

Однак, як показали результати експериментальних досліджень, в найкоротшому апараті ступінь очищення є досить низьким, а збільшення довжини робочої зони призводить до значного збільшення ефективності (рис. 3).

Отже, результати досліджень не підтверджують те, що потік робить теоретично розраховану кількість обертів. Крім того, візуальні спостереження процесів, які відбуваються всередині апарата, показали, що потік здійснює 2–3 витки в апараті з довжиною робочої зони $l/d = 5,843$, а в апаратах із меншою довжиною і того менше. За результатами, наведеними на рис. 3, оптимальна відносна довжина робочої зони $l/d \approx 6$.

У результаті математичної обробки експериментальних даних по дослідженню ефективності очищення залежно від початкової концентрації і відносної довжини робочої зони отримано математичне рівняння:

$$\eta = \exp(3.5 + 0.2 \ln C) + 0.11 \exp(l/d),$$

де C – початкова концентрація пилу, $г/м^3$; l/d – довжина робочої зони.

Відхилення теоретично розрахованих даних від експериментальних становить $\pm 1,3\%$.

Висновок. Дослідження апарата з поперечно-поточною зоною розділення показали, що його ефективність порівняно з класичним циклоном подібного типорозміру зростає на 5–6%. Встановлено, що оптимальна відносна довжина робочої зони розділення становить $l/d \approx 6$.

1. *Оборудование для санитарной очистки газов: Справочник / М.Е. Кузнецов, К.И. Шмат, С.М. Кузнецов. – К.: Техника, 1989. – 304 с.* 2. *Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки вентиляционного воздуха. – Л.: ВНИИОТ ВЦСПС, 1967. – 101 с.*

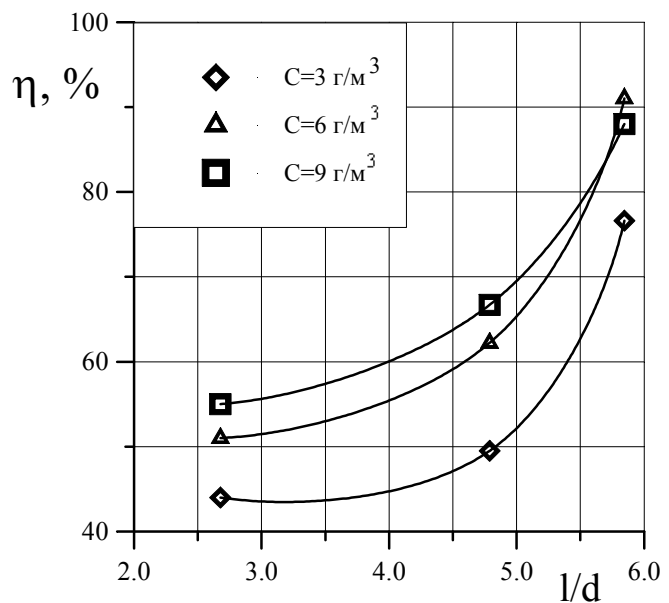


Рис. 3. Залежність ефективності очищення від довжини робочої зони

УДК 66.047

Я.М. Ханик, О.В. Станіславчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної інженерії та промислової екології

НОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ – ШЛЯХ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

© Ханик Я.М., Станіславчук О.В., 2004

Наведено результати розрахунків II періоду конвективного сушіння пресованих дріжджів у щільному шарі із змінними параметрами теплоносія та висоти шару матеріалу.

Presentation the results investigation of II period's the konvective drying a presses yeast in unbroken layer material with changing parameters hot air and weight layer of material.

Постановка проблеми. Всі види людської діяльності, тією чи іншою мірою, негативно впливають на довкілля, оскільки супроводжуються певними викидами, що, як правило, не переробляються. Основний антропогенний вплив на довкілля мають промислові підприємства, виробництво продукції

яких супроводжується значними енергетичними, хімічними та механічними викидами. Сказане стосується і технології виробництва біологічно активних продуктів, зокрема хлібопекарських дріжджів, під час виготовлення яких у довілля викидається значна кількість дрібнодисперсної фази, що негативно впливає і на селективність окремих видів дріжджів. Основною причиною такого явища є стадія сушіння.

Виробництво сухих дріжджів на сучасних підприємствах сушіння сирого продукту відбувається в сушарках киплячого шару, які характеризуються значними питомими енергетичними затратами, стиранням матеріалу з утворенням дрібнодисперсної фази, що виноситься у довілля, великою тривалістю процесу зневоднення і негативно впливає на якість кінцевого продукту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що не існує результатів досліджень, які дали б можливість порівняти кінетичні, енергетичні, технологічні і екологічні показники процесу сушіння біологічно активних сполук*. Разом з тим, потреба у вдосконаленні існуючих і створення нових високоєфективних методів зневоднення дріжджів є актуальною проблемою.

Постановка завдання. Для отримання обґрунтованих наукових даних стосовно доцільності використання різних методів сушіння біологічно активних сполук, порівнюючи їх кінетичні, енергетичні і технологічні показники, були проведені теоретичні і експериментальні дослідження, що дало можливість в остаточному результаті запропонувати нові способи сушіння дріжджів і порівняти вказані показники з дослідженими традиційними методами сушіння.

Першим етапом комплексного дослідження було вивчення процесу сушіння дріжджів конвективним методом. Дослідження проводились при паралельному русі теплоносія площині вологого матеріалу в діапазоні зміни температури 36...60 °С, швидкості теплоносія – 2,4–4,2 м/с, товщини шару матеріалу 2,5–7·10⁻³ м. Зміна вологості матеріалу фіксувалася ваговим методом. Вплив швидкості руху теплоносія на кінетику процесу сушіння графічно зображений на рис.1, з якого можна зробити висновок, що процес зневоднення відбувається як у першому, так і другому періодах. З початкової вологості по сухому матеріалу $W_{co} = 265\%$ до критичної $W_{c\text{кр}}$, яка приблизно дорівнює 30–35 %, процес перебігає в умовах постійної швидкості (перший період), а при $W_c < W_{c\text{кр}}$ – у другому періоді (періоді падаючої швидкості сушіння). Значення критичної вологості визначалося графоаналітичним шляхом (рис. 2). Як показують дослідження, гідродинамічний режим у вказаному діапазоні зміни швидкостей суттєво впливає на швидкість сушіння і час досягнення критичної вологості.

Збільшення швидкості в 1,75 раза приводить до зменшення часу досягнення критичної вологості в 1,7 раза, тобто має місце прямо пропорційна залежність. Загальний час сушіння до досягнення рівноважної вологості, яка приблизно дорівнює 8 %, віднесеної до абсолютно сухого матеріалу зменшується з 1850 до 1150 с. Зміна швидкості сушіння N при цьому зростає з $2,65 \cdot 10^{-2}$ до $4 \cdot 10^{-2} \%$ /с, тобто швидкість перебігу процесу приблизно пропорційна швидкості руху теплоносія в першому степені ($N \sim \omega^{1,05}$). Процес масообміну в першому періоді сушіння залежить від зовнішніх гідродинамічних умов. Суттєвий вплив має температура теплоносія, яка через технологічні умови може мінятися у незначному діапазоні (максимальне значення температури дорівнює 60 °С). Результати дослідження впливу температури теплоносія на кінетику сушіння графічно показані на рис. 3–4.

Збільшення температури від 40 до 60 °С призводить до зростання швидкості сушіння, в 2,7 раза, N змінюється з $4 \cdot 10^{-2}$ до $9,57 \cdot 10^{-2} \%$ /с (в 2,4 раза). Вказане зростання швидкості сушіння можна пояснити, враховуючи залежність, що описує інтенсивність сушіння в періоді постійної швидкості (1) (формула Дальтона).

$$\gamma_{\Pi} = \alpha_p (P_{\Pi} - P_c), \quad (1)$$

а також – формула Ньютона, яка описує інтенсивність конвективного теплообміну в першому періоді сушіння (1):

$$q_{\Pi} = \alpha_q (t_c - t_{\Pi}), \quad (2)$$

де γ_{Π} – інтенсивність сушіння, кг/(м²·с); α_p – коефіцієнт вологообміну, віднесений до різниці парціальних тисків, с/м; P_{Π} – парціальний тиск водяної пари над поверхнею матеріалу, Па; P_c – парціальний тиск в

* Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

середовищі теплоносія, Па; $q_{п}$ – інтенсивність конвективного теплообміну, Вт/м²; α_q – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·°C); t_c – температура теплоносія, °C; $t_{п}$ – температура поверхні матеріалу, °C.

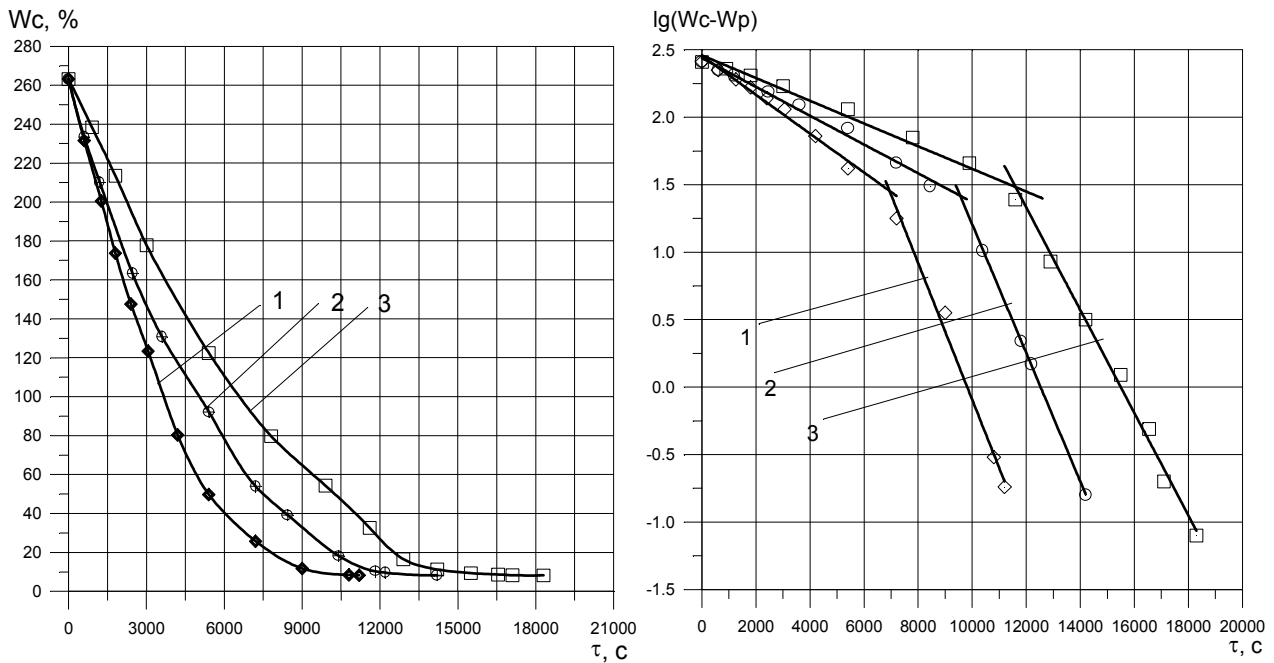


Рис. 1–2. Зміна вологості висушуваного матеріалу під час конвективного сушіння залежно від швидкості теплоносія: 1 – 4,2 м/с; 2 – 3,6 м/с; 3 – 2,4 м/с. Температура теплоносія 40 °C, висота шару матеріалу 2,5 мм

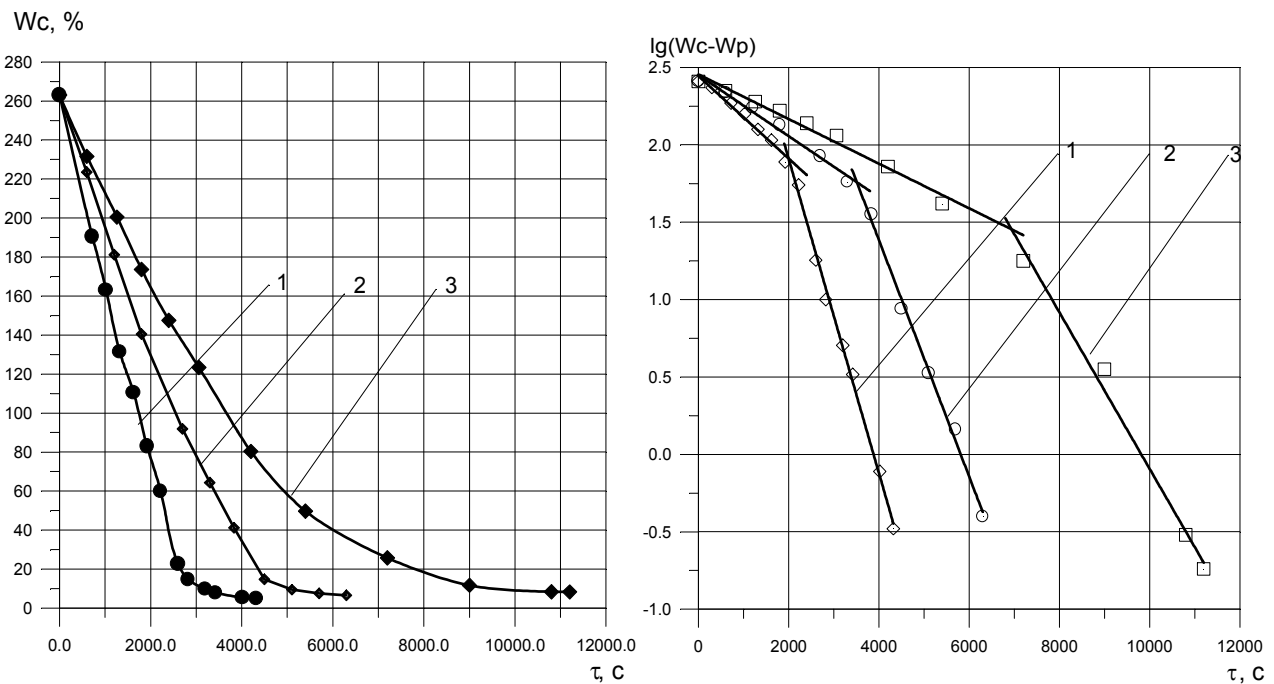


Рис. 3–4. Зміна вологості висушуваного матеріалу під час конвективного сушіння залежно від температури теплоносія: 1 – 60 °C; 2 – 50 °C; 3 – 40 °C. Швидкість теплоносія 4,2 м/с, висота шару матеріалу 2,5 мм

Із рівнянь (1) і (2) випливає, що підвищення температури веде не тільки до зростання рушійної сили теплообміну ($t_c - t_{п}$), але і до збільшення коефіцієнта вологообміну за рахунок зростання коефіцієнта молекулярної дифузії D_p парів води в пограничному шарі над матеріалом. Результати

дослідження впливу товщини шару матеріалу на кінетику сушіння графічно зображені на рис. 5, рис. 6, із яких видно, що збільшення товщини шару досліджуваного матеріалу з $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $7 \cdot 10^{-3}$ м (в 2,8 раза) приводить до зменшення швидкості зневоднення в першому періоді з $9,57 \cdot 10^{-2}$ до $1,34 \cdot 10^{-2}$ %/с (зменшується в 7,2 раза), тобто швидкість сушіння обернено пропорційна товщині шару матеріалу.

Значний вплив висоти шару матеріалу на швидкість сушіння пояснюється зменшенням інтенсивності вологопровідності до поверхні випаровування, а також зміною структури поверхні матеріалу, що контактує з теплоносієм. Дослідження показують, що спостерігається зміна структури матеріалу упродовж процесу. Під час сушіння матеріалу завтовшки $2,5 \cdot 10^{-3}$ м при швидкості теплоносія 4,2 м/с відбуваються такі зміни у структурі шару в цілому і поверхневого шару зокрема. При температурі теплоносія $t = 60$ °С вже на перших хвилинах утворюються наскрізні тріщини, матеріал проявляє усадковість. Через 20–25 хв від початку сушіння матеріал покривається сіткою наскрізних тріщин, а при досягнанні середньої вологості менше 50 % поверхневий шар деформується, стає хвилеподібним, порушується цілісність і рівномірність поверхні, зменшуються коефіцієнти тепломасообміну і, як наслідок, зростає тривалість сушіння, особливо при збільшенні висоти шару матеріалу. Описане явище відбувається при різних температурах і посилюється із збільшенням температури. Однак для сушіння біологічно активних матеріалів основними показниками є не кінетичні і енергетичні, а, власне, технологічні показники. Для досліджуваного матеріалу таким технологічним показником є мінімум “мертвих клітин” у висушеному матеріалі. Під час дослідження встановлено, що зростання висоти шару і зменшення температури обумовлюють зростання тривалості сушіння і, як наслідок, збільшення відсотка мертвих клітин. Найдоцільнішим температурним режимом є температурний режим в діапазоні 40...50 °С.

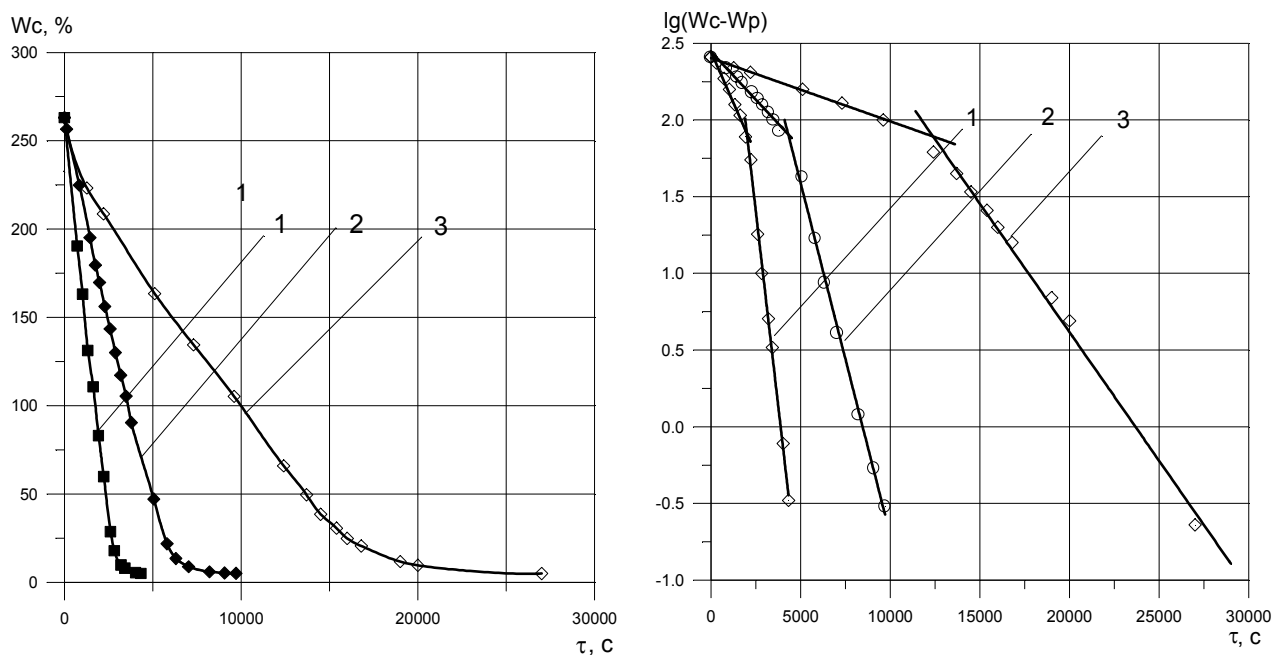


Рис. 5–6. Зміна вологості висушуваного матеріалу під час конвективного сушіння залежно від висоти шару матеріалу: 1 – 2,5 мм; 2 – 4 мм; 3 – 7 мм. Швидкість теплоносія 4,2 м/с, температура теплоносія 60 °С

На основі отриманих результатів проведено узагальнення результатів з кінетики процесу сушіння. Швидкість сушіння в першому періоді описується рівнянням:

$$N = 2.6 \cdot 10^{-9} \cdot t^{1.8} \cdot \ell^{-1.4}, \quad (3)$$

де N – швидкість у першому періоді, %/°С; t – температура теплоносія, °С; ℓ – товщина шару, м.

Зіставлення розрахункових і експериментальних значень швидкості сушіння у першому періоді N показано на рис. 7. Залежність $\tau_{кр}$ від швидкості сушіння N наведена на рис. 8 і описується рівнянням:

$$\tau_{кр} = 16000 - 1,74 \cdot 10^5 N. \quad (4)$$

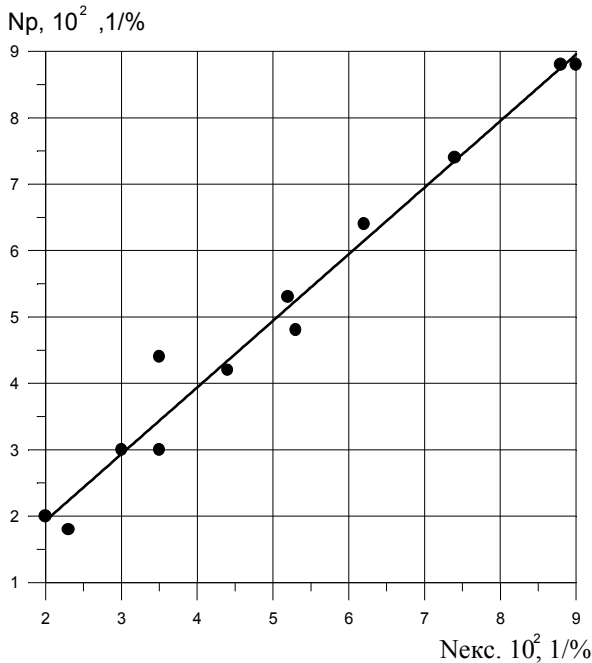


Рис. 7. Зіставлення розрахункових і експериментальних значень швидкості сушіння у першому періоді

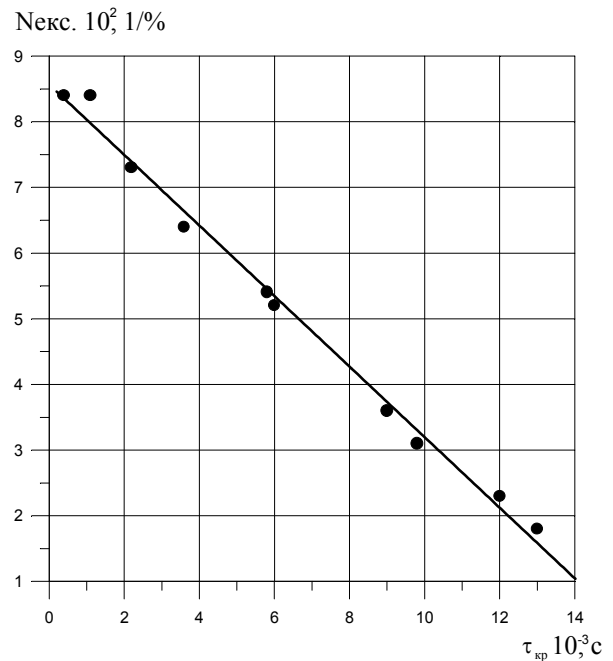


Рис. 8. Залежність $\tau_{кр}$ від швидкості сушіння N

Залежності (2), (3), і (4) дають можливість спрогнозувати кінетику сушіння і розрахувати загальний час процесу в залежності від параметрів теплоносія і геометрії шару матеріалу.

УДК 621.928.9

В.П. Куц, О.М. Марціяш

Державний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ В ЦИКЛОНІ З СТУПЕНЕВИМ ВІДВЕДЕННЯМ ПИЛУ

© Куц В.П., Марціяш О.М., 2004

Наводяться результати експериментальних досліджень створеного авторами нового пиловловлюючого апарата.

The authors who created the new dust catcher device represented the results of experimental researches.

Постановка проблеми. Із збільшенням обсягів виробничої діяльності людства загострюється проблема негативного впливу відходів цієї діяльності на навколишній світ. Це спонукає до розроблення безвідходних виробничих технологій, нових методів і апаратів очищення технологічних і побутових викидів, вдосконалення існуючого очисного обладнання.