

ПОРИСТІСТЬ ШВИДКОВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ КАШІ, ОТРИМАНОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ СУШІННЯ ЗМІШАНИМ ТЕПЛОПІДВОДОМ

Погожих М.І., д-р техн. наук, професор, Пак А.О., канд. техн. наук, доцент,
Жеребкін М.В., пошукач
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків

Відмічено сушіння змішаним теплопідводом як перспективне з точки зору енергоефективності. Описано принцип дії установки для виробництва швидковідновлювальних каш з використанням особливостей сушіння змішаним теплопідводом. Наведено ізотермі сорбції отриманих каш. Визначено функції розподілення пор за радіусами в отриманому продукті.

Heat mixed transfer drying is one of the most perspective methods of drying with a view to power efficiency. Principle of operation of apparatus for production of quick-cooking kasha were described. Adsorption isotherms were presented. Pore size distribution functions in quick-cooking kasha were determined.

Ключові слова: змішаний теплопідвід, пористість, дисипативні структури, функціональна ємність.

Дефіцит енергетичних ресурсів диктує необхідність раціонального використання енергії, розробки енергоефективних процесів і апаратів для харчових технологій, у тому числі й для сушіння. Сушіння – найпоширеніший спосіб консервування харчової сировини. Завданнями сушильних технологій є: підвищення енергоефективності процесу видалення вологи, підвищення якості сушеної продукції, розробка високоефективної універсальної сушильної техніки, забезпечення екологічної безпеки сушильних підприємств. Рішення цих завдань визначається розвитком наукових уявлень про масо- і теплообмін. Сучасні досягнення й досвід використання нерівноважної термодинаміки у фундаментальних науках дозволяє поширити деякі її висновки безпосередньо на процеси зневоднювання.

Одним із перспективних, з точки зору енергоефективності, є сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння), розроблене в Харківському державному університеті харчування та торгівлі [1-4].

ЗТП-сушіння засноване на створенні умов для активної гідродинамічної й теплової взаємодії сушильного агента з об'єктом сушіння. Об'єктом сушіння при цьому є масообмінний модуль, який називається функціональною ємністю (ФЄ), у який міститься матеріал, що зневоднюється. На відміну від традиційного конвективного сушіння, теплоносії (джерело теплоти) не має безпосереднього контакту з поверхнею, що віддає вологу, і передає теплоту матеріалу через тверду газонепроникну стінку ФЄ будь-яким способом (конвекційним, кондуктивним, радіаційним).

Масообмінною поверхнею є зазори на поверхні ФЄ, розміри й розташування яких на поверхні ФЄ визначаються режимами й видом матеріалу, що зневоднюється. Площа масообмінної поверхні ФЄ найменш на порядок менша, ніж теплообмінної, що різко відрізняє даний спосіб від усіх інших відомих способів. Слід зазначити, що як теплообмінна, так і масообмінна поверхні ФЄ мають певні форми та розміри, які в процесі сушіння не змінюються (на відміну від конвективного сушіння, де через об'ємну усадку матеріалу поверхня об'єкта сушіння є складною функцією вологовмісту). ФЄ виступає як об'єкт сушіння, а матеріал, що зневоднюється, визначає внутрішнє тепловологоперенесення цього об'єкта. Таким чином, об'єкт ЗТП-сушіння являє собою окрему квазіізовольовану систему, на відміну від конвективного, де об'єкт сушіння не ізовольований від сушильного агента. При дотриманні певних умов відбувається так званий «запуск» ЗТП-сушіння, при цьому процес зневоднювання має ряд особливостей, завдяки яким істотно підвищується енергоефективність процесу та якість одержуваної продукції.

Метою роботи є дослідження розвитку пористості продукції, отриманої з використанням принципів ЗТП-процесу.

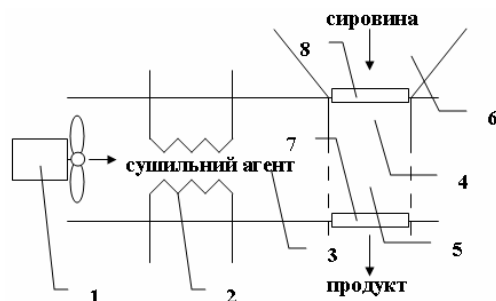
Об'єктами дослідження були несмажена гречана крупа, смажена гречана крупа, швидковідновлювальна каша, отримана із плющеної гречаної крупы, швидковідновлювальна каша, отримана із гречаної крупы з використанням принципів ЗТП-сушіння.

Несмажена та смажена гречані крупы використовувались як контроль. Швидковідновлювальна каша із плющеної гречаної крупы отримувалась традиційним способом, а швидковідновлювальна каша, отримана із гречаної крупы з використанням принципів ЗТП-сушіння, – на установці, наведеній на рис. 1 [5].

На рисунку представлена схема розміщення функціональної ємності в сушильній камері (3), напрямок руху сушильного агента й сировини. Вихідна сировина протягується дозувальними шнеками (7, 8) через функціональну ємність із визначеною швидкістю.

ФЄ виконана з паронепроникного матеріалу. Перша її частина (4) не має масообмінних зазорів, тому випару вологи в цій частині з вихідної сировини практично не відбувається. Сировина, перебуваючи в цій частині ФЄ, нагрівається до температури сушильного агента, що омиває її, і проварюється до готовності. Зневоднювання провареної сировини відбувається в другій частині ФЄ (7) з масообмінними зазорами.

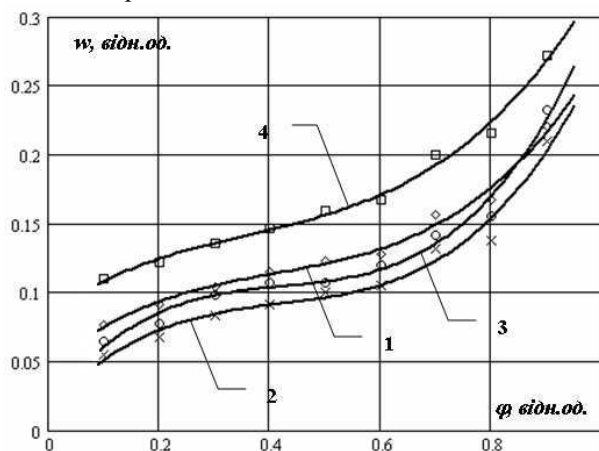
Тривалість знаходження сировини в першій і другій частинах ФЄ, а, відповідно, тривалість проварювання та зневоднення, регулюється довжиною відповідних частин і швидкістю протягування сировини через них.



1 – вентилятор; 2 – блок калориферів; 3 – сушильна камера; 4 і 5 – частини функціональної ємності; 6 – завантажувальний бункер; 7 і 8 – дозувальні шинки.

Рис. 1 – Схема установки для отримання швидковідновлювальної каші

Для вивчення сорбції та визначення рівноважного вологовмісту зразків використовувався тензометричний метод. Досліджуваний зразок поміщали в ексикатори з фіксованим значенням відносної вологості повітря φ , що забезпечувалась розчином сірчаної кислоти заданої концентрації. Всі ексикатори витримувались за постійної температури навколишнього середовища протягом вимірів (23 °С). Тривалість перебування продукту в ексикаторі визначалась досягненням зразком постійної маси. Ізотерми сорбції досліджуваних зразків представлені на рис. 2.



1 – несмажена гречана крупа; 2 – смажена гречана крупа;
3 – швидковідновлювальна каша, отримана із плющеної гречаної крупи;
4 – швидковідновлювальна каша, отримана із гречаної крупи з використанням принципів ЗТП-сушіння.

Рис. 2 – Ізотерми сорбції досліджуваних зразків

Отримані ізотерми мають схожий характер. У діапазоні відносної вологості від 10 до 80 % зразки перебувають в області мономолекулярної та полімолекулярної сорбції. При подальшому збільшенні вологості відбувається поглинання води мікрокапілярами та набухання зразків. Характер ізотерм досліджуваних зразків не має яскраво вираженої асимптоти паралельної осі вологовмісту. Подальше зволоження таких зразків можливе при безпосередньому зіткненні з рідиною.

Апроксимація експериментальних даних проводилась функцією виду [6]:

$$\varphi = \frac{w^{A_3}}{A_1 + A_2 w^{A_3}}, \quad (1)$$

де A_1, A_2, A_3 – апроксимаційні коефіцієнти.

Використання даної апроксимаційної функції дає можливість отримувати таку важливу структурно-фізичну характеристику як диференціальну функцію розподілу пор за радіусами $f_n(R^*)$, яка дає змогу прогнозувати змінювання якості продуктів у процесі сушіння.

Основні структурно-фізичні характеристики пов'язані з коефіцієнтами рівняння (1) наступними співвідношеннями [7]:

$$m_R = \left(\frac{A_2}{0,433} \right)^{1,247}; \quad (2)$$

$$\sigma_R = - \frac{\ln(6,12A_1)}{0,625} \left(\frac{A_3 - 0,957}{0,223} \right)^{-0,6}, \quad (3)$$

де R_G - універсальна газова стала, Дж/(моль·К);

T - абсолютна температура, К.

Диференціальна функція розподілу пор за радіусами визначається наступним чином

$$f_n(R^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R R^*} \exp\left(-\frac{(\ln(R^*) - m_R)^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (4)$$

де $f_n(R^*)$ - функція логарифмічно нормального розподілу;

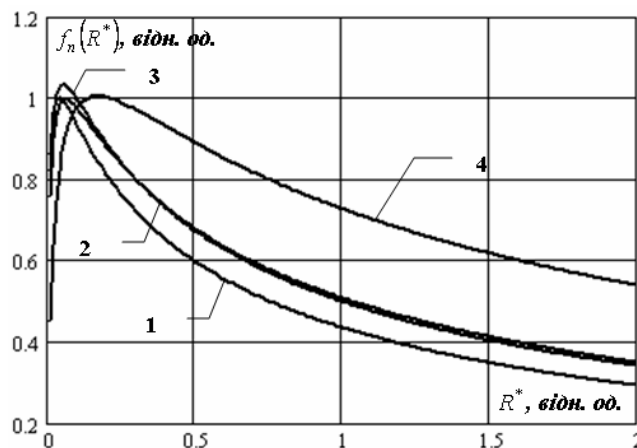
m_R та σ_R – параметри логарифмічно нормального розподілу;

R^* – безрозмірний радіус капілярів $R^* = (R - d_0) / d_0$;

R – радіус капіляра, м;

$d_0 = 0,3 \cdot 10^{-9}$ м – радіус молекули води.

Функції розподілу, знайдені за формулами, (1)-(4) представлені на рис. 3.



1 – несмажена гречана крупа; 2 – смажена гречана крупа;

3 – швидковідновлювальна каша, отримана із плющеної гречаної крупи;

4 – швидковідновлювальна каша, отримана із гречаної крупи з використанням принципів ЗТП-сушіння.

Рис. 3 – Диференціальні функції розподілу пор за радіусами

З отриманих результатів видно, що функція розподілу пор за радіусами для швидковідновлювальної каші, отриманої із гречаної крупи з використанням принципів ЗТП-сушіння, має більшу ширину та більший щодо контрольних зразків та зразка швидковідновлювальної каші, отриманого традиційним способом, найбільш імовірний радіус, що свідчить про розвиток пористої структури. Отримане підтверджує результати, отримані в [2].

Для пояснення особливостей процесу зневоднювання під час ЗТП-сушіння в [2] використовується теорія, розроблена І. Пригожиним, в якій для систем віддалених від рівноваги вводиться поняття дисипативних структур. Такі структури можуть виникати й існувати тільки в системах, які обмінюються енергією й масою із зовнішнім середовищем за межами стійкості. Якщо ж структура в результаті флуктуацій виникне в ізольованій системі, то ентропія в системі в цілому зростає, що приведе до деградації самої сис-

теми й зникнення структури або нового її стану з мінімумом виробництва ентропії. Утворення дисипативних структур супроводжується зміною механічної енергії структури або системи в цілому: виникає видимий макроскопічний рух або упорядкування цього руху.

Теорія І. Пригожина дозволяє припустити існування потенційних механізмів самоорганізації таких дисипативних структур. Умовами для таких механізмів є: віддалення від рівноваги; нестійкість системи поблизу стаціонарного стану; флуктуації; відкритість системи по потоках енергії та маси.

Дисипативні структури дозволяють максимально розсіяти «високоякісну» енергію сушильного агента, що в першому наближенні визначається зниженням температури відпрацьованого сушильного агента. Під час ЗТП-сушіння під утворенням дисипативних структур розуміється розвиток поверхні випару за рахунок збільшення пористості матеріалу, що зневоднюється [2].

Збільшення пористості сушених харчових продуктів, тобто збільшення кількості пор та віддалення матеріалу від монопористої структури, сприяє збільшенню здатності отриманого продукту поглинати вологу та відновлювати свої властивості.

Висновки

Таким чином, за ізотермами сорбції контрольних зразків та швидковідновлювальних каш встановлено, що функція розподілення для каші, отриманої з використанням принципів ЗТП-процесу, має більшу ширину та найбільш імовірний радіус, що свідчить про розвиток пористої структури під час ЗТП-сушіння, і, як наслідок, підвищення функціонально-технологічних властивостей сушеної харчової сировини.

Робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри енергетики та фізики Харківського державного університету харчування та торгівлі – № 06-11-13Б «Наукові обґрунтування енергоефективних процесів харчової промисловості».

Література

1. Пат. 2096962 РФ, МКИ А23 В7/03. Способ сушки пищевых продуктов / Н.И. Погожих, В.А. Потапов, Н.М. Цуркан (Украина). – №94033280/13. Заявл. 13.09.94, опубл. 22.06.89. БИ №40. – 3 с.
2. Погожих Н.И. Научные основы теории и техники пищевого сырья в массообменных модулях : Автореф. дис. ... доктора техн. наук / ХДАТОХ. – Харьков, 2002. – 35 с.
3. Цуркан, Н.М. Разработка рациональных режимов производства сушеного быстровосстанавливаемого картофеля : Автореф. дис. ... кандидата техн. наук / ХДАТОХ. – Харьков, 2000. – 20 с.
4. Пак, А.О. Розробка процесу сушіння плодово-ягідної сировини змішаним теплопідводом зі штучним пороутворенням : Автореф. дис. ... кандидата техн. наук / ХДУХТ. – Харків, 2008. – 20 с.
5. Пат. 48230 UA, МПК А23L 3/00. Установка для гидротермической обработки та сушіння крупи / О.І. Черевко, М.І. Погожих, М.В. Жеребкін, А.О. Пак, М.М. Цуркан (Україна). – №u2009 09646, Заявл. 21.09.2009, публ. 10.03.2010, Бюл. № 5. – 2 с.
6. Потапов, В.О. Структурно-енергетичний метод аналізу ізотерм сорбції-десорбції харчової сировини [Текст] / В.О. Потапов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі: Зб. наук. пр. Харків: ХДУХТ, 2005. - Вип.1. - С. 313 - 322.
7. Потапов, В.А. Научные основы анализа и управления кинетикой сушки пищевого сырья [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12: защищена 18.05.07: утв. 05.11.07/ Потапов Владимир Алексеевич. - Харьков, 2007. - 348 с.

УДК 664-492.2:621.928.23

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО СЕПАРИРОВАНИЯ ТРУДНОСЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

**Батт А.В., канд. техн. наук, доцент, Чумаченко Ю.Д., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальна академия пищевых технологий, г. Одесса**

В данной статье приводится решение сложной многофакторной экспериментальной задачи, связанной с отысканием оптимальных условий проведения технологических процессов и разработкой наиболее рациональных конструкций оборудования.

This article provides a solution to a complicated multi-factor experimental task of finding the optimal conditions for manufacturing processes and develop more rational design of equipment.

Ключевые слова: вибрационное сепарирование, трудносыпучие продукты.