

МАРЧЕВСЬКИЙ В. М., к.т.н., проф.; ГРОБОВЕНКО Я. В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

СУШІННЯ НАПОВНЮВАЧА ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА

Наведено фізичну та математичну моделі, що описують основні процеси, які відбуваються під час сушіння пасти двооксиду титану в сушарці з фонтануючим шаром інертних тіл. Запропоновано конструкцію установки для дослідження процесу та перевірки адекватності моделі. Працездатність установки перевірено експериментально. Отримано залежність напруження установки за випареною вологою від перепаду температури в шарі.

Ключові слова: сушіння, двооксид титану, фонтануючий шар, моделювання.

© Марчевський В. М., Гробовенко Я. В., 2013.

Постановка проблеми. Технологічна схема виробництва порошку TiO_2 передбачає отримання дрібнодисперсної суспензії з вологістю 45...46 %. Отримана після фільтрування суспензії паста потребує висушування до залишкової вологості 0,3 %. Сушіння пасти є найбільш енергоємним і тривалим у технології отримання порошку. Тому актуальним є дослідження кінетики сушіння пасти, створення обґрунтованої методики розрахунку цього процесу та розроблення ефективного сушильного обладнання.

Метою статті є встановлення кінетичних закономірностей та основних параметрів сушіння пасти в фонтануючому шарі, необхідних для проектування промислової сушильної установки.

Виклад основного матеріалу. Відома математична модель сушіння дрібнодисперсних матеріалів в фонтануючому шарі [1, 2], що має такий недолік: автор вважає, що в першому періоді сушіння обмежним процесом є масообмін. Насправді під час сушіння тонкої плівки пасти на поверхні інертних тіл швидкість сушіння обмежується швидкістю підведення теплоти. У період нагрівання плівки пасти підведена теплота йде на нагрівання матеріалу від початкової температури до температури мокрого термометра та на випаровування вологи. У першому періоді сушіння вся підведена теплота витрачається на випаровування вільної вологи за сталої швидкості сушіння. У другому періоді видаляється внутрішня та адсорбційна волога до заданої сухості. Швидкість випаровування вологи і нагрівання пасти у цьому процесі можна описати системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dU}{d\tau} = \frac{\alpha F (t_b - t_{m,t})}{r M_{п} s} - K (u_{1к} - u) \\ \frac{dt}{d\tau} = \frac{\alpha F (t_b - t)}{M_{п} c} - \frac{du}{d\tau} \frac{r}{c} \end{cases},$$

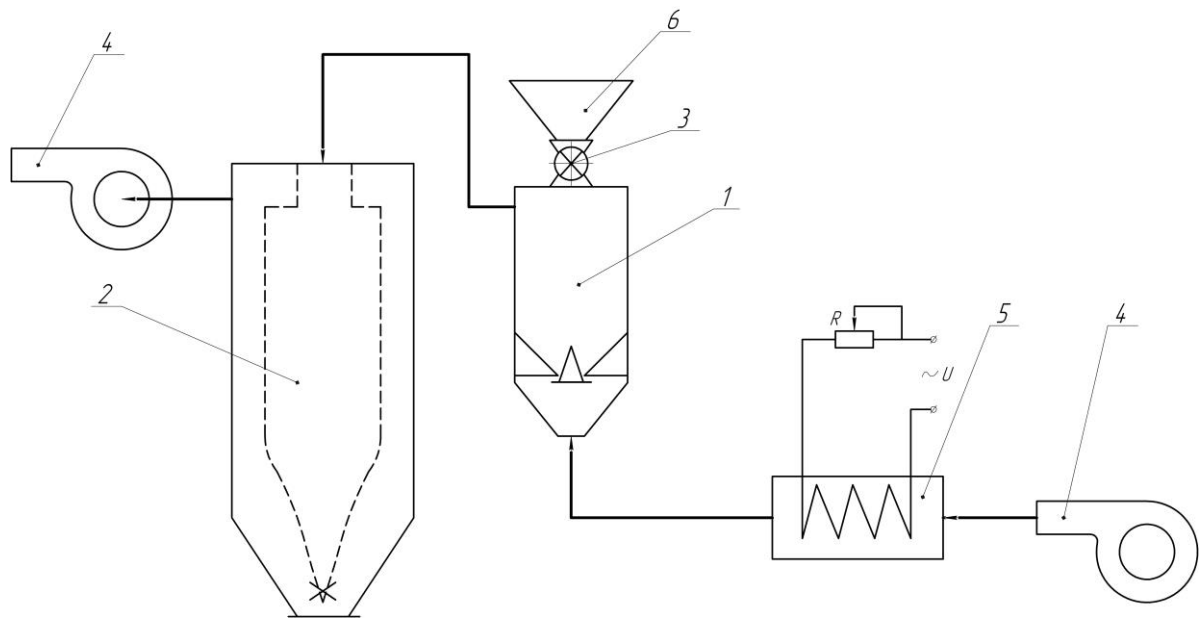
де $dU/d\tau$ – швидкість випаровування вологи, c^{-1} ; F – площа поверхні інертних тіл, на яких відбувається сушіння, m^2 ; α – коефіцієнт тепловіддачі, $Вт/(m^2 \cdot K)$; $K = f(t)$ – коефіцієнт швидкості сушіння в другому періоді, c^{-1} ; r – питома масова теплота пароутворення, $Дж/кг$; c – питома масова теплоємність, $Дж/(кг \cdot K)$; t_b – температура сушильного агента на вході, K ; $t_{m,t}$ – температура, за якої відбувається сушіння вологого матеріалу, K ; t – початкова температура пасти, K ; $u_{1к}$ – кінцевий вологовміст першого періоду сушіння, $кг/кг$; u – вологовміст пасти в другому періоді сушіння, $кг/кг$; s – сухість пасти.

$$\text{Початкові умови: } \begin{cases} u|_{\tau=0} = u_0 \\ \tau_0 = 0 \\ t_0 = t_1 \end{cases}, \text{ де } t_1 \text{ – початкова температура пасти, } K; u_0 \text{ – початковий вологовміст пасти,}$$

$кг/кг$; τ_0 – початковий час сушіння, $с$.

Для перевірки адекватності моделі розроблено дослідну установку (рис. 1), що дозволяє визначити кінетичні й теплові параметри процесу та питомі показники сушарки.

Пасту завантажують у бункер 6, звідки вона крізь живильник-дозатор 3 надходить у сушарку 1, де висушується на поверхні інертних тіл і з потоком теплоносія прямує в рукавний фільтр 2. У фільтрі висушений двооксид титану відокремлюють від теплоносія. Теплоносій відводять, а порошок збирають у нижній частині фільтра.



1 – сушарка; 2 – рукавний фільтр; 3 – живильник-дозатор; 4 – вентилятор; 5 – калорифер; 6 – бункер

Рис. 1 – Схема сушильної установки

Під час досліджень визначено всі параметри, необхідні для розрахунку статички й кінетики сушіння: гідравлічний опір решітки, витрата сушильного агенту, температури на вході й виході, маса шару інертних тіл, продуктивність живильника, кінцева вологість теплоносія і вологовміст висушеного матеріалу, швидкість сушильного агенту в перерізі сушильної камери.

Установлено, що сушіння пасти складається з періоду її нагрівання до температури мокрого термометра, періоду сталої швидкості сушіння, що відбувається за вологовмісту 0,7...0,3 кг/кг, і періоду спадаючої швидкості (0,30...0,06 кг/кг). Обмежною стадією сушіння є період спадаючої швидкості, під час якого видаляється адсорбована волога (рис. 2, а).

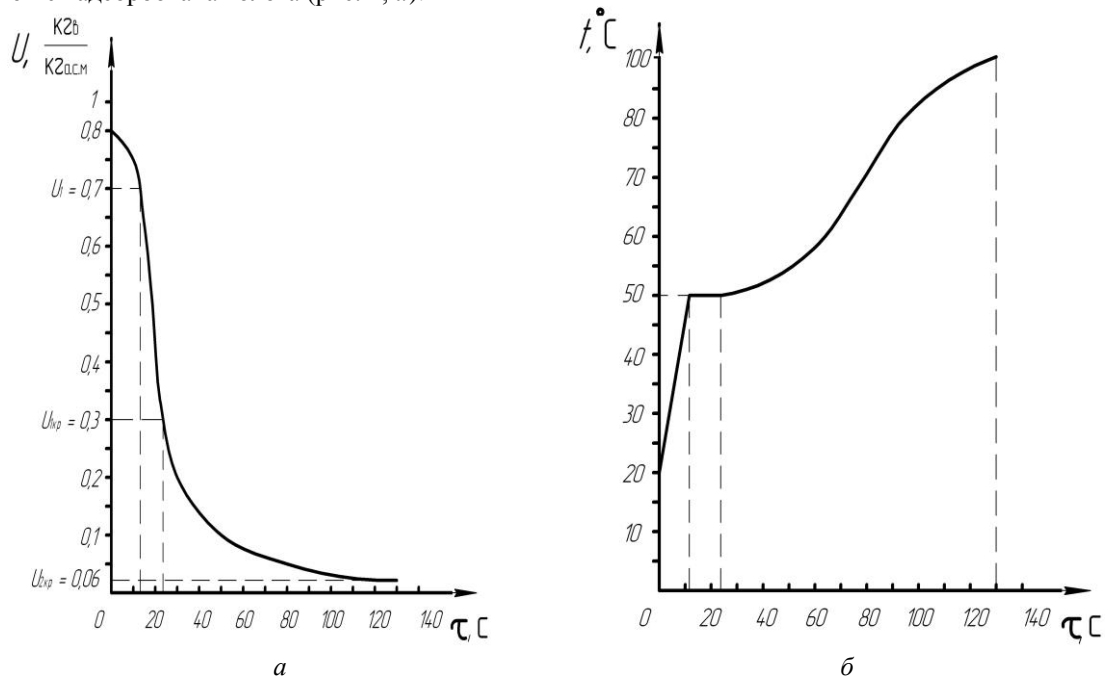


Рис. 2 – Залежність вологовмісту (а) і температури (б) матеріалу від тривалості сушіння

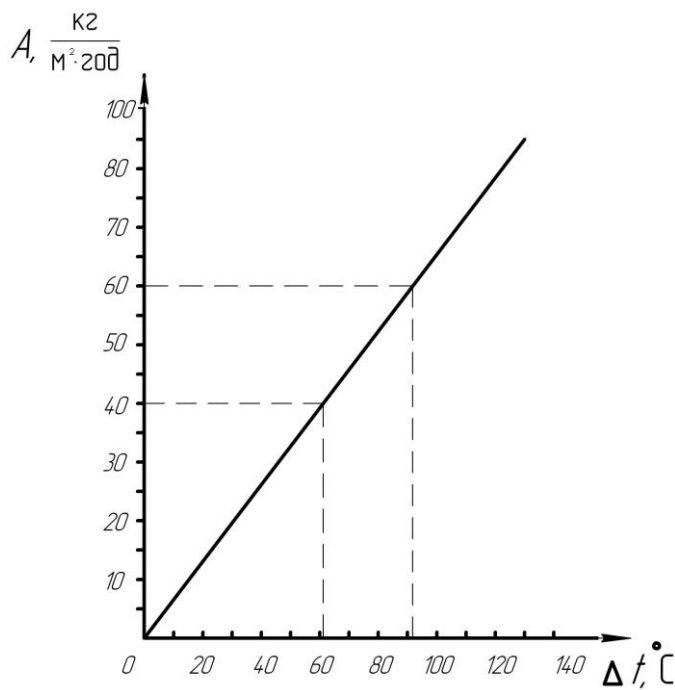


Рис. 3 – Залежність напруження за випареною вологою від перепаду температури в шарі

Надійшла до редакції 10.03.2013.

Температурний режим під час першого періоду сушіння є стабільним (рис. 2, б). Після його закінчення температура шару різко зростає до рівноважної з температурою теплоносія. Залежність напруження шару за видаленою вологою від перепаду температур теплоносія свідчить, що швидкість підведення теплоти у фонтануючий шар обмежує продуктивність сушарки (рис. 3).

Висновки. Доведено, що видалення адсорбційної вологи під час сушіння пасти TiO_2 у фонтануючому шарі обмежує продуктивність сушарки. Для інтенсифікації сушіння і збільшення кінцевої сухості продукту необхідно збільшувати температуру сушіння. Продуктивність сушарки за видаленою вологою лінійно залежить від теплового потоку, що надходить у фонтануючий шар.

Список використаної літератури

1. *Иванов И. Г.* Сушка мелкодисперсных материалов в кипящем слое / И. Г. Иванов. – М. : Энергия, 2012. – 126 с.
2. *Лыков А. В.* Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.