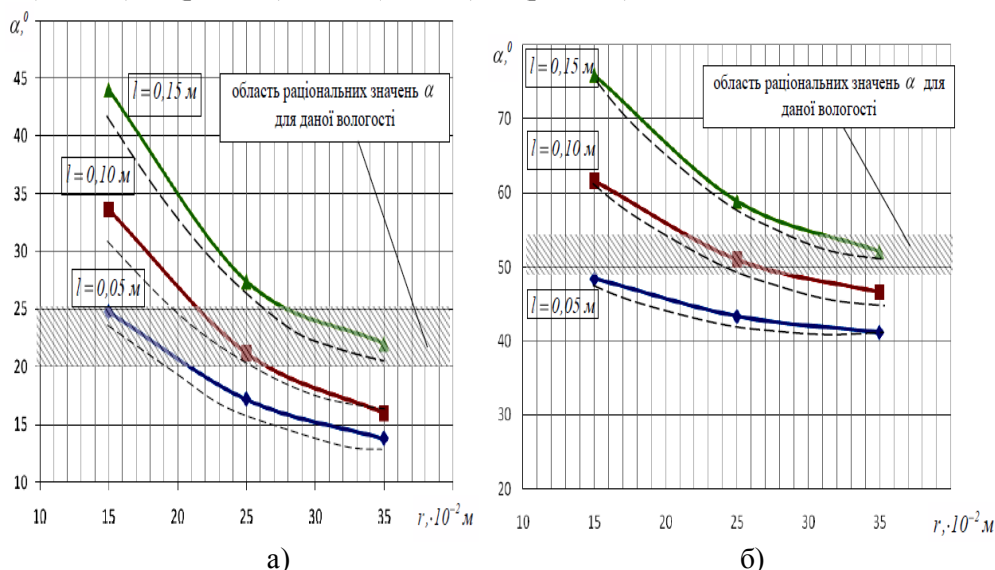


Рис. 2. Експериментальна графічна залежність впливу висоти l та радіусу округлення r лопатки барабана на величину кута α підйому частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана:

а) вологість матеріалу $W=(14...16)\%$; б) вологість матеріалу $W=(73...75)\%$

– теоретична залежність $\alpha = f(r)$;

– експериментальна залежність $\alpha = f(r)$.

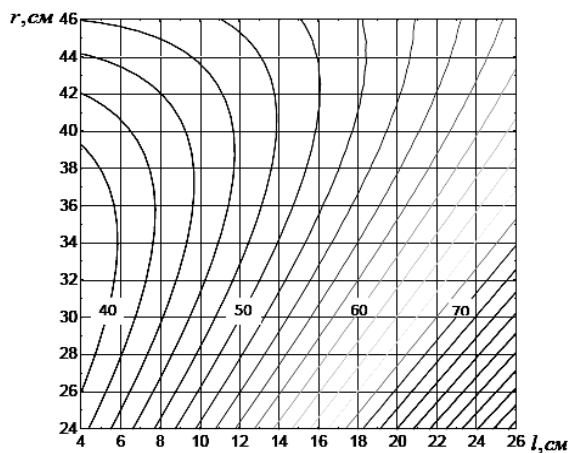
Регресійний аналіз даних щодо залежності кута підйому α частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана від висоти лопатки l та радіусу її заокруглення r , дозволив визначити коефіцієнти відповідних рівнянь для матеріалу вологістю $W = (14...16)\%$:

$$\alpha = 18,43 + 5,43l - 2,4r - 0,058l^2 - 0,078lr + 0,048r^2 \quad (1)$$

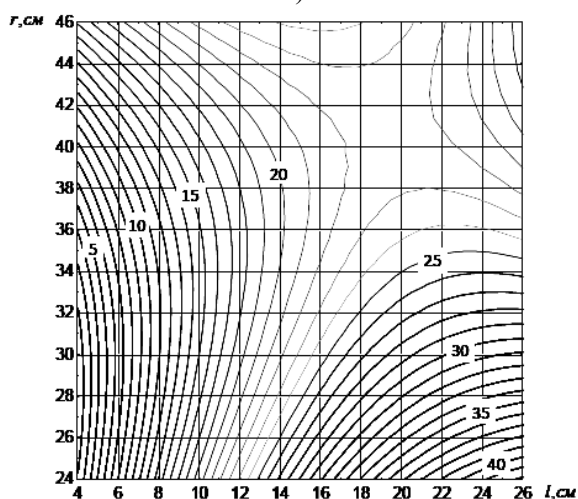
та для матеріалу вологістю $W = (73...75)\%$:

$$\alpha = 72,5 + 3,3l - 2,65r + 0,02l^2 - 0,07lr + 0,045r^2 \quad (2)$$

На основі отриманих рівнянь побудовано відповідні графічні залежності (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. 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 %.

Із сумісного аналізу рівнянь (1), (2) та контурів поверхонь (рис. 3), встановлено, що гарантований підйом частинок матеріалу на необхідний кут

$\alpha = (20...50)^\circ$ забезпечується при довжині лопатки $l = 0,15$ м та радіусі її заокруглення $r = (0,35...0,4)$ м.

Подальші експериментальні дослідження, проведені на моделі сушарки (рис. 1) дозволили визначити залежність тривалості періоду опромінювання $t_{опр}$ матеріалу від частоти обертання барабана n та кількості лопаток Z , що встановлено по внутрішньому периметру барабана. В результаті обробки експериментальних даних отримано відповідні графічні залежності (рис. 4).

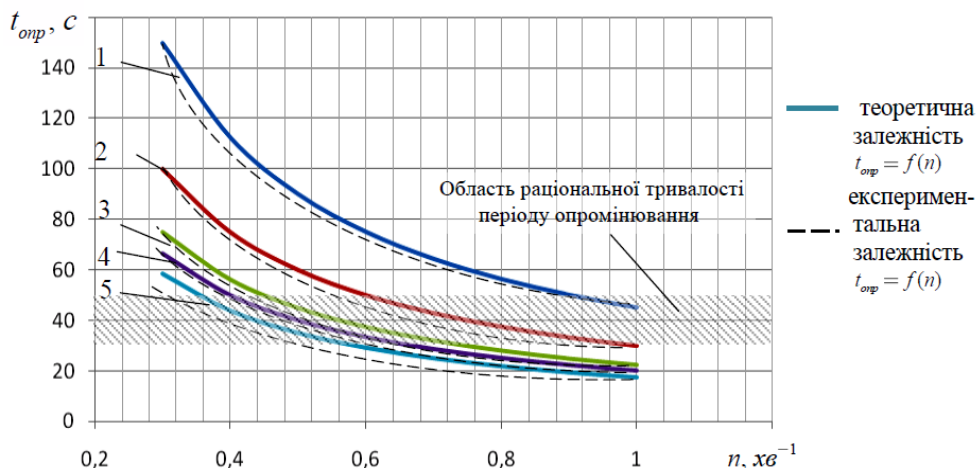


Рис. 4. Залежність часу опромінювання матеріалу від частоти обертання барабану n та кількості лопаток Z :

- 1 – кількість лопаток $Z = 2$ шт.; 2 – кількість лопаток $Z = 4$ шт.;
3 – кількість лопаток $Z = 8$ шт.; 4 – кількість лопаток $Z = 12$ шт.;
5 – кількість лопаток $Z = 24$ шт.

За аналізом експериментальних даних (рис. 4) отримано відповідну регресійну залежність з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$:

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

Визначені коефіцієнти рівняння регресії (3) дали змогу графічно окреслити відповідну поверхню відгуку (рис. 5). Аналіз отриманих даних свідчить, що раціональні значення тривалості періоду опромінювання $t_{опр} = (30...50)$ с [6] 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.

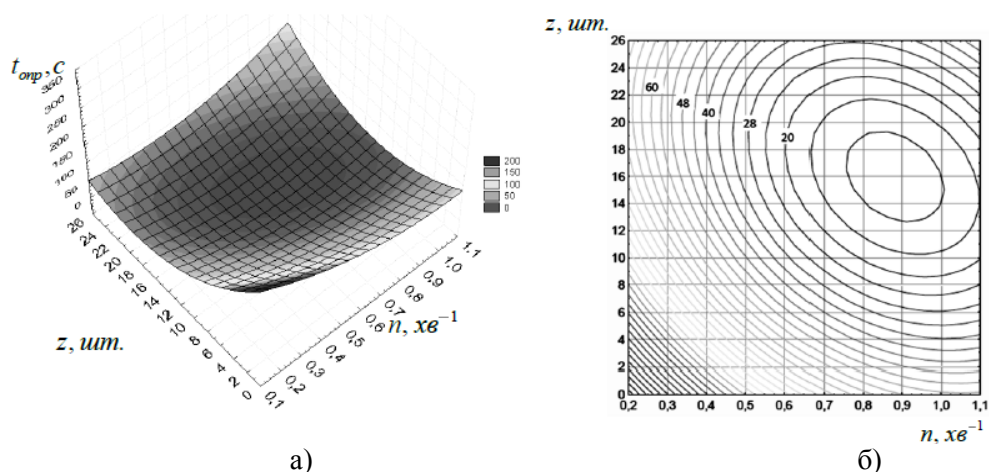


Рис. 5. Поверхня відгуку (а) залежності часу опромінювання матеріалу $t_{опр}$ від кількості лопаток Z та частоти обертання барабана n та її контури (б)

Перевірка та уточнення теоретичних передумов [7] впливу частоти обертання n (хв⁻¹) та кількості лопаток Z (шт.), що встановлено по внутрішньому периметру барабана, на тривалість інтервалу опромінювання $t_{опр}$ (с) проводилась за допомогою візуальних даних, отриманих на імітаційній моделі (рис. 1). Частота обертання барабана регулювалась за допомогою частотного регулятора живлення електродвигуна Барс-Зад. Час перебування окремо взятої частинки матеріалу в зоні опромінювання фіксувався за допомогою секундоміра. Зона опромінювання визначалась геометрично, як така, що обмежена двома уявними симетричними поверхнями, проведеними із точки перетину вертикальної осі симетрії барабана та центра ІЧ-випромінювача під кутом 45°.

Висновки

Проведені дослідження дозволили встановити раціональні значення конструкційних параметрів барабанної сушарки з ІЧ-енергопідведенням, при яких забезпечуються технологічно необхідні значення перервного опромінювання матеріалу, при яких можливе отримання на виході продукту високої якості при мінімальних приведених енерговитратах. Одже, для сушіння коренів цикорію в сушарках подібних конструкцій раціональні значення тривалості періоду опромінювання $t_{опр} = (30...50)$ с забезпечуються при таких параметрах сушарки: для кількості лопаток $z = 12$ шт. частота обертання барабана має складати $n = (0,4...0,6)$ хв⁻¹; для кількості лопаток $z = 8$ шт.

частота обертання барабана має складати $n = (0,5...0,6)$ хв⁻¹. Гарантоване транспортування матеріалу цикорію на напрямну поверхню забезпечується при встановленні лопаток довжиною $l = 0,15$ м та радіусом їх заокруглення $r = (0,35...0,4)$ м

Література

1. Патент України на винахід 96243А, МПК 23N 12/08 (2006.01). Установка для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження / *Л. В. Лось, С. М. Кухарець, І. В. Нездвєцька, В. О. Шубенко* (Україна). – № А201014874, заявлено 25.12.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл.№19. – 8 с.
2. *Гинзбург А. С.* Инфракрасная техника в пищевой промышленности / *А. С. Гинзбург*. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
3. *Ильясов С. Г.* Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов / *С. Г. Ильясов, В. В. Красников* – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 360 с.
4. *Лыков А. В.* Теория сушки / *А. В. Лыков*. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
5. *Рогов И. А.* Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / *И. А. Рогов*. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
6. *Нездвєцька І. В.* Формалізація параметрів ІЧ-сушильних установок імпульсної дії при моделюванні технологічних процесів сушіння / *І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець, С. С. Бучик, Л. А. Сидорчук* // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 1. – С. 47–52.
7. *Нездвєцька І. В.* Теоретичні передумови визначення залежності технологічних параметрів процесу сушіння від конструкційних параметрів сушильного барабана / *І. В. Нездвєцька* // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 170, Ч. 2. – С. 95–101. – Серія: Техніка та енергетика АПК.