

1987. – 94 с. 3. Павлов К.Ф., Роменков П.Г., носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. Чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – Л.: Химия, 1981. – 560 с. 4. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). ДСП-201-97. – К.: МОЗУ, 1997. – 57 с.

УДК 66.47

Я.М. Ханик, О.В. Станіславчук, В.П. Дулеба, Л.З. Білецька  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної інженерії

## ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ ТА КІНЕТИКИ СУШІННЯ БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ ПАСТОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Ханик Я.М., Станіславчук О.В., Дулеба В.П., Білецька Л.З., 2002

**Наведені результати досліджень гідродинаміки та кінетики сушіння пастоподібних біологічно-активних матеріалів фільтраційним методом у суцільному шарі та із створенням у ньому штучної пористості на прикладі хлібопекарських дріжджів.**

**In this article described results of investigation hidrodynamic and kinetic process of drying for paste biologically materials filtration method in unbroken layer and broken layer for yeast.**

Для сушіння пастоподібних матеріалів використовують переважно конвективний метод (шахтні, стрічкові сушарки, апарати киплячого шару та ін.). Однак стадії підготовки матеріалів даного типу до сушіння суттєво не відрізняються і полягають у такому: матеріал відфільтровують на фільтр-пресі або барабанному вакуум-фільтрі, подрібнюють, надаючи йому форму гранул або вермішелі. У деяких виробництвах гранули підсушують або опудрюють висушеним продуктом, щоб запобігти їх подальшого злипання [1, 2]. Тобто на підготовку матеріалу до сушіння затрачається додаткова енергія, виробничі площі та додаткові апарати, зростає загальна тривалість процесу.

Завдання нашого дослідження полягає в тому, щоб спростити таку енергоємну та металомістку схеми виробництва пастоподібних матеріалів на прикладі сушіння хлібопекарських дріжджів фільтраційним методом. Запропонований метод дає змогу уникнути стадії підготовки матеріалу до сушіння та об'єднати в одному апараті послідовні стадії: фільтрування та сушіння. Суспензія чи дріжджове молоко, отримане під час бродіння культури *Saccharomyces cerevisiae*, відфільтровується під дією перепаду тисків, створеного за допомогою вакуум-насоса, а теплоносій, нагрітий до температури 50°C подається зверху, і проходить через шар матеріалу (заввишки 2 мм), одночасно висушуючи його.

Окрім спрощення схеми, завданням досліджень було вивчення зміни параметрів процесу, як з погляду гідродинаміки, так і з погляду кінетики сушіння. Характер зміни цих величин визначається структурою, а також природою зв'язку вологи з матеріалом.

Нами було детально досліджено гідродинаміку та кінетику сушіння у випадку суцільного шару біологічно активної маси та за наявності штучної пористості (від 0,66 до 10 %). Результати досліджень зображені на рис. 1.

У випадку сушіння суцільного шару матеріалу (крива 5), процес характеризується двома періодами, які суттєво відрізняються один від іншого. На першій ділянці кривої величина гідравлічного опору майже незмінна, тобто проникливість шару практично дорівнює нулеві. Це дозволяє констатувати факт, що в цей період зміна вологості в часі є незначною.

Другий період сушіння починається після 1200 с, і характеризується різким зменшенням гідравлічного опору шару. Це пояснюється тим, що при висиханні поверхні шару матеріалу, за рахунок усадкових явищ починається тріщиноутворення матеріалу, характерною особливістю якого в даному випадку є виникнення тріщин значних розмірів, але невеликої їх кількості. Одночасно відбувається різке зменшення перепаду тисків, але інтенсивність сушіння залишається низькою, оскільки процес залежить від швидкості сушіння ділянок матеріалу між тріщинами, лімітуючою стадією якого є молекулярна дифузія.

У випадку сушіння матеріалу із штучною пористістю (криві 1 – 3), процес характеризується двома схожими періодами. Перший період – це різке зменшення гідравлічного опору після створення в шарі штучної пористості і сповільнення його наприкінці періоду. Відповідно зростає проникність шару матеріалу, що призводить до зменшення вологості від 72 % до 64 – 52 % (залежно від % штучної пористості).

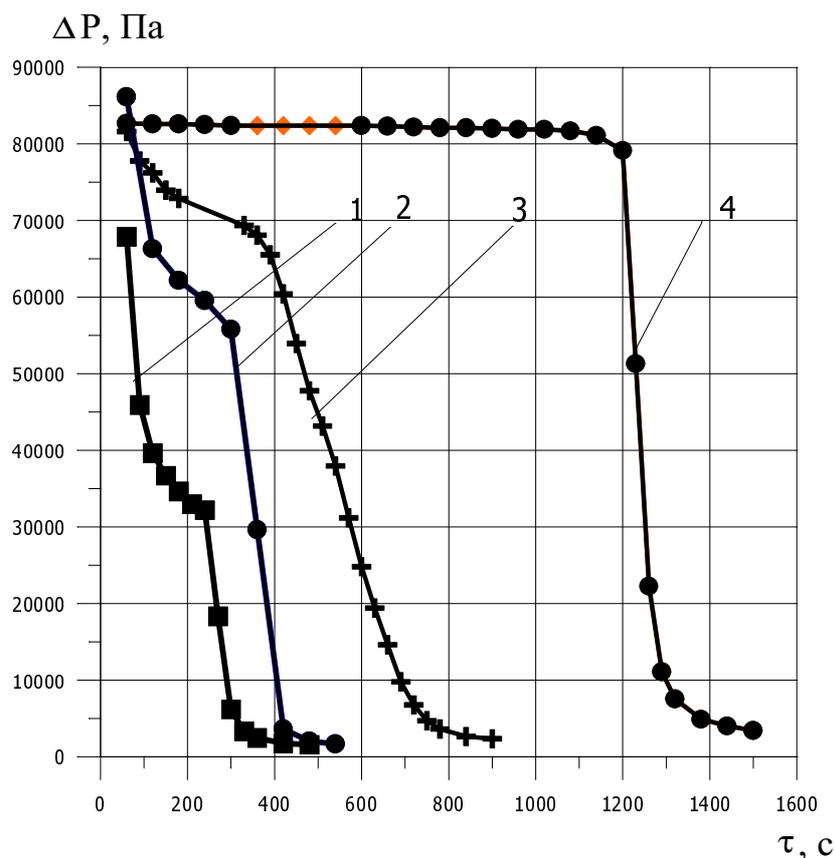


Рис. 1. Зміна перепаду тиску для суцільного шару матеріалу та із створеною у ньому штучною пористістю при температурі теплоносія 50°C:  
1 –  $S = 10\%$ , 2 –  $S = 5\%$ , 3 –  $S = 0,66\%$ , 4 – суцільний шар матеріалу

Початок другого періоду також характеризується різким зменшенням перепаду тисків. Це пояснюється тим, що проявляються усадкові явища, які призвели, в даному випадку, до утворення рівномірної сітки тріщин незначних розмірів, але великої їх кількості. Тобто значно зросла поверхня контакту теплоносія і висушуваного матеріалу (поверхня тепло масообміну) та збільшилась проникливість шару матеріалу.

На рис. 2 зображені кінетичні криві сушіння досліджуваного матеріалу. Незважаючи на різний живий переріз штучної пористості, кінетичні криві майже збігаються. Це явище можна пояснити тим, що, з одного боку, наявність штучної пористості зумовлює відсутність невеликої кількості тріщин значних розмірів, а з іншого боку, виникає велика кількість тріщин, які рівномірно розподілені по поверхні матеріалу і мають незначні розміри. Таке явище сприяє інтенсифікації сушіння через зменшення опору молекулярній дифузії вологи до мікротріщин, при виникненні яких сумарний живий переріз значно перевищує значення живого перерізу штучної пористості.

Рівномірність мікротріщин залежить від живого перерізу штучної пористості на початку процесу, що позитивно відображається на кінетиці сушіння.

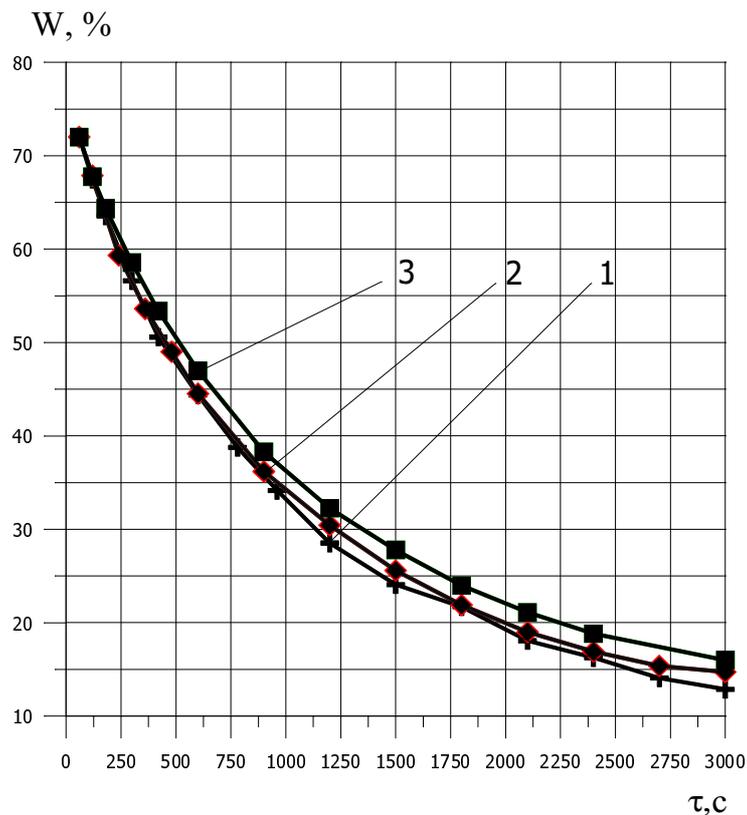


Рис. 2. Кінетика сушіння пастоподібного біологічно-активного матеріалу за наявності штучної пористості: 1 –  $S = 0,66\%$ , 2 –  $S = 1,32\%$ , 3 –  $S = 10\%$

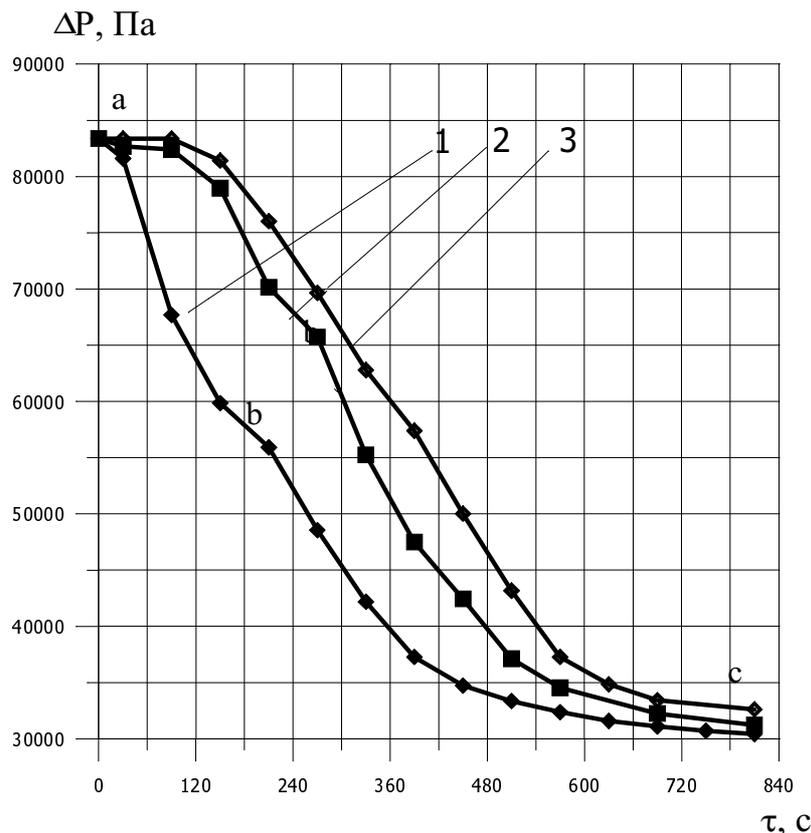


Рис. 3. Зміна гідралічного опору шару досліджуваного матеріалу від часу створення у ньому штучної пористості:  
1 – через 30 с від початку сушіння; 2 – через 90 с; 3 – через 180 с

Вплив часу створення штучної пористості у шарі досліджуваного матеріалу на зміну гідралічного опору відображено на рис. 3. Як бачимо, перша крива (створення штучної пористості через 30 с від початку процесу сушіння) характеризується наявністю двох ділянок (ab та bc). На початку першої ділянки (відразу після проколювання шару матеріалу) відбувається різке зниження гідралічного опору, що пояснюється збільшенням живого перерізу наскрізних каналів за рахунок створення додаткової поверхні тепломасообміну.

Однак через певний час на поверхні шару спостерігаються усадкові явища, які призводять до зменшення сітки створеної пористості. Зниження гідралічного опору уповільнюється. Після виникнення мікротріщин по всій поверхні шару знову зростає швидкість зменшення гідралічного опору, збільшується проникність шару матеріалу.

У випадку створення додаткової пористості у шарі досліджуваного матеріалу через 90 с (крива 2) спостерігаються ті самі явища, але зміщені в часі (приблизно на 60сна ділянці ab). Третя крива характеризує зміну гідралічного опору шару досліджуваного матеріалу із створенням у ньому штучної пористості через 180 с від початку сушіння. До цього моменту у шарі матеріалу утворюються мікротріщини, тому на кривій 3 чітко виражених двох ділянок ab та bc немає. Варто зауважити, що швидкості зменшення гідралічного опору після створення у шарі додаткової пористості є приблизно однаковими.

1. Уайт Дж. *Технологія дрожжей*. – М.: Пищепромиздат, 1957. 2. Муштаев В.И., Ульянов В.М. *Сушка дисперсних матеріалів*: – М.: Химия, 1988.