

2. Шульга О.С. Розроблення технології екструзійних картоплепродуктів підвищеної харчової цінності: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / О.С. Шульга. – К., 2009. – 162 с.
3. Физиология человека: учебник. Т. I / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. – М.: Медицина, 1997. – 448 с.

УДК 664.723.3.036.282

Бошкова І.Л., канд. техн. наук, доц., Дементьєва Т.Ю. (ОНАХТ, Одеса)

УСТАНОВКА ДЛЯ СУШІННЯ ЩІЛЬНОГО ШАРУ ЗЕРНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВУ

У статті наведено результати теплових розрахунків мікрохвильово-конвективної сушарки для зерна. Показано, що існує можливість створення принципово нової сушарки для зерна з покращуваними енергетичними характеристиками.

Ключові слова: мікрохвильово-конвективна сушарка, утилізація теплоти, енергетична ефективність, установка, конструкція, характеристики.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Особлива значущість вдосконалення техніки і технології сушіння зерна обумовлена значним об'ємом матеріалу, що потребує сушіння, великою питомою енергоємністю процесу і високими вимогами до збереження якості кінцевого продукту. Створення новітніх ресурсо- і енергозберігальних технологій вживання мікрохвильового випромінювання є одним із перспективних напрямків. На цей час інтенсифікація під впливом мікрохвильового поля успішно застосовується у ряді промислових процесів, наприклад, нагрівання, екстрагування, стерилізація, дезинсекція. До особливого розділу слід віднести технології сушіння діелектричних матеріалів харчової промисловості й агропромислового комплексу [1-3]. Показано, що діелектричне нагрівання від мікрохвильового (МХ) поля може мати певні переваги в операціях сушіння, що містять високу енергетичну ефективність та однорідніший розподіл вологовмісту [4; 5]. Про можливість отримання істотного економічного ефекту при переході на використання мікрохвильових технологій свідчать дані робіт [6; 7]. У роботі [7] наголошується, що в цілому продуктивність МХ сушарок приблизно в 5 разів вище за продуктивність сушарок традиційного типу за потужності, що споживається, від силової електромережі, а якість готового продукту є істотно вищою. У роботі [8] встановлено, що використання розробленої мікрохвильової сушильної установки у процесі сушіння насіння рапсу дозволяє отримати готовий продукт із необхідною якістю за питомих витрат теплоти $4,1 \text{ МДж/кг}^{\text{вологи}}$, що на 24,1% нижче, порівняно із сушильною (конвективною) установкою.

Незважаючи на наявні успіхи в дослідженні процесів сушіння в мікрохвильовому полі, є відсутніми відповіді на низку важливих питань, що не дозволяє впровадити у виробництво нову технологію, засновану на мікрохвильовому

нагріванні. На цей час вже є рекомендації з вибору способу та режиму мікрохвильово-конвективної (МК) сушарки [9]. Після проведення випробування й аналізу роботи окремих вузлів пілотної установки [10] з'явилася можливість перейти до проектування сушарки для промислового вживання.

Метою статті є розроблення енергоефективної мікрохвильово-конвективної сушарки (МКС) для зерна. Структурно МКС, що розробляється, складається із завантажувального бункера з камерою попереднього підігрівання зерна, камери сушіння й охолоджувача висушеного матеріалу, та є установкою безперервної дії, в якій зерно проходить під дією гравітації у вигляді щільного шару. Необхідна кількість магнетронів і параметри повітря, що вживається для вентиляції шару зерна (витрата і температура), визначаються розрахунковим шляхом [11].

Виклад основного матеріалу. У цій роботі розглядалися дві схеми: у першій попереднє підігрівання здійснюється за рахунок теплоти повітря з охолоджувача зерна, як пропонується в патентах [12; 13]. При цьому є необхідним використання рекуперативного теплообмінника для підігрівання зерна, оскільки після охолоджувача повітря буде вологим. У другій схемі підігрівання здійснюється за рахунок теплоти повітря із системи повітряного охолодження (СПО) магнетронів. У цьому випадку немає необхідності в рекуперативному теплообміннику, можна здійснювати безпосереднє продування шару зерна.

Для проведення розрахунку приймалися наступні вихідні дані: продуктивність установки за вологим матеріалом $G_m = 0,3$ кг/с; вологовміст матеріалу на вході $u_0 = 0,2$ кг/кг, на виході із сушарки $u_k = 0,14$ кг/кг; температура матеріалу на вході в установку $t_{m1} = 19^\circ\text{C}$; максимально допустима температура матеріалу $t_{\text{max}} = 60^\circ\text{C}$; температура сушильного агента (повітря) на вході в установку $t_{e1} = 19^\circ\text{C}$. Основні характеристики МК сушарок, що отримані в результаті розрахунків, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики мікрохвильово-конвективних сушарок із різними джерелами теплоти для попереднього підігрівання зерна

Найменування	Підігрівання повітрям з охолоджувача зерна	Підігрівання повітрям із СПО
Потужність, що споживається, кВт	79,7	57,87
Кількість магнетронів, шт.	46	34
Температура повітря на виході з камери сушіння, $^\circ\text{C}$	49,0	54
Температура матеріалу на виході з камери сушіння, $^\circ\text{C}$	48,7	53,5
Маса зерна в камері сушіння, кг	140	132,3
Висота камери сушіння, м	0,7	0,662
Об'єм сушарки, м^3	0,25	0,24
Тривалість сушіння, с	466	441,14
Питоме об'ємне волого-знімання, $\text{кг}/(\text{м}^3\text{с})$	0,075	0,064
Питома витрата енергії, $\text{кДж}/\text{кг}^{\text{волого}}$	4485	3858

Для використання були обрані магнетрони одиничною потужністю 1,72 кВт. Дані таблиці 1 свідчать, що за певних важливих показників (питоме об'ємне волого-знімання, питома витрата енергії, кількість магнетронів) установка, що реалізує, передбачає утилізацію теплоти від СВО, є переважною. Схемне рішення такої установки наведено на рисунку 1.

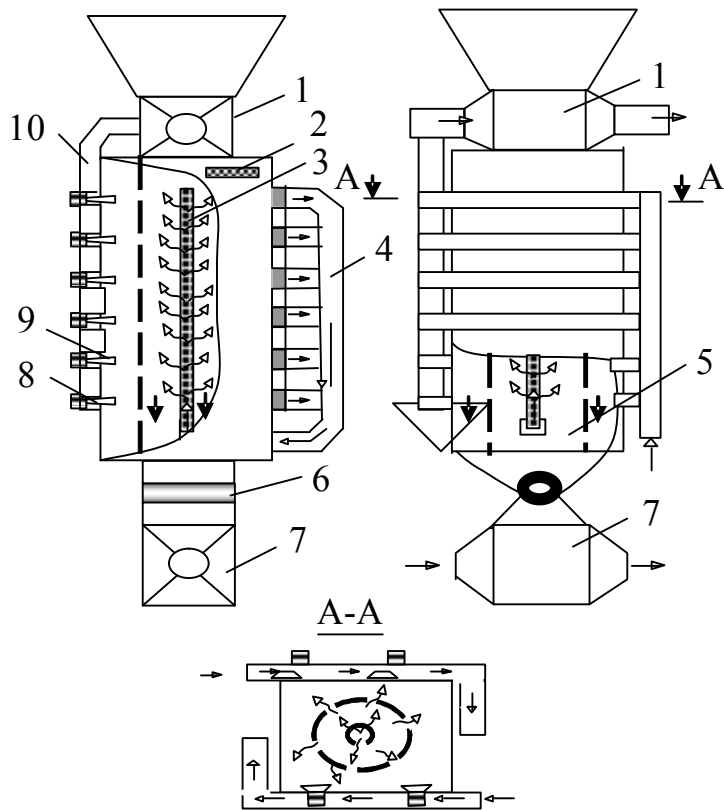


Рисунок 1 – Мікрохвильово-конвективна сушарка

Установка містить камеру попереднього підігрівання зерна 1, технологічне вікно 2, перфорований канал для повітря 3, призначений для вентиляування зерна, систему повітряних каналів 4 від СПО до перфорованого каналу, канал для проходу сипкого матеріалу 5, випускний пристрій 6, охолоджувач зерна 7, магнетрони 8, рупорні антени 9, систему повітряних каналів 10 від СПО до камери попереднього підігрівання. Конструкція установки і принцип її роботи були визначені за результатами розрахунків і з урахуванням особливостей сушіння зерна в мікрохвильовому полі, які виявлені в ході експериментальних досліджень [14]. Зерно після проходження контактного теплообмінника камери попереднього підігрівання потрапляє до камери сушіння, де під дією мікрохвильового поля виділяється теплота, яка використовується для нагрівання шару матеріалу і випарювання вологи. Повітря, що потрапляє через внутрішню насадку, продуває шар зерна, виносячи з міжзернового простору вологу, що випарувалася, яка інтенсивно виробляється під час мікрохвильового нагрівання. Після камери сушіння зерно потрапляє до охолоджувача, де за продування його повітрям із температурою доквілля знижується температура і завершується сушіння. У запропонованій сушарці безперервної дії на вході і виході мають бути встановлені

поза межні хвилеводи у формі каналів із метою запобігання витоків мікрохвильової енергії.

Із метою порівняння енергетичної ефективності за коефіцієнтом корисної дії (ККД) розглядалися три мікрохвильово-конвективні установки. Відмінність в установках полягала в умовах підготовки зерна перед входом до сушильної камери: 1 – без попереднього підігрівання зерна; 2 – із попереднім підігріванням зерна від повітря охолоджувача; 3 – із попереднім підігріванням зерна від повітря із системи повітряного охолодження магнетронів. Під час розрахунку ККД приймалось, що ККД магнетрона $\eta_m = 67\%$. У результаті розрахунку отримано, що ККД установки без утилізації теплоти $\text{ККД}_1 = 53\%$, з утилізацією теплоти від повітря після охолоджувача зерна $\text{ККД}_2 = 55\%$, і з утилізацією теплоти від системи повітряного охолодження $\text{ККД}_3 = 65\%$. Таким чином, утилізація теплоти повітря після охолоджувача слабо впливає на енергетичну ефективність установки, на відміну від установки з утилізацією теплоти від СВО, для якої ККД підвищується на 12% (порівняно з першим варіантом). Є можливим більше підвищення ККД мікрохвильово-конвективної сушарки за рахунок придбання магнетронів із покращуваними характеристиками ($\eta_m \cong 80\%$).

Висновки. Теплові розрахунки підтверджують раціональність виготовлення мікрохвильово-конвективної сушарки для зерна. Питома витрата енергії на кілограм випареної вологи становить 3858 кДж/кг, що нижче за відповідні показники для сушарок, що існують, включаючи мікрохвильові. Утилізація теплоти повітря від системи повітряного охолодження анодних блоків магнетронів у мікрохвильово-конвективній сушарці дозволяє зменшити на 20,4% енергію, що споживається, порівняно зі схемою, яка передбачає утилізацію теплоти від охолоджувача висушеного матеріалу.

Список літератури

1. Chua K.J. A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts / K.J. Chua, S. K. Chou // *Int. J. of Food Science and Technology*. – 2005. – Vol. 40. – P. 23-39.
2. Beaudry C. Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries / C. Beaudry, G.S.V. Raghavan, T.J. Rennie // *Drying Technology*. – 2003. – Vol. 21. – No. 9. – P. 1797-1810.
3. Beke J. Some Fundamental Attributes of Corn and Potato Drying in Microwave Fields / J. Beke, A. S. Mujumdar, M. Giroux // *Drying Technology*. – 1997. – Vol. 15, No. 2. – P. 241-252.
4. Olson J.R. Drying Sweetgum Vener with combinations of impinging hot air and microwave energy / J.R. Olson, D.G. Arganbricht // *Forest product journal*. – 1983. – Vol. 33. – P. 51-56.
5. Beke J. Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato drying in microwave field / J. Beke, A.S. Mujumbar, M. Giroux // *Drying Technology*. – 1997. – Vol. 13. – P. 463-475.
6. Васильев А.Н. Эффективность применения поля СВЧ для интенсификации сушки зерна активным вентилярованием / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Б.Г. Смирнов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – № 7. – С. 29-30.

7. Диденко А.Н. СВЧ-енергетика. Теория и практика / А.Н. Диденко. – М.: Наука, 2003. – 447 с.
8. Ганеев И.Р. Повышение эффективности сушки семян рапса с применением электромагнитного излучения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.Р. Ганеев. – Уфа: БГАУ, 2011. – 18 с.
9. Дементьева Т.Ю. Інтенсифікація процесів тепловологопереносу при сушінні зернового матеріалу із застосуванням мікрохвильового електромагнітного поля: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.Ю. Дементьева. – О.: ОДАХ, 2012. – 22 с.
10. Пилотная установка для микроволново-конвективной сушки движущегося плотного слоя зерна / В.А. Календерьян [и др.] // Проблемы энергоефективности та якості в процесах сушіння харчової сировини: Всеукр. наук.-практ. конф. – Х.: ХДУХТ, 2011. – С. 37-38.
11. Календерьян В.А. Установка для микроволново-конвективной сушки дисперсных материалов в движущемся слое / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова, Н.В. Волгушева // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов: Междунар. науч.-техн. семинар: [материалы семинара]. – Воронеж, 2010. – С.505-514.
12. Пат. U 2009 00968. Мікрохвильова сушильна установка / В.О. Календер'ян, І.Л. Бошкова, Н.В. Волгушева, О.В. Шатравка. – № 42526, опубл. 10.07.2009.
13. Пат. U 2008 09907. Установка для мікрохвильово-конвективного сушіння дисперсних матеріалів у щільному рухомому шарі / В.О. Календер'ян, І.Л. Бошкова, Н.В. Волгушева. – № 38205, опубл. 25.12.2008.
14. К оценке эффективности сушки зерновых культур в неподвижном слое при различных режимах подвода энергии / В.А. Календерьян [и др.] // Наук. пр. ОНАХТ. – 2011. – Вип. 39, т. 2. – С. 211-215.

УДК 664.696.026:005.336.3

Валевська Л.О., канд. техн. наук, Буняк О.В. (ОНАХТ, Одеса)

АНАЛІЗ ПАКУВАННЯ ЗЕРНОВИХ СНІДАНКІВ

У статті наведено дослідження упаковки зернових сніданків, а також представлено класифікацію та види пакування. Розглянуто переваги пакування сухих сніданків, представлених на споживчому ринку.

Ключові слова: *сухі зернові сніданки, ринок, дослідження, функціональні продукти, інгредієнти, пакування.*

Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Сухі сніданки – єдиний продукт із категорії хлібо-булочних і зернових виробів, здатний змінити тенденцію зниження споживання зернових і борошняних продуктів; крім того, вони сприяють розвитку звички снідати як такої. З 1965 р. споживання готових до вживання зернових продуктів