

УПРАВЛІННЯ ПОШАРОВИМ В ОБ'ЄМІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТОГО ТІЛА ГРАДІЄНТОМ ВОЛОГИ

Гапонюк І.І., д-р техн. наук, професор

(Національний університет харчових технологій,)

У статті наведено аналіз відомих досліджень фізичних явищ зневоднення капілярно-пористих тіл, з огляду на особливості будови тіла зернин висвітлено причини виникнення нерівномірності пошарового вмісту вологи в частинках при конвективному способі тепловологообміну і наслідки на структуру зневодненого тіла, розглянуто фактори впливу та теоретично обґрунтовано й експериментально доведено можливість управління пошаровою однорідністю вологовмісту, отримано математичне описання процесів різниці пошарового вмісту від перемінних факторів.

Постановка задачі: дослідити відомі положення зневоднення капілярно-пористих тіл на предмет їх використання для удосконалення конвективних способів сушіння малорухомого шару капілярно-пористих колоїдних тіл з урахуванням особливостей будови зневоджуваного тіла зернини і зменшення нерівномірності пошарового вологовмісту в тілі та управління внутрішньокапілярною дифузиею вологи.

Мета досліджень: розробити способи та режими конвективного тепловологообміну з малорухомим шаром зерна за яких можна

керувати пошаровим в тілі зернини вологовмістом та математично описати процеси.

Основні матеріали досліджень. Існуючі протиріччя між повільними і швидкісними способами зневоднення, яким характерним є менші та відповідно більші питомі енерговитрати, вимоги інтенсифікації зерновиробничої індустрії обумовили домінування других, швидкісних способів зневоднення. Відомо, що із збільшенням швидкості конвективних способів зневоднення капілярно-пористих тіл пропорційно зростають енерговитрати сушіння та втрати теплоти із відпрацьованими робочими газами. Втрати можуть перевищувати розрахунково-необхідні витрати зневоднення в 2,5 ... 4,5 разів. Загально-прийнято ці додаткові витрати енергії сушіння зерна, що перевищують енергію фазових перетворень вологи в зневожуваних тілах, пов'язують із опором внутрішньої дифузії вологи [1, 2, 4].

Своїми експериментальними дослідженнями М.Ф.Казанський, методом індикатору, та В.М.Казанський, за допомогою ізотермічного калориметру, встановили залежність приросту питомої теплоти випаровування вологи Δr від вологовмісту капілярно шпаруватого матеріалу [3]. При визначенні показника Δr автори використовували відоме рівняння Гіббса-Гельмгольца:

$$\Delta I = \Delta F + T \cdot \Delta S, \quad (1)$$

де ΔI - тепловий ефект зв'язування води, або інакше: $\Delta I = \Delta r = r_u - r$, де r_u і r – теплота випаровування вологи із тіла при вологовмісті u та із відкритої поверхні; ΔF – вільна енергія зв'язку; ΔS – ентропія зв'язку вологи.

Цим методом В.М.Казанського скористалися також науковці НУХТ і ОНАХТ для встановлення кількісної характеристики опору

внутрішньокапілярної дифузії й отримання залежності енергії зв'язку вологи із зневоджуванним тілом.

В залежності від вмісту та умов перебування в зернині, фізико-механічна волога може перебувати в рідкому, комбінованому та газоподібному стані. В капілярах волога утримується силами капілярного потенціалу [1 – 3]. Для змочуваних рідин, таких як вода, капілярний потенціал є від'ємним.

Висота «піднімання» вологи в капілярі визначається із рівняння рівноваги сил, що діють по периметру меніска [1, 5], з одного боку тиском P :

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

з другого - масою стовпа вологи висотою h :

$$M = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_n), \quad (3)$$

Із відомої моделі дифузії вологи [1 – 3], рушійними силами як зовнішньої так і внутрішньої дифузії вологи та теплоти у вигляді конвективної та молекулярної (іноді мольної) дифузії в процесах зневоднення матеріалу є різниця тисків (∇P), концентрацій (∇U) та температури (∇T).

У випадку конвективного способу зневоднення зерна, тобто зовнішнього підведення теплоти та сорбції вологи газами, інтенсивність вологообміну J_3 може змінюватися від нульового значення до величини внутрішньої дифузії вологи на поверхню зернини J_v . Величина J_3 пропорційна потенціалу рушійних сил і може бути описана різноманітними виразами, які є похідними формул Дальтона та Ньютона. Для стаціонарних умов конвективного зневоднення можуть бути представлені у вигляді:

$$J_m = a_m \cdot \nabla P, \quad (7)$$

$$\text{та } J_t = a_t \cdot \nabla T, \quad (8)$$

де ∇P та ∇T - градієнти тиску та температури довкілля і поверхні тіла; a_m та a_t - відповідні коефіцієнти пропорційності.

Для розрахунку тиску пари капілярно-зв'язаної вологи, що перебуває безпосередньо в тілі зернини та над його поверхнею, за ізотермічних умов і незначного перепаду температури, часто використовують формули Томсона [1]:

$$\varphi = \exp\left(-\frac{2 \cdot \sigma \cdot p_n \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot p_u \cdot r}\right) \quad (9)$$

$$\varphi = 100 \cdot \frac{P_h}{P_o} = \exp\left(-\frac{\Delta \rho \cdot g \cdot h \cdot M}{\rho_l \cdot R \cdot T}\right) \quad (10)$$

де $\Delta \rho = (\rho_l - \rho_v)$ - різниця густини рідини та пари; g - прискорення вільного падіння; φ – відносна вологість або відносний тиск пари; T - температура газу; R – універсальна газова стала.

Проте ці вирази (9) та (10) на всьому інтервалі сушіння складно застосувати для розрахунків кількісної характеристики по причині великої розбіжності з результатами дослідів [1, 3, 5]. Однак вони дозволяють виконувати якісний аналіз процесів зовнішнього тепломаєобміну. Із цих виразів видно, що величина рушійного потенціалу (∇P) знаходиться в прямій залежності від температури газів T , їхньої густини ρ та в зворотній від молекулярної маси M . В наведених експериментальних дослідженнях Andrea N. та Chuanping Liu [4, 5] доведена можливість застосування цього підходу для широкого діапазону зневоджуваних тіл [4, 5], а Chuanping Liu крім цього пропонує

ввести фактор «перемінного газового потоку» [5], який ще значно раніше виокремлювали в своїх дослідженнях науковці ОНАХТ – професора Гришин М.А., Остапчук М.В. та Бурдо О.В.

За результатами виконаних нами експериментальних досліджень було уточнено коефіцієнти пропорційності в напівемпіричних рівняннях конвективного зневоднення малорухомого шару зерна товщиною 0,25 м для умов наближених до виробничих.

Висновки:

1. З поглибленням зони зневоднення капілярно-шпаруватого тіла внутрішній опір дифузії вологи Δr зростає та є неоднаковим по довжині капіляру.

2. На величину внутрішнього опору дифузії вологи Δr суттєво впливають градієнт внутрішньокапілярного тиску газів $\nabla P_{\text{кап}}$ та співвідношення внутрішньокапілярної різниці тисків в шарах тіла.

3. Для зневоднення капілярно-пористих тіл, особливо із підвищеним вологовмістом та більшими лінійними розмірами, технологічно доцільними є застосування спадних режимів сушіння.

4. Змінням градієнту рушійних потенціалів ∇P , застосуванням короткотривалого припинення підведення робочих газів на завершальному етапі зневоднення зерна ($\tau = 5 \dots 15$ хв), можна суттєво зменшити втрати теплоти із відпрацьованими газами та вирівняти пошарову однорідність тепло-вологообміну зневоджуваного тіла.

Література:

1. Остапчук Н.В. Повышение эффективности сушки зерна./ Н.В.Остапчук, А.Б.Шашкин, В.Д. Каминский // – Киев: Техника, 1988. – 180 с.
2. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. – Одеса.: Поліграф, 2009. – 182 с.
3. Sullikan W.N. Heat transfer to flowing granular media / W.N. Sullikan, R.H.Sabersky // Heat and Mass Transfer. – 1975. – vol.18. № 11. – P.97 – 107.
4. Andrea N. Drying characteristics of amaranth grain / Andrea N. Calzetta Resio, Roberto J. Aguerre, Constantino Suarez // Original Research Article Journal of Food Engineering. – Vol. 65 Issue 2, November 2004. – Pages 197–203.
5. Chuanping Liu. Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying / Chuanping Liu, Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang // Original Research Article Powder Technology, – Vol. 221, May 2012. – Pages 192 –198.

Аннотация

" УПРАВЛЕНИЕ В СЛОЯХ ОБЪЕМА КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ ГРАДИЕНТОМ ВЛАГИ "

В статье приведен анализ известных исследований физических явлений обезвоживания капиллярно-пористых тел, учитывая особенности телосложения зерен отражены причины возникновения неравномерности поша-рового содержимого влаги в частицах при конвективном способе теплового обмена и последствия на

структуру обезвоженного тела, рассмотрены факторы влияния и теоретически обоснованно и экспериментально доказана возможность управления послойной однородностью вологовмісту, получено математическое описание процессов разницы послойного содержания от переменных факторов

Annotation

"MANAGEMENT BY A LAYER IN A BODY CAPILLARY – POROUS BODY BY THE GRADIENT OF MOISTURE"

To the article the analysis of well-known researches of the physical phenomena of dehydration is driven capillary - porous bodies, taking into account the features of build grains reasons of origin of unevenness of layer content of moisture in particles on the method of drying working gases and consequences are reflected on the structure of water-free body, the factors of influence are considered and possibility of management layer homogeneity of вологовмісту is reasonably and experimentally well-proven in theory, mathematical description of processes of difference of layer content is got from a variable factor.