

ПРОБЛЕМИ СУШІННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ПРОДУКТІВ З ТОЧКИ ЗОРУ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

© Ханик Я.М., Станіславчук О.В., Ільків І.М., 2008

Наведено результати розрахунку кінетики сушіння пекарських дріжджів фільтраційним методом як крізь пастоподібний шар із додатковим підведенням тепла, так і частинок циліндричної форми.

Results of computation of kinetics of drying baker's yeasts by the filtration method both through the paste layer with the additional tricking into of heat are **presented**, and particles of cylinder **form**.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Наявність у повітрі таких забруднювальних речовин, як промисловий пил, продукти згорання, шкідливі та сильнотоксичні отруйні речовини, негативно впливає на стан здоров'я людей, становить загрозу їх життю. Щорічно в Україні викидається в атмосферу близько 20 млн. тонн шкідливих речовин (~380 кг на одну людину) [1]. Не менш небезпечним для людини є забруднення атмосферного повітря біологічно активними речовинами.

Виробництво хлібопекарських дріжджів супроводжується викиданням в повітря дрібнодисперсної фази готового продукту на стадії сушіння, крім того, воно характеризується значними енергетичними затратами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Внаслідок проведених досліджень процесу сушіння методом фільтрації теплоносія крізь висушуваний шар на прикладі матеріалів різної структури і модифікації [2–5] доведено ефективність використання цього методу. До основних його переваг належить значне зменшення енергозатрат порівняно з іншими методами, а також відсутність викидів дрібнодисперсної фази в атмосферу.

Тому нами було виконано дослідження кінетики сушіння пекарських дріжджів методом фільтрації теплоносія крізь шар матеріалу з додатковим підведенням до нього тепла, а також частинок циліндричної форми.

Мета роботи. Необхідні нові енергоощадні методи сушіння пастоподібних біологічно активних матеріалів, які дають змогу інтенсифікувати процес, уникнути забруднення довкілля і зберегти високі якісні показники.

Результати досліджень. Оскільки пекарські дріжджі на сушіння надходять після стадії фільтрування на барабанному вакуум-фільтрі, нами була досліджена можливість здійснення стадії сушіння на цьому ж таки апараті. Внаслідок фільтрування на перфорованій сітці утворюється пастоподібний осад, тому для кращої проникності теплоносія крізь шар матеріалу створювали в ньому штучну пористість. Крім того, у шарі розміщали об'ємну металеву сітку (рис. 1), що дало змогу підводити тепло по усій його висоті вже від початку процесу. Внаслідок додаткового підведення тепла в шар матеріалу тривалість сушіння скоротилася більше ніж утричі.

Внаслідок дослідження кінетики сушіння пекарських дріжджів у вигляді циліндричних частин під час руху теплоносія в напрямку “шар матеріалу → перфорована перегородка” визначено ступінь впливу на кінетику процесу: температури теплоносія, перепаду тиску, геометричних параметрів шару (рис. 2) та діаметра циліндричних частин.

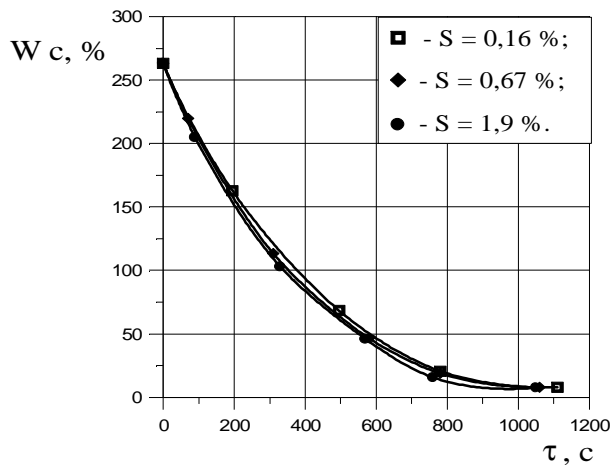


Рис. 1. Кінетичні криві сушіння пекарських дріжджів за змінних значень штучної пористості шару та наявності в ньому об'ємної сітки, $T = 323\text{ K}$, $H = 2 \cdot 10^{-3}\text{ м}$

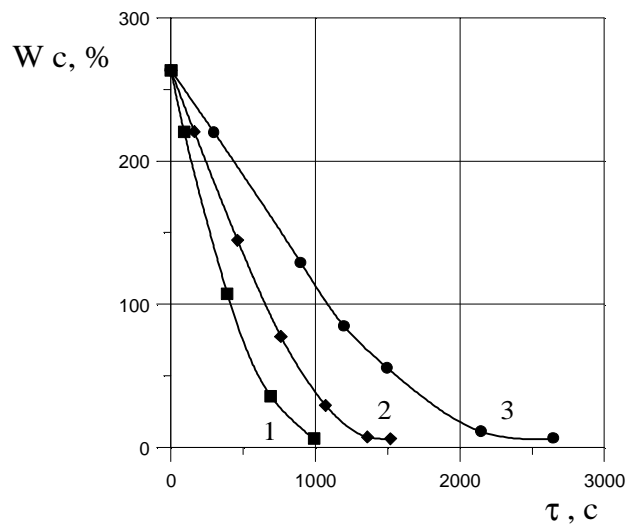


Рис. 2. Кінетичні криві сушіння пекарських дріжджів у вигляді циліндричних частин за змінної висоти шару, $T = 323\text{ K}$, $d = 2,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$:
1 – $H = 0,015\text{ м}$; 2 – $0,04\text{ м}$; 3 – $H = 0,06\text{ м}$

Одержані результати дослідження кінетики сушіння біологічно активного пастоподібного матеріалу вказують на наявність двох умовних періодів сушіння. Характеристикою кінетики першого періоду зневоднення є швидкість сушіння N , яка визначається як тангенс кута нахилу прямих ділянок кінетичних кривих (рис. 1 та 2), що відповідають першому періоду сушіння.

Визначення критичної вологості $W_{кр}$, часу сушіння в першому періоді $t_{кр}$ та коефіцієнта сушіння K здійснювали графічно-аналітичним методом [8].

На основі отриманих результатів встановлено залежності N від критичного часу, з яких визначено тривалість сушіння у першому умовному періоді для пастоподібного шару (1) і циліндричних частин (1а) пекарських дріжджів:

$$\tau_{кр} = \frac{1,48 - N}{1,65 \cdot 10^{-3}}; \quad (1)$$

$$\tau_{кр} = \frac{0,499 - N}{2,1 \cdot 10^{-4}}. \quad (1\text{ а})$$

Для детальнішого узагальнення першого періоду сушіння можливості розрахунку приведеного критерію Нуссельта та коефіцієнта масовіддачі на основі одержаних експериментальних даних нами визначено коефіцієнт пропорційності та показники степенів критеріїв подібності для критеріального рівняння, яке набуває конкретного вигляду для фільтраційного сушіння циліндричних частин біологічно активного продукту:

$$Nu' = 1,98 \cdot 10^{-4} \cdot Re^{1,7} \cdot Pr^{0,795} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0,37}. \quad (2)$$

Для прогнозування теплообмінних процесів, що відбуваються під час сушіння циліндричних частин пекарських дріжджів, досліджуванним методом за змінних параметрів розраховано коефіцієнт пропорційності A та показники степенів m , n , k для критеріального рівняння теплообміну:

$$Nu = 5,4 \cdot Re^{1,67} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0,35}. \quad (3)$$

Із співвідношення $c = K / N$ визначено значення відносного коефіцієнта сушіння для пастоподібного шару $\chi = 0,006\text{ 1/\%}$ і для циліндричних частин $\chi = 0,058\text{ 1/\%}$.

Отже, рівняння для кількісного розрахунку кінетики сушіння у другому періоді [6] можна записати у вигляді

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-0,006 \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр})}, \quad (4)$$

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-0,058 \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр})}, \quad (4a)$$

використовуючи які, отримано залежності для розрахунку зміни вологості пекарських дріжджів в часі для другого періоду сушіння та його тривалість.

На основі одержаних даних можна записати рівняння, які дають змогу розрахувати тривалість сушіння пастоподібного біологічно активного матеріалу досліджуваними методами

Загальний час сушіння відповідно становитиме для пастоподібного шару матеріалу з додатковим підведенням в нього тепла

$$\tau = \frac{1,48 - N}{1,65 \cdot 10^{-3}} + \left[-\frac{1}{0,006} \cdot \ln \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right], \quad (5)$$

та для матеріалу, сформованого у вигляді циліндричних частин

$$\tau = \frac{0,499 - N}{2,1 \cdot 10^{-4}} + \left[-\frac{1}{0,058 \cdot N} \cdot \ln \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right]. \quad (5a)$$

Підсумовуючи отримані результати досліджень кінетики сушіння пекарських дріжджів у щільному шарі, можна зробити висновок, що вони частково підтверджують основні закономірності сушіння матеріалу методом фільтрації теплоносія через шар. Однак виявлені особливості, які характерні для цього біологічно активного матеріалу. Під час сушіння з матеріалу вивільняються три види вологи: міжклітинна, вільна клітинна та частково зв'язана клітинна, внаслідок чого відбуваються зміни як в структурі шару матеріалу, так і в самому матеріалі (капілярна контракція (стиснення), що призводить до виникнення усадкової деформації).

Висновки. Використання фільтраційного методу сушіння для такого пастоподібного біологічно активного матеріалу, як пекарські дріжджі, дає змогу значно зменшити енергетичні затрати на стадії сушіння. Крім того, під час зневоднення у нерухомому шарі не утворюється дрібнодисперсна фаза, яка за інших умов виноситься в повітря робочої зони і негативно впливає як на здоров'я працівників, так і на якість вихідної сировини та готового продукту.

Умовні позначення: W – потокова вологість, %; W_p – рівноважна вологість, %; $W_{кр}$ – приведена критична вологість, %; K – коефіцієнт сушіння, c^{-1} ; χ – відносний коефіцієнт сушіння; $1/\%$; $\tau_{кр}$ – час сушіння у першому періоді, с; τ – поточковий час сушіння, с; Nu' – дифузійний критерій подібності Нуссельта; Re – критерій подібності Рейнольдса; Pr' – дифузійний критерій подібності Прандтля; Gu – критерій подібності Гухмана; β – коефіцієнт масовіддачі, м/с; l – довжина шару матеріалу, м; D – коефіцієнт дифузії, m^2/c ; A – коефіцієнт пропорційності; ω – швидкість теплоносія, м/с; ρ – густина теплоносія, kg/m^3 ; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості теплоносія, Па·с; T_n – температура середовища, 0K ; T_m – температура мокрого термометра, 0K ; l_1 і l_2 – відношення геометричних параметрів, м; m, n, k, s – показники степенів критеріїв подібності.

1. Лапін В.М. *Безпека життєдіяльності людини: Навч. посібник.* – 6-те вид., перероб. і доп. – К.: Знання, 2007. – 332 с. 2. Ханьк Я.М. *Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов // Дисс... д-ра техн. наук: 05.17.08.* – Львов, 1992. – 401 с. 3. Дулеба В.П. *Фильтраційне сушіння осажденного поліакриламиду // Дисс... канд. техн. наук: 05.17.08.* – Львів, 1997. – 162 с. 4. Гузьова І.О. *Інтенсифікація тепломасообміну фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів // Дисс... канд. техн. наук: 05.17.08.* – Львів, 2001. – 147 с. 5. Кіндзера Д.П. *Сушіння паливних матеріалів різнодисперсного складу у щільному шарі // Дисс... канд. техн. наук: 05.17.08.* – Львів, 2003. – 187 с. 6. Лыков А.В. *Теория сушки.* – М.: Энергия, 1968. – 472 с.