

УПРАВЛІННЯ РУШІЙНИМИ ПОТЕНЦІАЛАМИ КОНВЕКТИВНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ

За швидкісних способів зневоднення капілярно-пористих тіл із штучно створюваними умовами примусового вологообміну зростають енерговитрати сушіння пропорційно витратам енергії та втрати теплоти пов'язані із умовами тепловологообміну й стану фазових середовищ. Втрати енергії можуть перевищувати розрахунково-необхідні витрати зневоднення у більш як два рази.

Додаткові витрати енергії зневоднення капілярно-пористих й у ще більшій мірі капілярно-пористих колоїдних тілах, що перевищують енергію фазових перетворень вологи в зневожуваних тілах, пов'язують із опором внутрішньої дифузії вологи [2, 3, 5].

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.

Висоту «піднімання» вологи в капілярі розраховують із рівняння рівноваги сил, що діють по периметру меніска [1, 5], з одного боку тиском P та масою стовпа вологи M висотою h , з другого:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{R \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_n)}, \quad (1)$$

Аналіз складових формули 1 доводить начебто відсутність впливу зовнішнього тиску на осмотичний, а отже і висота рівня вологи в капілярі не пов'язана з зовнішнім тиском. Проте в подальших наших дослідженнях доведено таки вплив зовнішнього тиску на величину:

$$\Delta h = \pm \frac{(P+H)^k}{P} \quad (2)$$

Із відомої моделі дифузії вологи [1 – 5], 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:

$$J_m = a_m \cdot \nabla P, \quad (3)$$

$$\text{та } J_t = a_t \cdot \nabla T, \quad (4)$$

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

Для розрахунку тиску пари капілярно-зв'язаної вологи, що перебуває безпосередньо в капілярах тіла зернини та над його поверхнею, за ізотермічних умов і незначного перепаду температури, зручно використовувати формули Томсона [2]:

$$\varphi = \exp\left(-\frac{2 \cdot \sigma \cdot p_n \cdot \cos\theta}{\rho_{ж} \cdot p_n \cdot r}\right) \quad \text{та} \quad \varphi = 100 \cdot \frac{P_h}{P_o} = \exp\left(-\frac{\Delta\rho \cdot g \cdot h \cdot M}{\rho_l \cdot R \cdot T}\right) \quad (5)$$

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.

Із-за складності застосування виразів (5) на всьому інтервалі сушіння їх частіше використовують для якісної оцінки стану міжфазового масообміну. Із цих виразів видно, що величина рушійного потенціалу (∇P) перебуває в прямій залежності від температури газів (T), густини (ρ) та в зворотній від молекулярної маси (M). В наведених експериментальних дослідженнях Andrea N. та Chuanping Liu [6, 7] доведена можливість застосування цього підходу для широкого діапазону зневоджуваних тіл [6, 7], а Chuanping Liu крім цього

пропонує ввести фактор «перемінного газового потоку» [7], який ще значно раніше виокремлювали в своїх дослідженнях науковці ОНАХТ – професори Гришин М.А., Остапчук М.В. та Бурдо О.В.

Опускаючи добре досліджені вітчизняними та зарубіжними науковцями чинники тепло-масообміну, пропонуємо детальніше зупинитися на малодосліджених – факторі впливу стану газового середовища в різноманітних порах зневоджуваного капілярно-пористого колоїдного тіла. При конвективному зневодненні капілярно-пористих колоїдних тіл не можна ігнорувати градієнтом внутрішньокапілярного тиску газів та поширову в тілі зернини значення різниць тисків ($\nabla P_{кан}$) на інтенсивність тепловологообміну. За умов інтенсивного вологообміну ця складова може зростати до 80 % і більше відсотків від загальної величини опору внутрішньокапілярної дифузії вологи, а отже стан газового середовища в мікрокапілярах в цьому раці буде домінувати в загальному балансі енерговитрат міжфазового зневоднення.

На рис.1 представлено вплив градієнту внутрішньокапілярного тиску газів $\nabla P_{кан}$ та співвідношення між внутрішньокапілярною різницею тисків тіла зернини із енергією зневоджуваних газів.

Експериментальними дослідженнями підтверджено залежність та уточнено чисельні значення $\nabla P_{кан}$ для конвективного способу зневоднення від перемінних факторів вологості тіла зернини W_0 , лінійних розмірів тіла зернини, швидкості зневоднення dW/dt та вмісту порожнин в зневоджуваному тілі:

$$\Delta H_p = (a/W) \cdot (1/c) \cdot (dW/dt)^b, \quad (6)$$

де a, b, c - коефіцієнти пропорційності встановлюються дослідним шляхом.

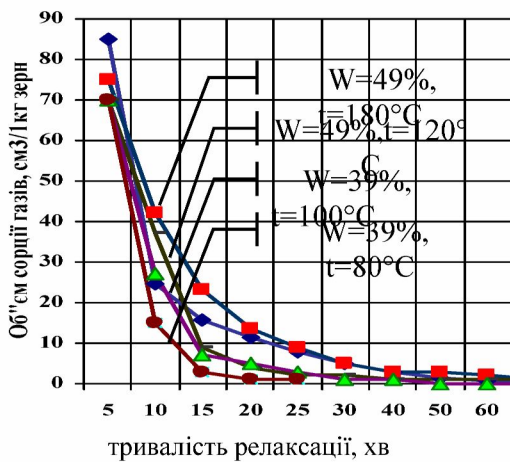


Рисунок 1 – Динаміка тиску

Із виразу (6) слідує, що на величину $\nabla P_{кан}$ суттєво впливають розміри капілярів та лінійні розміри зневоджуваного тіла. З огляду на це, слід пов'язувати режими сушіння із геометричним коефіцієнтом зневоджуваного тіла. Вказаний геометричний коефіцієнт можна виразити через співвідношення площі поверхні контакту масообміну S до відстані l від поверхні контакту до найбільш віддаленої точки тіла зернини в напрямі градієнту вологовмісту (∇W).

На підставі експериментальних даних, для періоду незмінної швидкості зневоднення зерна отримано математичне описання залежності стану внутрішньокапілярного тиску газів від початкового вологовмісту зерна та енергії робочих газів:

$$\Delta E = \left(\frac{\Delta V_{BK} \cdot \rho_B}{F_K} \right) \cdot \left(1 - \frac{dW_i}{dW_\phi} \right) - \left[V_{TK} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right)^K \right], \quad (7)$$

де V_2 – об'єм порожнин зернини, що незаповнені рідиною вологою, $\text{см}^3/\text{кг}$ зерна; δ_2 – частка поглинутих зерном газів до загального об'єму вилученої із зернини вологи, %; θ – температура зерна, $^{\circ}\text{C}$; t_1 – температура робочих газів, $^{\circ}\text{C}$.

Висновки. 1. На величину внутрішнього опору дифузії вологи Δr суттєво впливають градієнт внутрішньокапілярного тиску газів та співвідношення внутрішньокапілярної різниці тисків в шарах тіла зернини.

2. Для зневоднення зерна, особливо із підвищеним вологовмістом та більшими розмірами зернин, технологічно доцільними є спадні режими сушіння.

3. Змінням градієнту рушійних потенціалів впродовж $\tau = 5 \dots 15$ хв можна суттєво зменшити втрати теплоти із відпрацьованими газами та вирівняти пошарову однорідність тепло-вологодобміну зернини

Література

1. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А.Гришин // М.: Агропромиздат., - 1986. – 494 с.
2. Остапчук Н.В. Повышение эффективности сушки зерна./ Н.В.Остапчук, А.Б.Шашкин, В.Д. Каминский // – Киев: Техника, 1988. – 180 с.
3. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. – Одеса.: Поліграф, 2009. – 182 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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.