

УДК 66.047

Я.М. Ханик, В.М. Атаманюк, Л.З. Білецька, В.П. ДулебаНаціональний університет «Львівська політехніка»,
кафедра хімічної інженерії та промислової екології**ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ
ЛИСТОВИХ ГАЗОПРОНИКНИХ І ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

© Ханик Я.М., Атаманюк В.М., Білецька Л.З., Дулеба В.П., 2000

**Описано шляхи вдосконалення фільтраційного сушіння листових газопро-
никних і дисперсних матеріалів.****The article is devoted to the theoretical investigations of the filtration drying of
disperse and capillary-porous colloidal materials.**

Численні теоретичні і експериментальні дослідження показують, що фільтраційне сушіння, можна розглядати не тільки як високоінтенсивний тепломасообмінний процес, але й як процес, який дає змогу досягти високих технологічних показників і як енергоздатний процес, що значно зменшує антропогенний вплив на довкілля порівняно з існуючими традиційними методами сушіння. Ексергетичний коефіцієнт корисної дії використання теплової енергії при фільтраційному сушінні становить 70–75 %, у той час, як при конвективному сушінні тих самих об'єктів – 20–30 %. Причин інтенсифікації сушіння матеріалів фільтраційним методом є декілька і механізм його протікання детально описаний у багатьох роботах [1–4]. Необхідно тільки перелічити ті фактори, які зумовлюють високі швидкості сушіння і невеликі питомі енергетичні затрати: механічне витіснення і винесення вологи, високі градієнти концентрацій, великі площі тепломасообміну, домінуючий вплив молярної дифузії, і незначний вплив молекулярної дифузії, зональний механізм сушіння і високий ступінь використання теплової енергії.

Підвищення технологічних якостей висушеного матеріалу, особливо об'єктів складної форми із капілярно-пористих колоїдних матеріалів, здатних до усадкових явищ і незворотної деформації при конвективному сушінні, зумовлене фіксацією форми виробу під дією перепаду тисків до стінок перфорованої поверхні, у якій розміщують вологий виріб.

Достатньо широко досліджено як теоретично, так і експериментально фільтраційне сушіння газопроникних листових матеріалів різної структурної модифікації із різною енергією зв'язку вологи з матеріалом.

При сушінні листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів, гідравлічний опір яких високий, інтенсивність процесу сушіння лімітується інтенсивністю підведення тепла до внутрішньої поверхні матеріалу. Враховуючи той факт, що такі матеріали характеризуються мікропористою структурою і здатністю до набухання, то проникність матеріалу є незначною, а враховуючи те, що теплоємність повітря незначна, то і незначною є кількість повітря, що підводиться в зону тепломасообміну. Таке явище має місце, тоді коли для створення перепаду тисків використовується розрідження. Для подальшої інтенсифікації сушіння і вдосконалення фільтраційного процесу необхідно інтенсифікувати принаймні два параметри – збільшити перепад тисків або збільшити підведення тепла. Збільшення перепаду тисків можна досягнути за рахунок використання надлишкового тиску, а збільшення швидкості підведення тепла – шляхом використання високоінтенсивних методів передачі

тепла (ІЧ-нагрівання, кондуктивне підведення тепла, комбіноване підведення теплової енергії). Такий напрямок проведення досліджень підтверджують результати експериментальних досліджень, отриманих при сушінні матеріалів складної форми.

Особливу проблему являє собою сушіння дисперсних матеріалів, яке в промислових умовах відбувається в сушарках киплячого шару, барабанних сушарках, в апаратах із складними гідродинамічними режимами. Основний недолік сушіння традиційними методами полягає у тому, що мають місце як великі витрати теплової енергії, так і великі втрати або цінного продукту чи забруднення навколишнього середовища. Сушіння дисперсних матеріалів у щільному шарі при русі теплоносія в напрямку дії сили земного тяжіння відкриває великі можливості для інтенсифікації сушіння, досягнення рівномірного протікання процесу, уникнення втрат цінного продукту і забруднення навколишнього середовища. Особливості режиму сушіння, доцільність застосування фільтраційного сушіння залежать від ряду факторів, зокрема, від структури і розміру частин, що утворюють шар.

Як показали дослідження, у кожному конкретному випадку закономірності сушіння будуть значною мірою відрізнятися.

Процес фільтраційного сушіння складається з двох стадій – механічного витіснення вологи і власне теплового сушіння. На першій стадії волога виділяється із пористого тіла газовим потоком за рахунок поршневого витіснення і механічного винесення практично без витрат тепла.

Друга стадія – теплове сушіння, в процесі якого волога виділяється із пористої структури тіла за рахунок випаровування. У більшості випадків теплове сушіння характеризується наявністю умовних першого і другого періодів.

Для кількісної оцінки вологовиділення можна використати однопараметричну дифузійну модель, яка записується у вигляді:

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = U_0 \cdot \frac{\partial f}{\partial h} + D \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial h^2}, \quad (1)$$

де $\tau > 0$; $0 \leq h \leq H$; $f = \frac{v_1}{V_1}$; $0 \leq v_1 \leq V_1$ при граничних умовах

$$f \Big|_{\tau=0} = A; \quad f \Big|_{h=0} = B; \quad \left(\frac{\partial f}{\partial h} \right)_{h=H} = 0. \quad (2)$$

Величина A визначає ступінь заповнення наскрізних каналів і капілярів в початковий момент часу, величина B – частку об'єму механічно витісненої вологи.

При тепловому сушінні нагрітий газ віддає своє тепло і приймає вологу в нестационарних умовах. Для оцінки зміни температури і вологовмісту використовуємо однопараметричну дифузійну модель [5].

– зміна вологовмісту

$$\rho_T \cdot \frac{\partial x_T}{\partial \tau} + Q \cdot \frac{\partial x_T}{\partial h} - D_L \cdot \rho_T \cdot \frac{\partial^2 x_T}{\partial h^2} = \rho_0 \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{II} - 1}{\varepsilon_{II}} \right); \quad (3)$$

– зміна температури

$$\begin{aligned} \rho_T \cdot C_T \cdot \frac{\partial t_1}{\partial \tau} + v_T \cdot \rho_T \cdot C_T \cdot \frac{\partial t_T}{\partial h} - \rho_T \cdot C_T \cdot D_L \cdot \frac{\partial^2 t_T}{\partial h^2} = \\ = \alpha_T \cdot F \cdot (t_T - t) \cdot \frac{1}{\varepsilon_{II}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Швидкість сушіння у першому умовному періоді, яке протікає на поверхні каналів і капілярів, описується рівнянням [5]:

$$-\frac{\partial U}{\partial \tau} = \beta \cdot P_s \cdot S \cdot (1 - \varphi_T). \quad (5)$$

Другий умовний період описується рівнянням:

$$-\frac{\partial U}{\partial \tau} = K \cdot (U - U_p). \quad (6)$$

Позначення: τ – час, с; v_p – швидкість руху рідини в матеріалі, м/с; u – вологовміст матеріалу, $\text{кг}_{\text{вологи}}/\text{кг}_{\text{сух. матеріалу}}$; $0 \leq h \leq H$ – товщина пластини, м; v – швидкість руху сушильного агента, м/с; ρ_0, ρ_T – відносна густина сухого матеріалу і сушильного агента, $\text{кг}/\text{м}^3$; c, c_T – теплоємність матеріалу і сушильного агента, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$; D_1 – коефіцієнт поздовжнього перемішування, $\text{м}^2/\text{с}$; S, F – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$; V_1 – об'єм наскрізних каналів, м^3 ; B – коефіцієнт випаровування, $\text{кг}_{\text{вологи}}/\text{н} \cdot \text{с}$; P_s – тиск насиченої пари, $\text{н}/\text{м}^2$; ε – критерій фазового перетворення; α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Для розв'язання цієї системи рівнянь вона доповнюється певними початковими і граничними умовами.

Результати експериментальних досліджень використовувалися для перевірки адекватності проведеної математичної моделі, на основі яких створено комплекси програм для ЕОМ.

1. Ханьк Я.Н. *Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов: Дис. ... докт. техн. наук. Львов, 1992. 401 с.* 2. Атаманюк В.М. *Гідродинаміка та масообмін в процесі фільтраційного сушіння хімічного волокна: Дис. ... канд. техн. наук. Львів, 1995. 180 с.* 3. Білецька Л.З. *Комбіноване фільтраційне сушіння листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів: Дис. ... канд. техн. наук. Львів, 1996. 180 с.* 4. Дулеба В.П. *Фільтраційне сушіння осадженого поліакриламідю: Дис. ... канд. техн. наук. Львів, 1997. 175 с.* 5. Лыков А.В. *Теория сушки. М., 1968.*

УДК 661.21

В.Т. Яворський, Н.Й. Чайко, Я.А. Калимон, З.О. Знак
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра хімії і технології неорганічних речовин

ОЧИЩЕННЯ БЕЗКИСНЕВИХ ГАЗІВ ВІД СУЛЬФІДНОЇ СІРКИ

© Яворський В.Т., Чайко Н.Й., Калимон Я.А., Знак З.О., 2000

Наведено основні теоретичні засади та технологічну схему очищення безкисневих газів від сульфідної сірки.

The basic teoretic principles and technological scheme of non-oxygen gases purification from sulphide sulphur by qinhydron are shown in presented publication.

Більшість мінералів, руд, корисних копалин містять певну кількість сірки переважно у сульфатній та сульфідній формах. У результаті промислового перероблення мінеральної та органічної сировини, перебігу природних хімічних та біологічних процесів ця сірка перетворюється у сірководень. Тому в природних технологічних та вентиляційних газах може