

А. О. Пак

# ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ДИСИПАТИВНИХ СТРУКТУР В СИРОВИНІ ПІД ЧАС ЗТП-СУШІННЯ

*Поставлено задачу дослідження розвитку дисипативних структур в сировині під час сушіння змішаним теплопідводом. Отримано аналітичний вид функції розподілення потужності дисипативних структур.*

**Ключові слова:** сушіння змішаним теплопідводом, дисипативна структура.

## 1. Вступ

Дефіцит енергетичних ресурсів диктує необхідність раціонального використання енергії, розробки енергоефективних процесів та апаратів для харчових технологій, в тому числі і для сушіння. Сушіння — найпоширеніший спосіб консервування харчової сировини. Задачами сушильних технологій є підвищення енергоефективності процесу видалення вологи, підвищення якості сушеної продукції, розробка високоефективної універсальної сушильної техніки, забезпечення екологічної безпеки сушильних підприємств. Розв'язання цих задач визначається розвитком наукових уявлень про масо- та теплообмін.

## 2. Постановка проблеми

Одним із перспективних способів сушіння харчової сировини є сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння), розроблене в Харківському державному університеті харчування та торгівлі професором Погожих М. І. [1].

Даний спосіб сушіння відрізняється від інших тим, що матеріал, який зневоднюється, розміщується у функціональну ємність (ФЄ) із паронепроникного матеріалу, причому площа теплообмінної поверхні ємності більша площі масообмінної як мінімум на порядок. Раціональна швидкість сушильного агента при цьому повинна бути від 10 до 15 м/с. Якщо дані умови не виконуються, то ЗТП-процес зупиняється, а далі зневоднення відбувається або як при конвективному сушінні, або матеріал вариться всередині ФЄ. Наявні особливості дозволяють отримувати сушену продукцію високої якості за низьких питомих енерговитрат.

## 3. Основна частина

**3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження.** Проф. Погожих М. І. для пояснення особливостей характеру процесу зневоднювання під час ЗТП-сушіння [2, 3] використав теорію, розроблену І. Пригожиным, який для систем віддалених

від рівноваги ввів поняття дисипативних структур. Такі структури можуть виникати й існувати тільки в системах, що 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 системи й зникненню 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 впорядкування цього руху.

В роботах [4, 5] автором відмічено, що 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 й маси. Дисипативні структури дозволяють ефективно розсіювати «високоякісну» енергію сушильного агента за рахунок фазових перетворень води, 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, який зневоднюється [5, 6] всередині ФЄ, а сам процес по суті є перетворенням теплоти з високим потенціалом (температура сушильного агента) у теплоту з низьким потенціалом (температура відпрацьованого сушильного агента).

В роботі [6] було знайдено аналітичний вигляд функції розвитку дисипативних структур, завдання яке було поставлено в даній роботі — знайти розподілення потужності таких дисипативних структур всередині ФЄ в процесі сушіння та в залежності від температури сушильного агента.

**3.2. Результати досліджень.** Рішення даної задачі можна знайти виходячи із рівняння теплопровідності для матеріалу, що зневоднюється, яке з урахуванням утворення дисипативних структур буде мати вигляд [7, 8]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{k}{c\rho} \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + \frac{1}{c\rho} f_i + \frac{1}{c\rho} f_d, \quad (1)$$

де  $T$  — температура;  $t$  — час;  $k$ ,  $c$  і  $\rho$  — коефіцієнт теплопровідності, теплоємність і густина матеріалу, відповідно;  $f_i$  — функція розподілення потужності внутрішніх джерел теплоти всередині ФЄ;  $f_d$  — функція розподілення потужності дисипативних структур. У даному рівнянні температура, коефіцієнт теплопровідності, теплоємність і густина матеріалу, функції розподілення внутрішніх та дисипативних джерел теплоти є функціями координат і часу.

Рівняння (1) можна перетворити наступним чином:

$$f_d = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} - k \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) - f_i. \quad (2)$$

Вирішуючи рівняння (2) відносно шуканої  $f_d$  існує можливість знайти її як функцію координат та часу. Аналітичний вигляд кінетик температури та вологовмісту як функцій координат, часу та температури сушильного агента, а також зміну густини, теплопровідності та теплоємності з часом можна отримати шляхом знаходження апроксимаційних функцій для численних експериментальних даних, отриманих для харчової сировини, як це зроблено в роботах [8] та [9]. Після підстановки вищеперахованих функцій в рівняння (2), в роботі [10] було знайдено функцію розподілення потужності дисипативних структур в сировині всередині ФЄ під час ЗТП-сушіння.

Отримані теоретичні результати співпадають та пояснюють результати експериментальних досліджень. Таким чином, розроблену математичну модель для розподілення потужності дисипативних джерел теплоти можна вважати припустимою для описання таких особливостей ЗТП-сушіння як характерний мінімум кінетики температури та розвинення пористості в процесі зневоднення.

Робота виконувалась у межах держбюджетних тем: № 2-11ФБ «Дослідження стану та структури вологи в харчових продуктах методами ЯМР та ЕПР спектроскопії» (0108U001333), № 06-11-13Б «Наукові обґрунтування енергоефективних процесів харчової промисловості» (0110U006618).

### Література

- Способ сушки пищевых продуктов [Текст] : пат. 2096962 Рос. Федерация: МКИ А23 В7/03 / **Погожих Н. И.**, Потапов В. А., Цуркан Н. М. (Украина). — № 94033280/13; заявл. 13.09.94; опубл. 22.06.89, БИ № 40. — 3 с.
- Гришин М. А. Особенности кинетики СТП-сушки пищевых растительных материалов [Текст] / М. А. Гришин, **Н. И. Погожих**, В. А. Потапов // Проблемы общественного питания на пути к рынку: Сб. научн. раб. — Харьков : ХДАТОХ. — 1993. — С. 167–171.
- Погожих Н. И. Исследование процессов сушки материалов смешанным теплоподводом вблизи критических режимов [Текст] / **Н. И. Погожих**, Н. М. Цуркан, В. А. Потапов // Актуальні науково-методичні проблеми в підготовці спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування: зб. наук. пр. — Харків, ХДАТОХ. — 1997. — Ч. 1. — С. 343–346.
- Погожих Н. И. Особенности тепломассообменных процессов при сушке смешанным теплоподводом [Текст] / **Н. И. Погожих** // Нові технології та удосконалення процесів харчових виробництв: зб. наук. пр. — Харків, ХДАТОХ. — 1999. — С. 204–208.
- Погожих Н. И. Механизмы тепломассообмена при СТП-сушке / **Н. И. Погожих** // Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: зб. наук. пр. — Харків, ХДАТОХ. — 2000. — Ч. 2. — С. 49–53.
- Погожих Н. И. Научные основы теории и техники пищевого сырья в массообменных модулях [Текст] : дис. ... доктора техн. наук / **Н. И. Погожих**. — Харьков, 2002. — 332 с.
- Погожих М. І. Постановка задачи исследования развития диссипативных структур при сушке смешанным теплоподводом [Текст] / **М. І. Погожих**, А. О. Пак // Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ-2011 : Труды четвертой Международной научно-практической конференции, 20–23 сентября 2011 г. — Москва : ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина», 2011. — Т. 1. — С. 432–436.
- Погожих М. І. Внутрішні чинники процесу гідротермічної обробки круп з використанням принципів ЗТП-сушіння [Текст] / **М. І. Погожих**, А. О. Пак, Т. В. Міщенко, М. В. Жеребкін // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 5/3(53). — С. 60–63.
- Погожих М. І. Математична модель кінетики температури сировини під час ЗТП-сушіння [Текст] / **М. І. Погожих**, А. О. Пак, М. А. Чеканов, М. В. Жеребкін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — Харків : НТУ «ХПІ». — 2011. — № 43. — С. 7–12.
- Погожих М. І. Функція розподілення потужності дисипативних структур всередині ФЄ під час ЗТП-сушіння [Текст] / **М. І. Погожих**, А. О. Пак, М. В. Жеребкін // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 2/12(56). — С. 63–67.

### ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР В СЫРЬЕ ПРИ СТП-СУШКЕ

**А. О. Пак**

Поставлена задача исследования развития диссипативных структур в сырье при сушке смешанным теплоподводом. Получен аналитический вид функции распределения мощности диссипативных структур.

**Ключевые слова:** сушка смешанным теплоподводом, диссипативная структура.

*Андрей Олегович Пак, доцент кафедры энергетике и физики Харьковского государственного университета питания и торговли, тел.: (057) 349-45-86, e-mail: pak\_andr@mail.ru.*

### THE DISTRIBUTION FUNCTION OF POWER OF DISSIPATIVE FORMATIONS IN RAW MATERIALS DURING MHT-DRYING

**A. Pak**

The task of investigation of development of dissipative formations in raw materials during mixed heat transfer drying was set. The analytical appearance of distribution function of power of dissipative formations was established.

**Keywords:** mixed heat transfer drying, dissipative formations.

*Andrey Pak, associate professor of Department of Energetic and Physic of Kharkiv State University of Food Technology and Trade, tel.: (057) 349-45-86, e-mail: pak\_andr@mail.ru.*