

АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ ПІДХОДІВ В МОДЕЛЮВАННІ ТЕПЛООВОЛОГООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

Гапонюк І.І., д.т.н., проф.

(Національний університет харчових технологій)

У цій статті виконано аналіз класичних підходів математичного моделювання масо-теплообмінних процесів, їх застосування для застосування для зневоднення шару зерна.

Постановка задачі: виконати аналіз, навести відомі рівняння опису тепло-масообмінних процесів фазових середовищ та сипких капілярно-пористих тіл.

Мета досліджень: виконати аналіз відомі рівнянь опису тепло-масообмінних процесів, узагальнити їх та адаптувати до зневоднення шару зерна.

Основні матеріали досліджень За твердженням професора М.В.Остапчука технологію зберігання слід розглядати як совокупність заходів із забезпечення вимог щодо максимального збереження та підвищення якості зерна і зернопродуктів із найменшими виробничими затратами, а міру її досконалості необхідно пов'язувати із додатковими вимогами обмеженого впливу на довкілля, менших втрат сировини й тривалості завершеного виробничого циклу в поєднанні із стабільністю параметрів виробничих процесів й показників якості отриманої продукції.

Для досягнення вказаної вище мети широко застосовують принципи моделювання із яких найбільшого розповсюдження отримали прикладне, або стендове, й математичне.

При моделюванні слід дотримуватися вимоги збереження зв'язків об'єкта з довкілля у природних умовах та моделях. Очевидно, що в моделях відобразити всі зв'язки не можливо, тому в них застосовують вибіркоче відображення природних зв'язків. Про що слід мати на увазі при моделюванні досліджень та їх апробації в стендових та виробничих умовах.

Нижче ми спробували викласти загальні принципи моделювання процесів тепловолоогообміну малорухомого шару зерна з урахуванням перемінних структурно-механічних й фізичних показників якості зерна, параметрів шару зерна, способів тепло-й волоогообміну та параметрів течій робочих газів.

Труднощі із визначення більшості

вказаних характеристик шару зерна, параметрів взаємодії із зневоджуючими середовищами та робочих агентів обумовлюють застосування певних спрощень, тобто ігнорування малозначущими факторами, що на нашу думку при не суттєвій похибці відтворення процесів суттєво спрощує математичне їх описання.

Подібність процесів тепло-волоогообміну фазових середовищ сипких різних за хімічним складом та розміром тіл різних галузей дозволяє використати існуючі теоретичні уявлення про фізико-хімічні і біологічні процеси для опису цих же процесів зберігання зерна. До загальних і подібних можна віднести такі показники як затрати енергії, робочого агента та інших витрат на нагрівання (охолодження), зневоднення, переміщення зерна і робочого агента тощо, які є функціями первинних показників стану зневоджуваного та зневоджуючого середовищ.

Як правило більшість фундаментальних теоретичних досліджень використовують опосередковано через систему інших показників, що дозволяє використати фундаментальні положення для розв'язання конкретних практичних задач на основі визначення різних форм математичного опису [1, 2].

Із наведених в доступних авторам літературних джерел найбільш узагальнена форма математичного опису процесів перенесення теплоти і вологи в процесі зберігання зерна викладена в працях А.В.Ликова та Ю.А. Михайлова [2]. Наведені ними рівняння викладені ними у такій формі, що встановлює зв'язок між швидкістю зміни основних показників шару сипкого середовища, його вологості, температури й тиску в часі $\left(\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial \theta}{\partial t}, \frac{\partial P}{\partial t}\right)$ від значень цих параметрів цього зневоджуваного середовища в кожній його точці у декартовій або інших системах координат:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \tau} &= k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 \theta + k_{13} \nabla^2 P; \\ \frac{\partial \theta}{\partial \tau} &= k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 \theta + k_{23} \nabla^2 P; \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} &= k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 \theta + k_{33} \nabla^2 P, \end{aligned} \right\} (1)$$

де $k_{11}, \dots, k_{ij}, \dots, k_{33}$ — коефіцієнти, що визначаються сполученням термодинамічних і теплофізичних характеристик вологого тіла:

$$k_{11} = a + a_m \delta \varepsilon r \frac{c_m}{c_p}, \quad \text{M}^2/\text{c}; \quad k_{12} = \varepsilon r \frac{c_m}{c_p} a_m,$$

$$\text{M}^2\text{K}/(\text{c}^\circ\text{M}); \quad k_{13} = \varepsilon r \delta_p \frac{c_m}{c_p} a_m, \quad \text{M}^2\text{K}/(\text{cПа}); \quad k_{21} = a_m \delta,$$

$$\text{M}^2\text{M}/(\text{cK}); \quad k_{22} = a_m, \quad \text{M}^2/\text{c}; \quad k_{23} = a_m \delta_p,$$

$$\text{M}^2\text{M}/(\text{cПа}); \quad k_{31} = -\varepsilon \delta \frac{c_m}{c_p} a_m, \quad \text{M}^2\text{Па}/(\text{cK});$$

$$k_{32} = -\varepsilon \frac{c_m}{c_p} a_m, \quad \text{M}^2\text{Па}/(\text{c}^\circ\text{M}); \quad k_{33} = a_p - \frac{-\varepsilon a_m}{c_p} \delta_p,$$

$$\text{M}^2/\text{c}; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ — оператор Лапласа; } a$$

$$= \lambda/(c_p \rho) \text{ — коефіцієнт}$$

температуропровідності; $a_m = \lambda_m/(c_m \rho_m)$ —

коефіцієнт дифузії вологи; δ — відносний

коефіцієнт термодифузії вологи; a_p —

коефіцієнт молярного перенесення вологи; δ_p

— термоградієнтний коефіцієнт; ε — критерій

фазового перетворення; r — питома теплота

фазового перетворення; κ — коефіцієнт

фільтраційного перенесення вологи; c —

приведена питома теплоємність матеріалу; c_p

— коефіцієнт ємності вологого повітря в

шпаруватому тілі; x, y, z — координати; ρ —

густина сухої частки скелета вологого тіла.

Слід зауважити, що наведена система

рівнянь описує системи із розосередженими

параметрами по координатам x, y, z , а всі

теплофізичні і термодинамічні характеристики

$a_m, \delta, \lambda, \varepsilon, c, r$ є функціями температури і

вологості. Крім цього в наведених

рівняннях іноді вологовміст замінюють

потенціалом волого-перенесення $du = c \cdot \theta$. Тоді

термодинамічні й теплофізичні

характеристики поділяють на величину

масоємності. Це ускладнює виконання

розрахунків для різних за хімічним складом та

структурними властивостями тіл, що має місце

навіть в процесі зневоднення середовища із

перемінним вмістом вологи та перевищення

термолабільного порогу термолабільних

складових.

Наведені диференціальні рівняння з

частинними похідними пов'язують незалежні змінні, їхні функції та частинні похідні цих функцій. Розв'язати ці рівняння можна лише за умов, коли розраховуємо функцію перетворити в тотожність [1, 3].

Оскільки фізичні властивості зерна в шарах різної товщини й рухомості різні, тому необхідно масообмінні процеси пов'язувати із конструктивними особливостями тепловологообмінної камери та способів підведення зневоджуючого середовища.

Очевидно, що при розгляді переміщення маси й енергії в окремих зернинах, їх слід представляти однією із простих геометричних форм — нескінченим циліндром або сферою. У зв'язку з цим змінюються його первинні показники, теплофізичні і інші властивості шару зерна в процесі його обробки. Для форм відмінних від вказаних змінюються форми передачі теплоти й маси, молекулярний та конвективний тепло-масообмін, що значно ускладнюють розв'язання задачі, тобто перетворення функцій в тотожність.

З урахуванням викладено наведена система диференціальних рівнянь (1) може бути розв'язана за таких умов:

— коефіцієнти перенесення і термодинамічні характеристики в процесах нагрівання і сушіння сталі;

— волога в порах тіла зернини та шпаринах шару зерна знаходиться в стані термодинамічної рівноваги для різних її фазових станів, а температура вологи відповідає температурі тіла;

— необхідно враховувати конвективну складову молярного перенесення теплоти течією вологи, що викликана відповідною зміною тиску та градієнтом потенціалу перенесення;

— необхідно застосовувати спрощену геометричну форму тіла зернини або шару зерна (пластина, циліндр, шар).

Проте в реальних умовах всі ці умови виконати неможливо. До цього ж слід додати такі обмеження як температура нагрівання шару зерна, швидкість його зневоднення, змінення хімічного складу, порізність пошарового руху зернин і тривалості тепловологообміну, порізність вологовмісту шпаринок шару зерна в просторових координатах, тощо. Очевидно, що в залежності від значимості цих відмінностей вказані спрощення можуть призвести до погіршення відзеркалення

моделі. В інших випадках задачу вважають некоректною [3], тому що не існує єдиного і сталого методу розв'язання таких задач, які дозволяють одержати кількісну характеристику незалежних змінних у будь-якому простору.

Висновки: 1. Застосування фундаментальних математичних моделей А.В.Ликова та Ю.А. Михайлова для зневоднення шару зерна потребує внесення правок на порізність параметрів шару зерна.

Література

1. Вища математика: [Підручник] у 2-х кн., 2-е видання, перероб. і доп. Кн. I за ред. Г.Л. Кулініна. – К.: Либідь, 2003. 1987. – 500 с.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М.: Энергия. Тихонов, А.Л. Самарский. Изд. 5-е. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

References

1. Vishcha math [Higher mathematics]:. [Pidruchnik] y 2 kn 2nd Vidanov, pererob. i add. Bk. Of I for Ed. G.L.Kulinina. - K .: Lybid 2003. [in Ukrainian]. Russian].
2. A.V.Lykov Heat and mass exchange (Directory) [Heat and Mass Transfer (Reference)]. - M .: Energy. 1987. - 500 p. [in 3. Tikhonov A.N. Matematycheskoy equation physics [Equation of mathematical physics] / A.N.Tikhonov, A.L.Samara. Ed. 5th. - M .: Nauka, 1977 - 736 p. [in Russian].

Аннотация

АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА В МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОМОЛЛОГООБМИННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гапонюк И.И.

В этой статье выполнен анализ классических подходов математического моделирования массо-теплообменных процессов, их применение для применения для обезвоживания слоя зерна.

Abstract

ANALYSIS CLASSICAL APPROACHES IN MODELING HEAT MOISTURE EXCHANGE PROCESSES

Haronyuk I.I.

This article analyzed classical approaches of mathematical modeling of mass and heat transfer processes and their application to use for dewatering layer of grain.

