

## СУШІННЯ ГЛИНИ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ КОНВЕКТИВНИМ ТА РАДІАЦІЙНИМ МЕТОДАМИ

© Ханик Я.М., Римар Т.І., Креховецький О.М., 2006

**Наведено та проаналізовано кінетичні залежності зміни вологості дрібнокускової глини залежно від методу сушіння. Показано дисперсний склад досліджуваного матеріалу. Подано порівняльну характеристику процесу сушіння у щільному шарі, конвективного та радіаційного сушіння.**

**In the article it is resulted and analysed kinetic dependences of change of dryness of clay depending on the method of drying. Dispersion composition of the explored material is represented. Comparative description is given to the process of drying in a dense layer, convective and radiation drying.**

**Постановка проблеми.** В Україні традиційно використовували природну сировину і фактично повністю забезпечували будівництво власними матеріалами. Однак легкодоступні запаси природної сировини, які найчастіше представлені речовинами стабільної кристалічної структури (глини – кристалогідрати, вапняки, кварц, вивержені інтрузивні породи – безводні кристалічні мінеральні системи), масово видобуваються сучасними високотехнологічними засобами і знаходяться перед загрозою вичерпання. Видобувати сировину стає все складніше і дорожче, оскільки проблема забезпечення сировини вирішується за рахунок збільшення витрат енергії, розробки менш багатих родовищ, ускладнення технологічних рішень під час переробки сировини [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показує, що важливим чинником енерго- та ресурсозаощадження є впровадження нових способів підготовки сировини у виробництві керамічних матеріалів. Зокрема, на етапі сушіння глини можливе утворення великої кількості відходів, що спричинено неправильним режимом зневоднення. Важливим чинником також є екологічність виробництва, оскільки значна частина твердої дрібнодисперсної фази виноситься з теплоносієм у довкілля, забруднюючи його і погіршуючи умови праці робітників.

**Постановка завдання.** Для отримання обґрунтованих наукових даних стосовно доцільності використання сучасних методів сушіння глиняних мас були проведені теоретичні та експериментальні дослідження, що дало можливість порівняти кінетичні та енергетичні показники досліджених методів сушіння.

Сушіння дрібнокускової глини проводилось комбінованим методом сушіння у щільному шарі (конвективний метод з ІЧ-нагріванням та профільтровуванням теплоносія через шар матеріалу). У цьому випадку матеріал отримує тепло не тільки від теплової енергії газів, а й тепло від ІЧ-випромінювання.

Особливістю конвективного сушіння у щільному шарі є те, що теплоносій проходить через шар матеріалу з деякою швидкістю і виносить із собою вологу. За високих температур вона із матеріалу інтенсивно видаляється за рахунок випаровування. Волога, що продифундувала з поверхні вологого матеріалу, виноситься із сушильної камери, внаслідок чого збільшується градієнт її концентрації у зовнішньодифузійній області.

З метою зіставлення одержаних експериментальних даних було проведено багато досліджень із зневоднення глини конвективним та радіаційним методами та проаналізовано їх техніко-економічну оцінку. Дослідження конвективним методом проводились під час паралельного руху теплоносія до площини вологого матеріалу. Під час досліджень сушіння радіаційним методом як

джерело теплової енергії використовували рефлектор. Довжина хвилі максимального випромінювання такої лампи становить  $\lambda=0,8\div 5,3$  мкм. Густина випромінювання в сучасних установках коливається в межах від 2,0 до 0,2 Вт/см<sup>2</sup> на відстані від лампи 0,05–0,4 м [3]. Дослідження проводились за перпендикулярного напрямку теплового потоку до площини вологого матеріалу за температури 190 °С, товщини шару матеріалу 0,04 м на відстані лампи від матеріалу 0,2 м в умовах природної конвекції.

**Обговорення результатів.** Із формули Ньютона відомо, що кількість випарованої вологи із матеріалу  $q_m$  пропорційна до поверхні випаровування  $q_m=f(F)$ . Відповідно для кускових і сипких матеріалів необхідно застосувати такий спосіб сушіння, щоб кожна частинка або шматок матеріалу омивались зі всіх боків теплоносієм. У цьому випадку за інших рівних умов ефективність сушіння буде максимальною.

Для дослідження процесу зневоднення використовували полідисперсну глину із дисперсним складом, що показано на рис. 1. Частинки матеріалу мають неправильну геометричну форму різних розмірів. Переважаюча кількість частин глини (близько 84,5 %), що утримувалась на ситі з розміром отворів 10 мм, має умовний діаметр 14,3 мм. Решта матеріалу становить приблизно 15,5 % різного умовного діаметра частин, які в той чи інший спосіб впливають на загальний час сушіння. Так, під час сушіння дрібнодисперсного матеріалу частини меншого розміру зневоднюються швидше, ніж частини більшого діаметра, при цьому збільшується гідравлічний опір шару дрібних частин. Процес сушіння проводився за температури теплоносія 150 °С; висоти шару матеріалу 0,04 м. Від початкової вологості  $W\approx 16,5$  % до критичної  $W_{кр}$ , що приблизно дорівнює 7,8 %, процес протікає в умовах постійної швидкості сушіння (перший період), а за  $W < W_{кр}$  – період падаючої швидкості сушіння (у другому періоді).

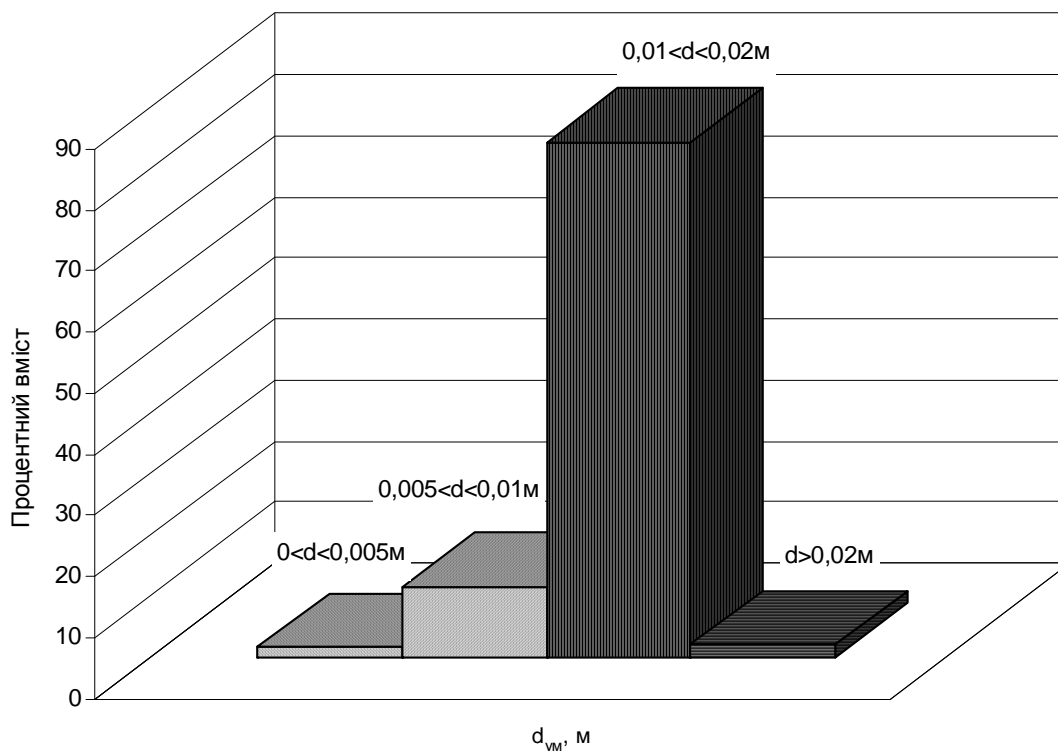


Рис. 1. Дисперсний склад досліджуваної глини

Надмірна волога в матеріалі під час випалювання може призвести до зниження фізико-механічних показників виробу. Глина, пересушена до втрати гідратної вологи, має понижену пластичність і втрачає в'язучу здатність. Тому вологість глини після сушіння повинна бути у межах 6–8 % залежно від подальшого застосування [1, 2]. Враховуючи це, сушіння необхідно припинити після закінчення першого умовного періоду.

На рис. 2 зіставлено кінетичні криві сушіння досліджуваного матеріалу у щільному шарі конвективним та радіаційним методами. Тривалість першого періоду сушіння для щільного шару становить 550 с; для конвективного сушіння – 1225 с; для радіаційного – 3500 с. Тобто за умов конвективного сушіння тривалість зневоднення у 2,23 раза є більшою порівняно із сушінням у щільному шарі. Швидкість сушіння  $N$  у першому періоді для щільного шару становить 0,016 %/с; для конвективного сушіння – 0,005 %/с; для радіаційного – 0,0016 %/с, тобто інтенсивність процесу сушіння у щільному шарі є у 3,2 раза більшою порівняно із конвективним, і у 10 разів порівняно із радіаційним сушінням глини.

Кінетичні криві (рис. 2) характеризуються наявністю першого та другого умовних періодів (криві 1 і 2). Крива 3, що відповідає радіаційному сушінню, не має видимого поділу періодів і характеризується тривалим у часі процесом зневоднення. Це можна пояснити тим, що глина відноситься до матеріалів, які практично не пропускають інфрачервоних променів, що загалом впливає на процес сушіння.

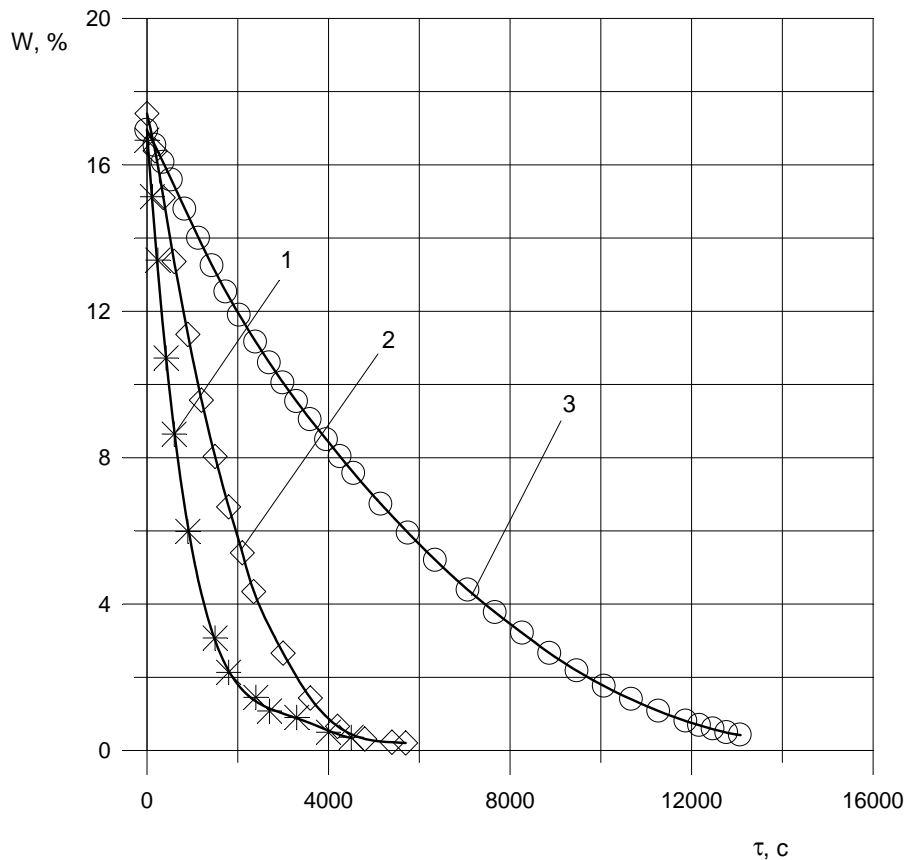


Рис. 2. Кінетичні криві сушіння глини за висоти шару матеріалу 0,04 м:  
 1 – сушіння у щільному шарі (температура теплоносія 150 °С;  
 швидкість теплоносія 0,4 м/с); 2 – конвективне сушіння  
 (температура теплоносія 150 °С; швидкість теплоносія 0,5 м/с);  
 3 – радіаційне сушіння (температура теплоносія 190 °С; природна конвекція)

Під час вибору конструкцій сушильних агрегатів необхідно враховувати економічність їх роботи за такими показниками, як питома витрата тепла на 1 кг випаруваної вологи, питома витрата електроенергії, вартість установки і витрата тепла на 1 кг висушеного матеріалу. Для розрахунку затрат теплоти на видалення 1 кг вологи із глини під час сушіння у щільному шарі за час руху теплоносія через шар матеріалу використовують рівняння [2]:

$$Q_i = \frac{c \cdot M \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau_k}{\eta \cdot G_v}, \quad (1)$$

де  $Q_t$  – питомі теплові затрати на видалення вологи із глини, кДж/кг<sub>води</sub>;  $c$  – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К);  $M$  – масова витрата повітря, кг/с;  $t_1$  – температура теплоносія на вході в шар досліджуваного матеріалу, К;  $t_2$  – температура теплоносія на виході із шару досліджуваного матеріалу, К;  $\tau_k$  – кінцевий час сушіння, с;  $\eta$  – коефіцієнт, який враховує втрати тепла у довкілля;  $G_v$  – кількість вологи, що випарувалась за час сушіння, кг.

Розрахунок затрат енергії на створення перепаду тисків для видалення 1 кг вологи під час сушіння глини проводимо за формулою (2) [2]:

$$Q_p = \frac{\Delta P \cdot V \cdot \tau_k}{\eta \cdot 1000 \cdot G_v}, \quad (2)$$

де  $Q_p$  – питомі затрати енергії на створення перепаду тисків для видалення води із глини, кДж/кг<sub>води</sub>;  $\Delta P$  – втрати тиску у шарі глини, Па;  $\eta$  – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії.

Загальні затрати на випаровування 1 кг вологи під час сушіння глини у щільному шарі визначаються так:

$$Q_\Sigma = Q_t + Q_p. \quad (3)$$

Для обґрунтування ефективності і доцільності застосування сушіння у щільному шарі порівняно з іншими методами проведено розрахунок питомих кінетичних, енергетичних і технологічних показників сушіння у щільному шарі конвективним та радіаційним методами.

Результати розрахунку затрат теплоти для отримання 1 кг сухої глини під час її сушіння у щільному шарі з врахуванням маси сухого матеріалу у кожній складовій наводяться у таблиці.

#### Порівняльні показники сушіння глини

Показники	Сушіння глини у щільному шарі	Конвективне сушіння глини
Загальний час сушіння, с	550	1225
Питомі затрати тепла, Дж/кг вологи	$9,7 \cdot 10^6$	$48,0 \cdot 10^6$
Питомі затрати тепла, Дж/кг сухої глини	$0,56 \cdot 10^6$	$2,77 \cdot 10^6$
$\frac{\tau}{\tau_0}$	1	2,23
$\frac{Q}{Q_0}$	1	5

Як зрозуміло із наведених результатів, інтенсивність процесу сушіння глини у щільному шарі перевищує інтенсивність її сушіння конвективним методом у 2,23 раза, за одночасного зменшення питомих енергетичних затрат в 5 разів.

**Висновок.** Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що застосування процесу сушіння у щільному шарі у виробництві керамічних матеріалів, а саме – на стадії одержання сухої глини, дає економію енергетичних ресурсів, і виключає винесення дрібної фази потоком теплоносія із зони сушіння.

1. Рунова Р.Ф., Шейніч Л.О., Гелевера О.Г., Гоц В.І. *Основи виробництва стінових та оздоблюваних матеріалів.* – К., 2001. 2. Касаткин А.Г. *Основные процессы и аппараты химической технологии.* – М., 1971. 3. Коваленко В.В. *Сушила з газовим інфрачервоним випромінюванням / ДВТЛ.* – К., 1962. 4. Лыков А.В. *Теория сушки.* – М., 1968.