

де: $h_1 = -\alpha_1/\lambda_1$; $h_2 = \alpha_2/\lambda_2$; α – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·град); λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ДСП, Вт/(м·град).

Застосовуючи перетворення Лапласа, загальний розв'язок рівнянь (3) і (4) запишеться у вигляді

$$\bar{t} = c_1 e^{x\sqrt{S/a}} + c_2 e^{-x\sqrt{S/a}} + \frac{W_0}{S(S/a - k^2)} e^{-kx}; \quad (6)$$

$$\bar{t} = c_1 e^{x\sqrt{S/a}} + c_2 e^{-x\sqrt{S/a}} + \frac{aq_0}{S(S+k)} e^{-kx}. \quad (7)$$

Рівняння (6) і (7) розв'язувалися числовими методами із застосуванням обчислювальної техніки.

УДК 66. 047

Инж. О.В. Станіславчук; проф. Я.М. Ханік, д.т.н.;
асист. Л.З. Білецька, к.т.н.; ст. викл. В.П. Дулеба, к.т.н. – НУ
"Львівська політехніка"

СУШІННЯ ПАСТОПОДІБНИХ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведені результати досліджень сушіння пастоподібного термолабільного матеріалу (дріжджі) конвективним методом у суцільному шарі.

Eng. O. Stanislavshuk, prof. Ya. Hanyk, L. Biletska, V. Duleba – NU "Lviv'ska Politehnika"

The drying of paste termolabile materials

The results investigation of convection drying the termolabile material in layer (east) was carried out.

Сушіння пастоподібних термолабільних матеріалів являє собою складну технологічну та тепломасообмінну проблему. З одного боку сушіння таких матеріалів ускладнене їх комкуванням і налипанням на робочі органи апаратів і додаткові пристрої, складністю рівномірного розподілу висушуваного матеріалу в робочій зоні сушарки.

З іншого боку – це матеріали, які є живими організмами в стані ферментативної активності із складними біологічними властивостями, які можуть різко змінюватись при значному зниженні вмісту внутрішньоклітинної вологи.

До таких матеріалів належить досліджуваний нами матеріал – хлібопекарські дріжджі. Дріжджова клітина є носієм потужних ферментних систем, які за сприятливих умов (головним чином за оптимальної температури та вологості) здатні легко і швидко руйнувати речовину в самій клітині (автоліз). Висока вологість пресованих дріжджів сприяє їх автолізу. Тому виникає необхідність зменшувати вологість дріжджів шляхом висушування.

В промисловості для сушіння дріжджів застосовують переважно конвективний метод з використанням якості сушильного агенту повітря. Пресовані дріжджі перед сушінням подрібнюють, надаючи їм форму гранул або вермишелі з середнім діаметром не більше 3мм і довжиною 3–4 мм. Сушіння здійснюється в апаратах різноманітних конструкцій: камерних, шафних, пневмогазових, розпилюю-

чих, вакуум-вальцових, сублімаційних, стрічкових, барабанних сушарках, карусельного типу, у віброкиплячому шарі [1].

На сьогодні найбільш поширеним є сушіння в киплячому шарі матеріалу. Однак варто зауважити, що коефіцієнти теплообміну при сушінні в киплячому шарі значно нижчі від коефіцієнтів теплообміну при сушінні в нерухомому шарі при однакових перепадах температури і швидкості газу [2]. Цей спосіб сушіння має і ряд інших недоліків. Тривалість сушіння в таких установках є достатньо велика, наявне стирання матеріалу, великі питомі енергетичні затрати, неоднорідність псевдозрідженого шару, а також – винесення дрібнодисперсної фракції із зони сушіння, що призводить до великих втрат матеріалу, забруднення довкілля, порушення однорідності певного штаму та необхідності встановлення додаткової апаратури для очищення газового потоку.

З метою вдосконалення сушіння досліджуваного матеріалу нами було проведено ряд досліджень з кінетики сушіння конвективним методом суцільного шару матеріалу у трьох напрямках: вплив зміни температури, швидкості теплоносія та висоти шару матеріалу на швидкість сушіння та якість отриманого продукту.

Щоб збільшити інтенсивність сушіння, необхідно підвищити теплообмін матеріалу з навколишнім середовищем. Відомо, що із збільшенням швидкості руху газу коефіцієнт теплообміну зростає. Однак великі швидкості руху газу вимагають і великих втрат електроенергії. Нами були проведені дослідження по сушінню матеріалу при швидкості теплоносія від 2.4 до 4.2 м/с. Швидкість сушіння в результаті зростання швидкості руху теплоносія зросла приблизно в 2 рази, при одночасному підвищенні якості отриманого продукту. Результати досліджень представлені на рис. 1.

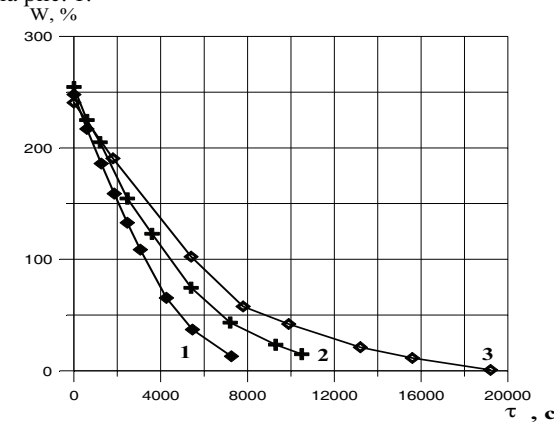


Рис. 1. Кінетика сушіння шару матеріалу дріжджів конвективним методом: 1 – швидкість теплоносія 4.2 м/с; 2 – 3.6 м/с; 3 – 2.4 м/с

Другий шлях інтенсифікації тепломасообміну – підвищення температури теплоносія. Однак необхідно визначати, що процес сушіння має проходити в межах гранично-допустимих температур для даного матеріалу. Дослідження проводились в межах температур 36–60°C. Із зростанням температури тривалість процесу сушіння зменшилась приблизно в 2.5 рази, однак аналіз якості отриманого продукту показав, що при t=60°C кількість мертвих клітин становить 32 %, при t=50°C – приблизно 10 %, а при t=36°C – 1 %.

У процесі вивчення кінетики сушіння висота шару змінювалась від $2.5 \cdot 10^{-3}$ м до $6 \cdot 10^{-3}$ м. Отримані результати показали, що при зміні висоти у вказаному інтервалі час сушіння збільшився в 3.7 рази при одночасному погіршенні якісних показників. Основною перешкодою для швидкого сушіння суцільного шару даного матеріалу є його дифузійний опір. Процес сушіння супроводжується явищем "сідання", що є причиною появи тріщин (локальне руйнування), а також причиною повного руйнування є розвиток об'ємно-напруженого стану висушуваного матеріалу вище гранично-допустимого для даного матеріалу. Тому конвективне сушіння буде ефективним при оптимальній товщині шару.

Як впливає з отриманих результатів досліджень конвективний метод сушіння термолабільних матеріалів може ефективно використовуватись при обґрунтованих параметрах сушіння і дозволяє отримати сухий продукт високої якості. Однак час сушіння є достатньо значним, що є причиною подальших пошуків ефективних методів сушіння.

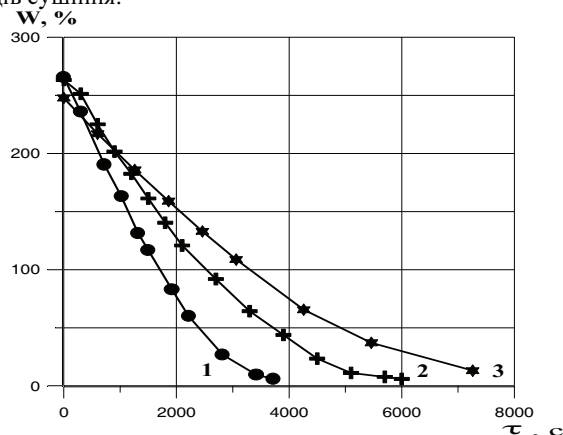


Рис. 2. Кінетика сушіння шару матеріалу дріжджів конвективним методом: 1 – температура теплоносія 60°C ; 2 – 50°C ; 3 – 36°C

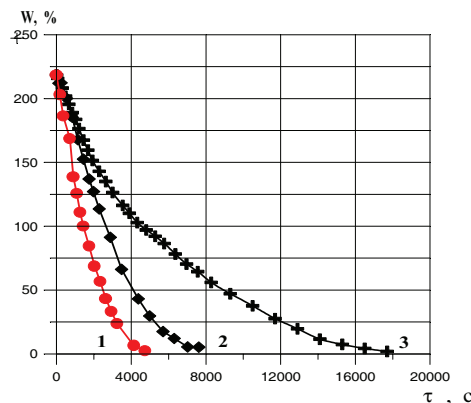


Рис. 3. Кінетика сушіння шару матеріалу дріжджів конвективним методом: 1 – висота шару матеріалу 2,5 мм; 2 – 4 мм; 3 – 6 мм

Література

1. Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов, – М.: Химия, 1988, 349с.
2. Лыков А.Н. Теория сушки, – М.: Энергия, 1968, – 472 с.

УДК 66. 047

Асист. Л.З. Білецька, к.т.н. – НУ "Львівська політехніка"

ПРОБЛЕМИ КОМБІНОВАНОГО СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ КОЛОЇДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведені результати досліджень комбінованого фільтраційного сушіння матеріалів рівномірної структури в періодичному режимі фільтрації.

L. Biletska – NU "Lviv'ska Politehnika"

The problems of combination drying of capillary porous colloid materials

The results of combination filtration drying investigation in periodical regime of filtration for uniformly porous materials were considered.

При сушінні капілярно-пористих колоїдних матеріалів, які характеризуються значним гідравлічним опором і, відповідно, зменшенням швидкості руху теплоносія через їх пористу структуру, швидкість сушіння загалом лімітується підведенням теплової енергії до висушуваного матеріалу. Через низьку фільтраційну здатність при сушінні вказаних об'єктів інтенсивність підведення тепла є низькою. Тому кінетика сушіння таких капілярно-пористих колоїдних матеріалів характеризується наявністю періоду сповільненого сушіння [1], що є основною причиною зростання тривалості процесу.

Одним з шляхів подальшої інтенсифікації фільтраційного зневоднення є інтенсивне підведення теплової енергії в зону тепломасообміну. До таких інтенсивних методів відноситься нагрівання інфрачервоними променями з одночасним використанням тепла продуктів горіння.

Однак, як було встановлено при вивченні кінетики процесу, з ростом температури поверхні матеріалу зі сторони нагріву ІЧ-променями швидкість сушіння зростає незначно. Це пояснюється явищем термодифузії, яке призводить до того, що волога у вигляді рідини переміщується у нижні шари матеріалу і зростання її вологості, вищою за початкову. Оскільки механічне витіснення вологи для капілярно-пористих колоїдних матеріалів не характерне, то це, відповідно, є причиною зменшення фільтраційної здатності висушуваного об'єкту і, відповідно, – інтенсивності винесення водяних парів. Безперервна робота агрегатів, що створюють перепад тисків, є причиною значних енергетичних затрат.

З метою усунення перерахованих негативних явищ нами був запропонований комбінований метод сушіння [2]. При такому процесі матеріал прогрівається безперервно, а перепад тисків створюється періодично, за певним циклом. Під час прогрівання матеріалу утворюється водяна пара в його пористій структурі, а під час створення перепаду тисків відбувається винесення їх із зони сушіння. При такому комбінованому сушінні зменшуються енергетичні затрати на створення перепаду тисків, а сам процес значно інтенсифікується.