

[Текст] / Т. Tokushima et al. // Chem. Phys. Lett., 460, 387 – 400 (2008). 5. Малафаев Н.Т. О взаимодействиях и динамике молекул в чистой воде [Текст] / Н.Т. Малафаев // ЕЕJЕТ, Східно-європейський журнал передових технологій, Харків, 2011.- № 4/8 (52).- С. 48-58.

Поступила в редколлегию 06.09.2011

УДК 664.834.2

М.І. ПОГОЖИХ, докт. техн. наук, проф, зав. каф.,

Харківський державний університет харчування та торгівлі

А.О. ПАК, канд. техн. наук, доц.,

Харківський державний університет харчування та торгівлі

М.А. ЧЕКАНОВ, канд. техн. наук, ст. вик.,

Харківський державний університет харчування та торгівлі

М.В. ЖЕРЕБКІН, пошук., Харківський державний університет харчування та торгівлі

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КІНЕТИКИ ТЕМПЕРАТУРИ СИРОВИНИ ПІД ЧАС ЗТП-СУШІННЯ

Получен аналитический вид функции для кинетики температуры, аргументами которой есть продолжительность сушки, координата и температура сушильного агента.

Ключевые слова: сушка смешанным теплоподводом, функциональная емкость, кинетика температуры.

Отримано аналітичний вид функції для кінетики температури, аргументами якої є тривалість сушіння, координата та температура сушильного агента.

Ключові слова: сушіння змішаним теплопідводом, функціональна ємність, кінетика температури.

The analytic form of function for kinetics of temperature was founded. Duration of drying, coordinates and temperature of drying agent are the arguments of this function.

Key words: heat mixed transfer drying, functional capacity, kinetics of temperature.

Постановка проблеми у загальному вигляді

В Харківському державному університеті харчування та торгівлі розроблено спосіб гідротермічної обробки круп з використанням принципів сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння), де кінцевою продукцією є швидковідновлювані каші [1].

Отримання швидковідновлюваних каш реалізується завдяки особливостям ЗТП-сушіння. Сировина під час ЗТП-сушіння знаходиться всередині спеціального тепломасообмінного модуля – функціональної ємності (ФЄ), в якій площа теплообмінної поверхні принаймні на порядок більша площі масообмінної поверхні. Однією із особливостей даного способу зневоднення є характер кінетики температури сировини в процесі сушіння.

Кінетика температури під час ЗТП-сушіння відрізняється від інших способів S-подібним характером. На рис.1 наведений приклад типових термограм під час ЗТП-сушіння (1) та сушіння в киплячому шарі (2). Термограми сильно

відрізняються за своїм характером. Для температури під час ЗТП-сушіння спостерігаються два екстремуми: локальний максимум при середніх значеннях вологовмісту зразка та мінімум в області гігроскопічного стану.

Для пояснення особливостей характеру процесу зневоднювання під час ЗТП-сушіння [2] використовується теорія, розроблена І. Пригожиним, який для систем віддалених від рівноваги ввів поняття дисипативних структур.

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

Для знаходження функції розвитку дисипативних структур в процесі сушіння необхідна аналітична функція для температури сировини під час зневоднення.

Мета та завдання статті

Метою роботи є знаходження аналітичного виду кінетики температури, як функції тривалості сушіння, координати та температури сушильного агента.

Виклад основного матеріалу дослідження

Аналітичний вигляд кінетики температури можна отримати шляхом знаходження апроксимаційних функцій для численних експериментальних даних, отриманих для вологої сировини.

Для отримання кінетики температури сировини під час ЗТП-сушіння в залежності від температури сушильного агента в центрі ФЄ розміщувалась термопара. Температура сушильного агента змінювалась дискретно від 40 до 140°C з інтервалом 5°C. Кінетику температури сировини під час ЗТП-сушіння за різної температури сушильного агента представлено на рис. 2.

Функція, що описує зміну температури в процесі сушіння за різної температури сушильного агента, знаходиться наступним чином.

В класичній літературі з теорії сушіння, зокрема в «Теорії сушіння» О.В. Ликова [3], кінетика температури сировини в процесі зневоднення описується

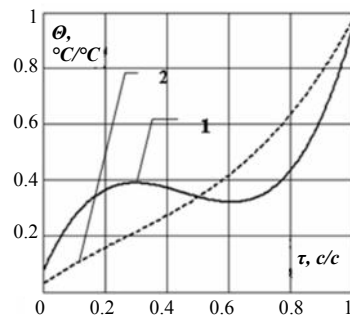


Рис.1. Кінетика відносної температури зразка під час: 1 – ЗТП-сушіння; 2 – сушіння в киплячому шарі

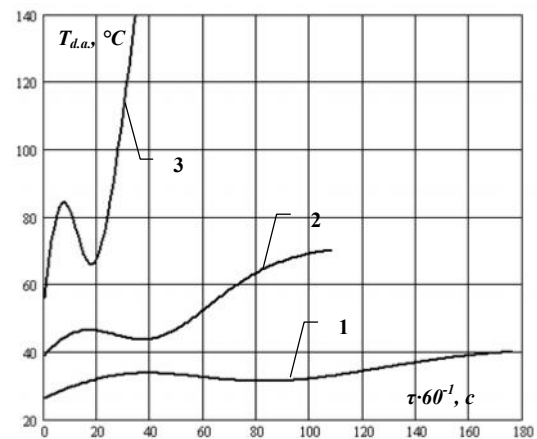


Рис.2. Кінетика температури сировини під час ЗТП-сушіння за різної температури сушильного агента, °C: 1 – 40; 2 – 70; 3 – 140

емпіричним рівнянням виду:

$$f_1(\tau) = a_1 \cdot (1 - \exp(-b_1 \tau^{c_1})), \quad (1)$$

де a_1 , b_1 та c_1 – емпіричні коефіцієнти.

Через особливості кінетики температури сировини під час ЗТП-сушіння (рис.1 та рис.2) не представляється можливим описати зміну температури з часом в даному процесі тільки рівнянням (1). Характерні локальні максимуми та мінімуми кінетики температури під час ЗТП-сушіння можна описати, якщо доповнити рівняння (1) функцією виду:

$$f_2(\tau) = a_2 \cdot \exp\left(-\frac{(\tau - b_2)^2}{c_2}\right), \quad (2)$$

де a_2 , b_2 та c_2 – емпіричні коефіцієнти.

Використовуючи для описання зміни температури сировини з часом під час ЗТП-сушіння функцію, яка представляє собою суму функцій (1) та (2) (рис.3), отримано емпіричні функції для кінетики температури за різної температури сушильного агента:

$$f_{T_{d.a.}}(\tau) = (1 - \exp(-\tau^2 \cdot a0_{T_{d.a.}})) \cdot a1_{T_{d.a.}} + a2_{T_{d.a.}} \cdot \exp\left(-\frac{(\tau - a3_{T_{d.a.}})^2}{a4_{T_{d.a.}}}\right), \quad (3)$$

де $a0_{T_{d.a.}}$, $a1_{T_{d.a.}}$, $a2_{T_{d.a.}}$, $a3_{T_{d.a.}}$ та $a4_{T_{d.a.}}$ – емпіричні коефіцієнти.

Апроксимаційні функції для кінетики температури сировини за різної температури сушильного агента мають однаковий вид, але різні значення апроксимаційних коефіцієнтів.

На рис.4 представлено перший та другий доданки емпіричної функції (3), тобто функції виду (1) та (2), за різної температури сушильного агента.

З представлених результатів видно тенденцію залежності виду графіків функцій від температури сушильного агента: для функції виду (1) – за збільшення температури сушильного агента збільшується її нахил та амплітуда; для функції виду (2) – за збільшення температури сушильного агента збільшується амплітуда функції при цьому відбувається зміщення її максимуму в сторону менших значень вздовж осі, на якій відкладено тривалість сушіння.

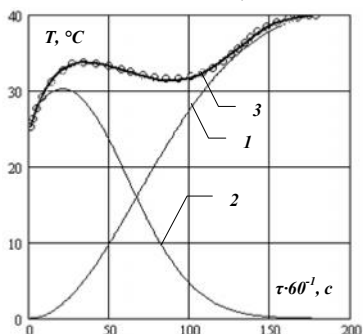


Рис.3. Апроксимація експериментальних даних: 1 – функція виду (1); 2 – функція виду (2); 3 – функція виду (3)

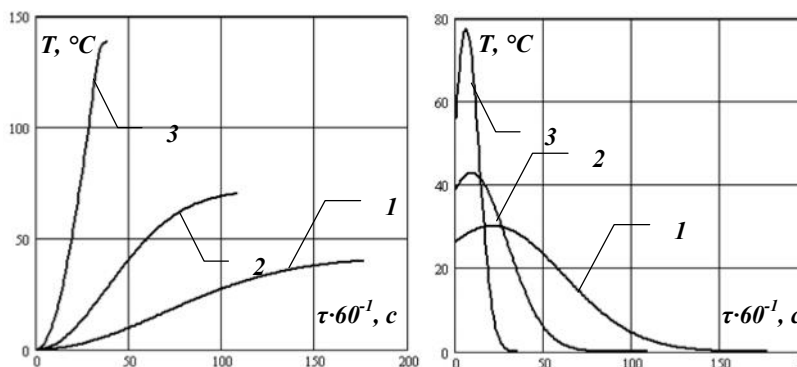


Рис.4 – Перший та другий доданки емпіричної функції (3) за різної температури сушильного агента, °С: 1 – 40; 2 – 70; 3 – 140

Очевидно, дані залежності функцій від температури сушильного агента відбиваються і на значеннях відповідних коефіцієнтів.

Виходячи з цього, для емпіричних коефіцієнтів були отримані апроксимаційні функції, які представляють собою лінійні (коефіцієнти $a0_{T_{d.a.}}$ та $a2_{T_{d.a.}}$) та експоненційні залежності (коефіцієнти $a1_{T_{d.a.}}$, $a3_{T_{d.a.}}$ та $a4_{T_{d.a.}}$), що мають вид:

$$coef_1(T_{d.a.}) = a_{coef1} + b_{coef1} \cdot T_{d.a.}, \quad (4)$$

$$coef_2(T_{d.a.}) = a_{coef2} \cdot \exp(b_{coef2} \cdot T_{d.a.}). \quad (5)$$

Таким чином, якщо враховувати (4) та (5) – емпірична функція (3) є функцією двох аргументів: часу та температури сушильного агента.

Під час досліджень зі знаходження аналітичного виду кінетики температури як функції координат використовували ФЄ, що має форму паралелепіпеду з характерними розмірами l_1 , l_2 , l_3 . Характерні розміри l_1 та l_2 були принаймні на порядок більші ніж l_3 . Масообмінні зазори розміщені на гранях $l_1 \times l_2$, а грань $l_3 \times l_2$ перпендикулярна до руху сушильного агента. Направимо осі координат вздовж ребер як показано на рис.5.

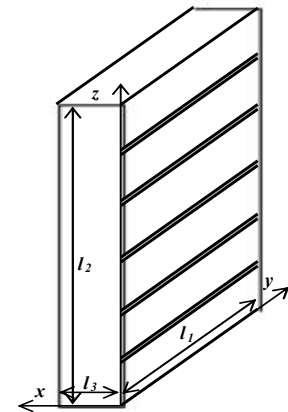


Рис.5. ФЄ, що має форму паралелепіпеду з характерними розмірами l_1 , l_2 , l_3

Для отримання кінетики температури сировини під час ЗТП-сушіння вздовж кожної осі всередину ФЄ розміщали термопари на відстані 5 мм одна від одної. Сировиною, яку

використовували впродовж даних досліджень, була проварена гречана каша.

Для даної сировини попередніми дослідженнями було встановлено, що раціональною, з точки зору реалізації ЗТП-процесу, є товщина ФЄ 20 мм, таким чином характерний розмір l_3 дорівнював 20 мм.

В ході експериментальних досліджень встановлено, що перепад температур вздовж осі Oy за постійних значень координат z та x не суттєвий. Найбільша різниця температур спостерігається на початковому етапі сушіння під час прогріву ФЄ, при цьому вона не перебільшує 10%.

Той же самий результат отриманий і під час дослідження різниці температур вздовж осі Oz . Пояснюється отримане тим, що, оскільки, масообмінні зазори розміщені на гранях $l_1 \times l_2$, тобто в площині $Oy \times Oz$, то поглиблення зони випару, завдяки якому мають місце суттєві перепади температур під час ЗТП-сушіння, відбувається в напрямку осі перпендикулярної даній площині, тобто вздовж осі Ox . Перепади ж температур вздовж осей Oy та Oz обумовлені коефіцієнтом теплопровідності сировини у ФЄ і виникають лише під час її підігріву.

Таким чином, далі було зроблено припущення, що вздовж осей Oy та Oz перепад температур не суттєвий і залежність кінетики температури сировини від координат досліджувалась лише вздовж осі Ox .

На рис. 6 наведено кінетику температури сировини всередині ФЄ під час ЗТП-сушіння на різній відстані від поверхні. Нуль відліку координатної осі Ox

знаходиться під поверхнею ФЄ. Крива кінетики температури (1) показує температуру під поверхнею, тобто на відстані 0 мм, друга (2) на відстані 5 мм, а третя – 10 мм від поверхні. По іншу сторону від середини товщини ФЄ, тобто на відстані 15 та 20 мм від початку осі Ох, кінетики температур мають той же характер та ті ж значення, що й на відстані, відповідно, 5 та 0 мм.

З наведених результатів видно, що характер кінетики температури в залежності від відстані від поверхні типовий для ЗТП-процесу. Виходячи із припущень та висновків зроблених вище, для описання таких експериментальних даних використовувалась також функція виду (3).

Необхідно відмітити, що за наближення до центру ФЄ мінімум температури зміщується відносно осі, на якій відкладено тривалість процесу, в сторону менших його значень, при цьому величина мінімуму зменшується, тобто збільшується різниця температур сировина-сушильний агент.

Виходячи із отриманих залежностей проведено апроксимацію коефіцієнтів функції виду (3) в залежності від відстані від поверхні ФЄ функцією виду:

$$coef_3(x) = a_{coef3} \cdot \exp\left(-\frac{(x - b_{coef3})^2}{c_{coef3}}\right), \quad (6)$$

де a_{coef3} , b_{coef3} та c_{coef3} – апроксимаційні коефіцієнти; x – відстань від поверхні ФЄ вздовж осі Ох.

Функції, що описують зміну температури з часом під час ЗТП-сушіння в залежності від температури сушильного агента та в залежності від координати мають однаковий вид (3), але відрізняються вони набором аргументів: аргументами першої функції є час та температура сушильного агента, а другої, враховуючи те, що апроксимаційні коефіцієнти (6) залежать від відстані від поверхні, – час та відстань від поверхні. Якщо навести відповідну кореляцію між коефіцієнтами (4), (5) та (6), то можна отримати залежності коефіцієнтів функції (3) від координати та температури сушильного агента.

Підставляючи розраховані коефіцієнти в функцію (3), отримаємо апроксимаційну функцію для кінетики температури аргументами якої є час, температура сушильного агента та координата:

$$T(\tau, x, T_{d.a.}) = \left(1 - \exp\left(-\tau^2 \cdot a0(x, T_{d.a.})\right)\right) \cdot a1(x, T_{d.a.}) + a2(x, T_{d.a.}) \cdot \exp\left(-\frac{(\tau - a3(x, T_{d.a.}))^2}{a4(x, T_{d.a.})}\right). \quad (7)$$

Отриману функцію можна використовувати для знаходження функції розвитку дисипативних структур в процесі ЗТП-сушіння.

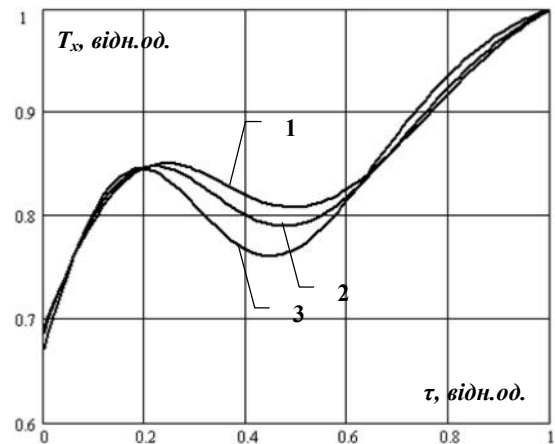


Рис.6. Кінетика температури сировини всередині ФЄ під час ЗТП-сушіння на різній відстані від поверхні, мм: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10

Висновки

Таким чином, отримано аналітичну функцію, що описує з достатнім ступенем точності температуру сировини в ФЄ в залежності від тривалості сушіння, координати та температури сушильного агента в процесі ЗТП-сушіння.

Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи №06-11-13Б «Наукові обґрунтування енергоефективних процесів харчової промисловості».

Список літератури: 1. Установка для гидротермической обработки та сушіння крупи [Текст] : пат. №48230 Україна, МПК А 23 L 3/00. / Черевко О.І., Погожих М.І., Цуркан М.М., Жеребкін М.В., Пак А.О.; заявник та патентовласник ХДУХТ. – Опубл. 10.03.2010 Бюл. №5 – 4 с.2. *Погожих, Н. И.* Научные основы теории и техники пищевого сырья в массообменных модулях [Текст] : дис. ... доктора техн. наук / Н. И. Погожих. – Харьков, 2002. – 331 с.3. *Лыков, А. В.* Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М. : «Энергия», 1968. – 472 с.

Поступила в редколлегию 17.09.2011

УДК 534.29:66.084

Л.І. ШЕВЧУК, канд. техн. наук, доц., НУ «Львівська політехніка», Львів
І.С. АФТАНАЗІВ, докт. техн. наук, проф., НУ «Львівська політехніка»
О.І. СТРОГАН, здоб., НУ «Львівська політехніка», Львів

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АКТИВАЦІЇ ВОДИ ПНЕВМО-МАГНІТНОЮ КАВІТАЦІЙНОЮ ОБРОБКОЮ

Приведено опис нового методу пневмо-магнітної кавітаційної обробки води та рідин і реалізуючого його обладнання. Завдяки сумарному потужному енергетичному впливу на оброблюване середовище магнітного та кавітаційного полів метод забезпечує ефективну активацію води, знезараження її біологічного забруднення. Метод передбачає обробку води та водних субстанцій у неперервному режимі із високою продуктивністю.

Ключові слова: вода, кавітація, обробка, активація, знезараження

Приведено описание нового метода пневмо-магнитной кавитационной обработки воды и жидкостей и реализующего его оборудования. Благодаря суммарному мощному энергетическому воздействию на обрабатываемую среду магнитного и кавитационного полей метод обеспечивает эффективную активацию воды, обеззараживание ее биологического загрязнения. Метод предусматривает обработку воды и водных веществ в непрерывном режиме с высокой производительностью.

Ключевые слова: вода, кавитация, обработка, активация, обеззараживание

Description of a new method of air-magnetic treatment of water and cavitation of liquids and realizing its equipment. With strong total energy impact on the treated medium and magnetic fields cavitation method provides an efficient activation of water, disinfection of biological contamination. The method involves water treatment and water substances in a continuous mode with high efficiency.

Keywords: water, cavitation, processing, activation, decontamination

Вступ

Урбанізація сучасного суспільства та неодмінно супутній їй стрімкий розвиток переробних та виробничих галузей не могли негативно не відобразитись на оточуючому людство довкіллі, в тому числі першочергово на