

СУШІННЯ МІКРОСФЕРИ В ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

© Ханик Я.М., Кузьма В.М., Яців А.С., 2005

Подано експериментальні залежності сушіння мікросфери у щільному шарі за різних висот матеріалу. Також наведено розрахункові і теоретичні результати визначення швидкості та часу сушіння мікросфери.

Represented drying of microsphere experimental to dependence in a dense layer at different heights of material. The results of determination of speed and time of drying of microsphe calculation and theoretical are also resulted.

Постановка проблеми. На теплових електростанціях, що спалюють кам'яне вугілля, як відходи утворюються матеріали, які можуть бути використані як основні сировинні компоненти при виготовленні будівельних теплоізоляційних матеріалів. До них належать алюмосилікатні пустотілі мікросфери, які містяться в золі – виносі і накопичуються на гідрозолозвалищах у великій кількості. Їх можна використовувати як наповнювачі до будівельної цегли. Такі будівельні матеріали мають досить високі теплоізоляційні властивості. Крім цього, використання зольних відходів покращує екологічну обстановку поблизу золозвалищ, оскільки мікросфери, які накопичуються на їх поверхні, легко розносяться вітром на великі відстані. Використання зольних мікросфер як наповнювачів в будівельних матеріалах можливе лише за умов їх низької вологості, тобто такі матеріали потрібно сушити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні існуючі методи сушіння є надзвичайно енергоємними. Для сушіння дрібнодисперсних матеріалів сьогодні в промисловості використовують різні конструкції сушарок (барабанні, конвективні, сушарки киплячого шару). Як відомо [1], під час сушіння дисперсних матеріалів у киплячому шарі або барабанній сушарці відбувається стирання матеріалу і винесення дрібнодисперсної фази із сушарки, нерівномірність сушіння, значні затрати теплової енергії, необхідність встановлення пилоочисної апаратури та ін. Тому створення нових високоефективних методів сушіння є надзвичайно актуальним завданням.

Постановка завдання. У зв'язку з вказаними недоліками процесу сушіння в киплячому шарі та барабанних сушарках останнім часом приділяється значна увага сушінню в щільному шарі, коли теплоносій проходить через щільний шар матеріалу в напрямку перфорованої перегородки, на якій розміщений. При цьому забезпечується більш рівномірне омивання теплоносієм окремих частин шару по всій його площині. Поверхня контакту фаз дещо зменшується, відносна швидкість руху газового потоку зростає, дисперсна фаза сипучого матеріалу не виноситься із зони сушіння і здійснюється механічне витіснення і винесення вологи.

При дослідженні кінетики сушіння в щільному шарі одним з основних питань є вивчення гідродинаміки процесу, результати дослідження якої в основному визначають кінетичні і енергетичні характеристики сушіння.

У лабораторних умовах проведено дослідження гідродинаміки сухого та вологого шару матеріалу, кінетики сушіння мікросфери за різних висот шару матеріалу та різних температур.

На рис. 1 наведено результати досліджень сушіння мікросфери в щільному шарі за різних висот шару матеріалу 0,1–0,4 м, температурі 120 °С, середніх перепадах тиску $\Delta P_{\text{ср}} = 73000$ Па. Аналізуючи кінетичні криві, які подано на рис.1, можна зробити висновок, що сушіння мікросфери в щільному шарі є досить ефективним і його ефективність полягає в тому, що за короткий час механічне витіснення вологи без затрат тепла приводить до зниження вологості з 51 % до 12–18 %, залежно від температури теплоносія зменшення вологості до $W \approx 2-3$ % відбувається власне за рахунок тепломасообміну.

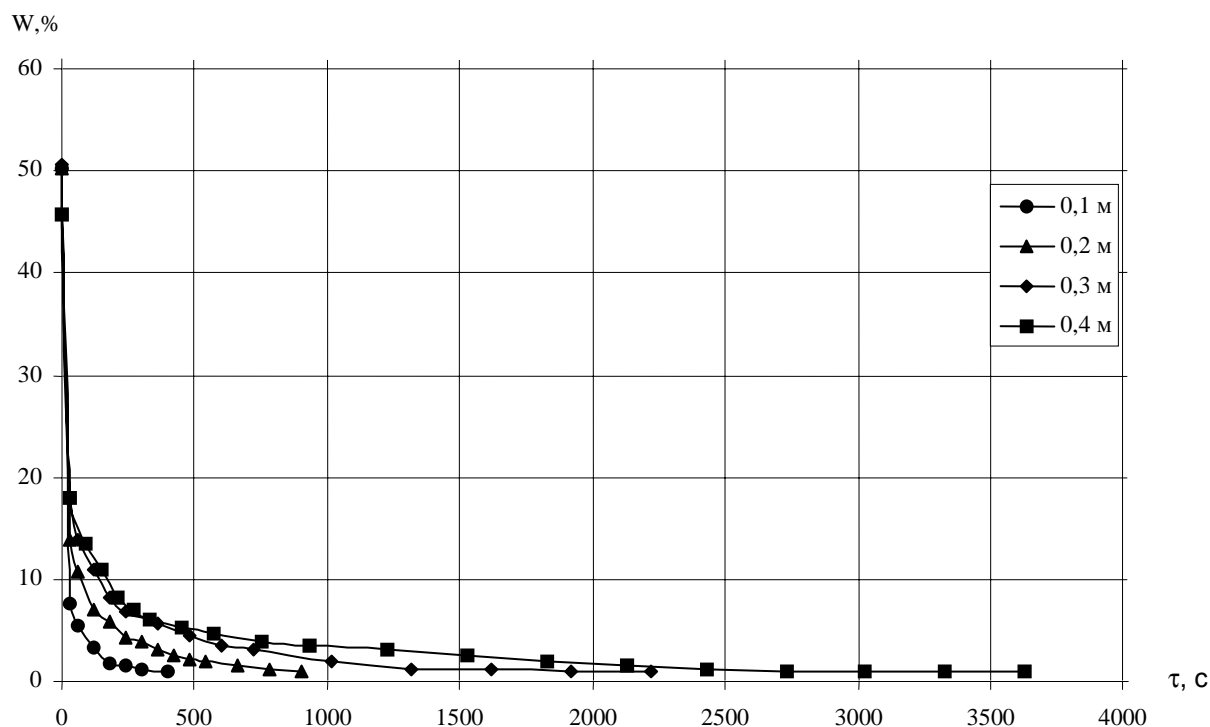


Рис. 1. Зміна вологості мікросфери під час сушіння за різних висот шару матеріалу, за $\Delta P_{\text{сеп}} = 73000 \text{ Па}$, $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$

Кінетичні криві сушіння характеризуються періодом механічного витіснення як першим, так і другим умовними періодами, які досить сильно відрізняються тривалістю. Має місце чітко виражений період механічного витіснення та винесення, який відбувається без затрат теплової енергії. У цей період з матеріалу виноситься поверхнева волога та волога, яка міститься в проміжках між частинками, які продуваються теплоносієм.

Зростання товщини шару з 0,1 до 0,4 м приводить до зменшення швидкості сушіння з 0,08 %/с до 0,053 %/с. Тобто товщина шару зростає в 4 рази, а швидкість сушіння в першому періоді зменшилась у 1,5 рази, тобто у вказаному інтервалі зміни вологості збільшення товщини шару обернено пропорційне до зміни швидкості сушіння у першому умовному періоді. Із збільшенням висоти шару, тривалість першого і другого умовного періоду зростає, що впливає на загальний час сушіння.

Як видно з наведених досліджень, збільшення товщини шару впливає на швидкість сушіння значно меншою мірою, ніж під час сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів. Це можна пояснити тим, що в першому періоді випаровування відбувається з вільної поверхні частин, які не мають внутрішньої структури і не мають внутрішньої вологи. Наявність значного в часі другого періоду при зростанні товщини шару пояснюється випаровуванням вологи із зон, що знаходяться між частинами, через які теплоносій не проходить. Таке явище зумовлене ще й тим, що на частинах мікросфери є зола, яка значною мірою сприяє утворенню застійних зон між частинками мікросфери.

Залежність тривалості процесу від зміни товщини шару матеріалу показано на рис. 4, з якого випливає, що зростання товщини шару матеріалу значною мірою впливає на тривалість сушіння.

Для прогнозування процесу сушіння мікросфери використовується рівняння кінетики в першому і другому періодах.

Кінетика сушіння в першому періоді описується відомим рівнянням [2]:

$$W = W_0 - N \cdot \tau, \quad (1)$$

де W – поточна вологість, %; W_0 – приведена початкова вологість матеріалу, %; N – швидкість сушіння в першому періоді, %/с; τ – поточний час сушіння, с.

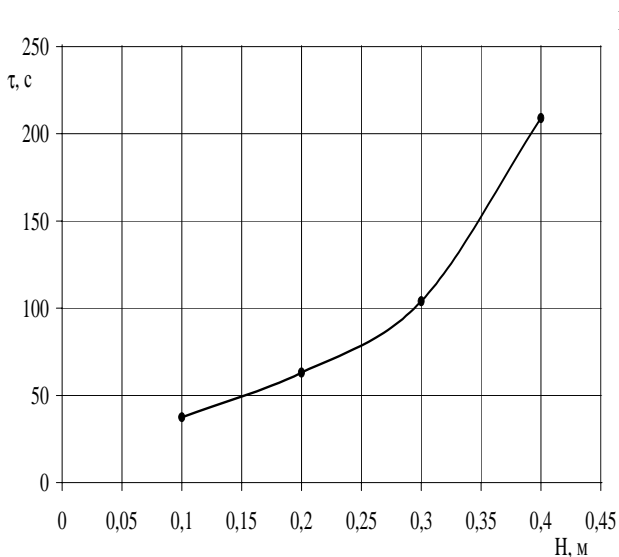


Рис. 2. Залежність $\tau_{кр}$ від товщини шару мікросфери за $\Delta P_{сер} = 73000$ Па, $t = 120$ °С

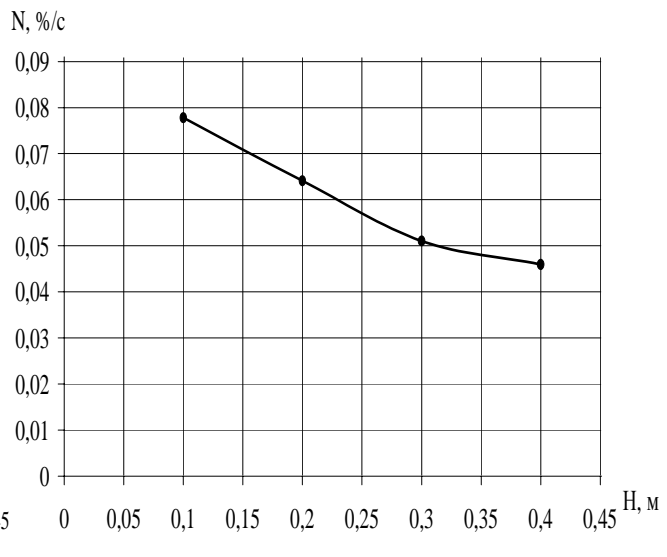


Рис. 3. Залежність швидкості сушіння в першому періоді від товщини шару мікросфери за $\Delta P_{сер} = 73000$ Па, $t = 120$ °С

Приведена залежність (1) описує кінетику сушіння в першому періоді до $\tau \leq \tau_{кр}$. Величина $\tau_{кр}$ залежить від товщини шару матеріалу і відповідно від швидкості сушіння. Величина $\tau_{кр}$ визначається графічно і для досліджуваного матеріалу залежність $\tau_{кр}$ від товщини матеріалу показано на рис. 2 ($\tau_{кр}$ – час, що відповідає $W_{кр}$; $W_{кр}$ – критична вологість, що розділяє перший та другий умовні періоди).

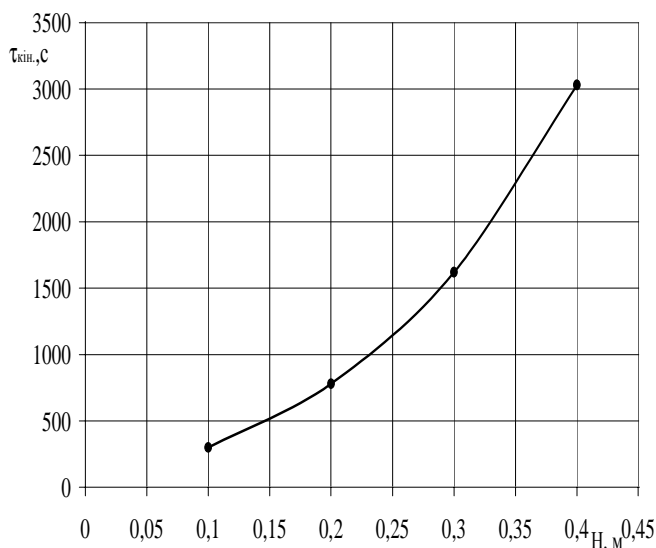


Рис. 4. Залежність тривалості сушіння до рівноважної вологості від зростання товщини шару мікросфери за $\Delta P_{сер} = 73000$ Па, $t = 120$ °С

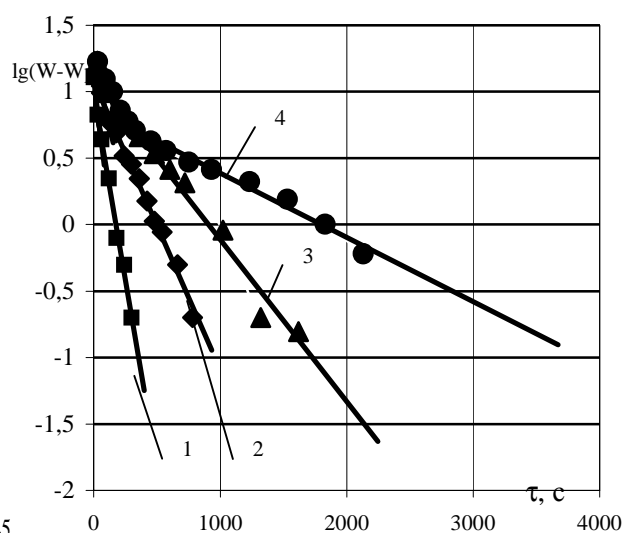


Рис. 5. Визначення критичної вологості матеріалу графічним методом за $\Delta P_{сер} = 73000$ Па, $t = 120$ °С

Кінетика сушіння в другому періоді описується рівнянням:

$$\frac{W - W_p}{W_k - W_p} = e^{-k(\tau - \tau_{кр})}, \quad (2)$$

де $W_{кр}$ – критична вологість матеріалу, яка визначається графічним методом побудови вихідних даних у координатах $\lg(W - W_p) - \tau$ (рис. 5); W_p – рівноважна вологість, %..

Для досліджуваного матеріалу $W_{кр}$ приблизно становить 8,2 %

$$K = \chi \cdot N, \quad (3)$$

де χ – відносний коефіцієнт сушіння, 1/%; K – коефіцієнт сушіння, 1/с.

Для визначення відносного коефіцієнта сушіння будемо графічну залежність у координатах $K - N$ (рис. 6). Тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис буде дорівнювати χ .

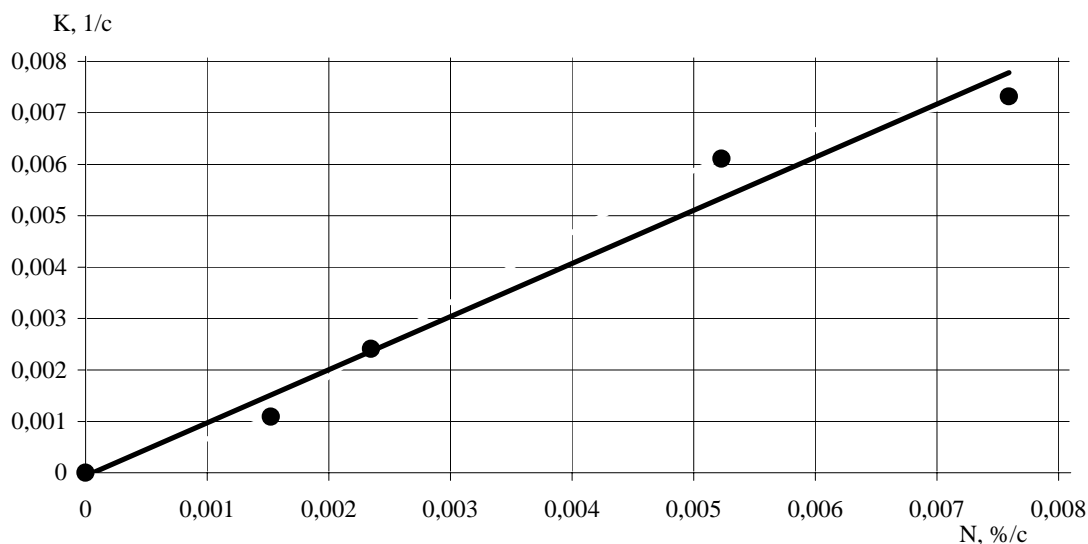


Рис. 6. Залежність коефіцієнта сушіння K від швидкості сушіння N в другому періоді

Для досліджуваного матеріалу $\chi = 0,9644$.

Тоді рівняння (2) можна подати у вигляді:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-0,9644(\tau - \tau_{кр}) \cdot N}. \quad (4)$$

Кінцевий час сушіння складається з часу сушіння в першому періоді $\tau = \tau_{кр}$ і з часу в другому періоді $\tau < \tau_p$ до зміни вологості з $W_{кр}$ до W_p .

На основі експериментальних даних за $t = 120$ °С і $\Delta P_{сер} = 73000$ Па отримано графічну залежність (рис. 4) кінцевого часу τ_k сушіння від товщини шару матеріалу ($H = 0,1$ м – 0,4 м).

Для вказаних умов отримано залежність τ_k від H , яка має вигляд:

$$\tau_k = 15971 \cdot H^{1,816}.$$

Висновок. Дослідження показують, що сушіння частин мікросфери у щільному шарі значно інтенсифікує процес зневоднення порівняно з існуючими методами сушіння дисперсних матеріалів. Такий процес дає змогу зменшити енергетичні затрати, запобігає винесенню дрібної фракції із зони сушіння.

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с. 2. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.