

УДК 66.047

**ОСОБЛИВОСТІ СУШІННЯ КОЛОЇДНИХ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ****Ханик Я.М., Римар Т.І., Ковальчук О.В.****Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів**

79020, м. Львів, вул. Підголосько, 19

E-mail: [uad@poligraf.lviv.ua](mailto:uad@poligraf.lviv.ua)

В данной статье показано, что при использовании сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов в плотном слое уменьшаются удельные энергетические затраты; снижается вредное влияние на окружающую среду. Проведено сравнение технических характеристик предложенного аппарата с существующими аналогами.

**Ключевые слова:** капиллярно-пористые коллоидные материалы, удельные энергетические затраты, технические характеристики.

In the given paper is shown, that the use of drying of capillary-porous colloidal materials in a dense layer is possible diminishment of specific power expenses; diminishment of harmful environmental impact. Comparison of technical descriptions of the offered vehicle with existent analogues is conducted.

**Keywords:** capillary-porous colloidal materials, specific power expenses, technical descriptions.

**Вступ.** На сучасному етапі загального розвитку промисловості все більшого значення набуває техніко-економічна політика заощадження ресурсів, яка вимагає використання нових наукових ідей та інтенсифікації технології у виробництві. За розрахунками [1], дотримуючись чіткого режиму економії сировини, матеріалів, палива та енергії з одночасною інтенсифікацією технологій, можна отримати 75...85 % приросту матеріально-технічних ресурсів.

Промислове сушіння – це процес, який є основною стадією більшості хімічних виробництв та відчутно впливає на його економіку. Так, його здійснення, зокрема у керамічній промисловості, потребує значних енергетичних затрат, які становлять 10 – 20 % від собівартості готових виробів [2].

Великою проблемою на етапі сушіння керамічної сировини (кускова глина, пісок) є запилення повітря дрібним пилом, що утворюється. Так, використовуючи сушіння глиняного порошку у розпилюючих сушарках, відбувається пиловисесення 3,5 – 4 % [2]. Усе це погіршує умови праці та збільшує антропогенний вплив на довкілля. Загальне забруднення атмосфери промисловістю будівельних матеріалів становить 13,3 % [3].

**Мета роботи** – вивчення процесу сушіння, який вимагає менших витрат енергії на його здійснення; зменшення кількості пилоподібної фракції на етапі зневоднення матеріалу. Нами запропонований такий метод сушіння кускової глини у щільному шарі, який забезпечує високу відносну швидкість обтікання частин, що обумовлює високі значення коефіцієнтів тепло- та масообміну. Разом із цим досягається рівномірне сушіння частин матеріалу по перерізу апарата. Винесення твердої фази газовим потоком за використання такого методу сушіння практично виключене. Особливістю такого процесу є те, що теплоносій має значно нижчу

температуру (150 – 175°C), ніж в існуючих сушильних агрегатах, що приводить до значно менших втрат теплової енергії у довкілля. Варто зауважити також, що поверхня запропонованої нами сушарки є у 10 разів меншою, ніж розпилюючої сушарки.

**Матеріал та результати досліджень.** Сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів ускладнюється тим, що під час зневоднення у матеріалі спостерігаються усадкові напруження, які приводять до утворення тріщин. Під час сушіння в системі відбуваються структурні зміни в результаті видалення вологи: система перетворюється із пластичного у пружнокрихе тіло з осередковим розподілом води та із безперервною твердою фазою.

Сушіння у щільному шарі полягає у тому, що теплоносій проходить через шар вологого матеріалу у напрямку до перфорованого дна. За такого механізму досягається висока швидкість обтікання частинок матеріалу теплоносієм та винесення частини вологи із шару рухомим його потоком. Як об'єкт досліджень використовувалась кускова глина Ковирівського родовища (Львівська обл.). У ній переважає глинистий мінерал монтморилоніт. За хімічним складом глина містить: 50 – 70 % SiO<sub>2</sub>; 12 – 20 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,1 – 10 % FeO; 0,1 – 5 % оксидів лужних та лужноземельних металів.

В результаті досліджень отримані гідродинамічні та кінетичні залежності сушіння глини залежно від різних технологічних параметрів. Дослідження гідродинаміки сухого шару кускової глини вказує на те, що на величину гідравлічного опору мають вплив як в'язкісні, так і інерційні сили. Із зміною висоти шару матеріалу вплив цих сил змінюється. Для узагальнення результатів виведено залежність, яка описує значення гідравлічного опору залежно від параметрів ведення процесу:

$$\Delta P = 348,736 \cdot w_0 \cdot H^{0,17} + 137,46 \cdot w_0^2 \cdot H^{0,066} \quad (1)$$

Зіставлення експериментальних даних з гідродинаміки сухого шару кускової глини із даними, розрахованими за залежністю (1), зображено на рис. 1. Результати добре узгоджуються з прямою лінією, а похибка не перевищує 8 %.

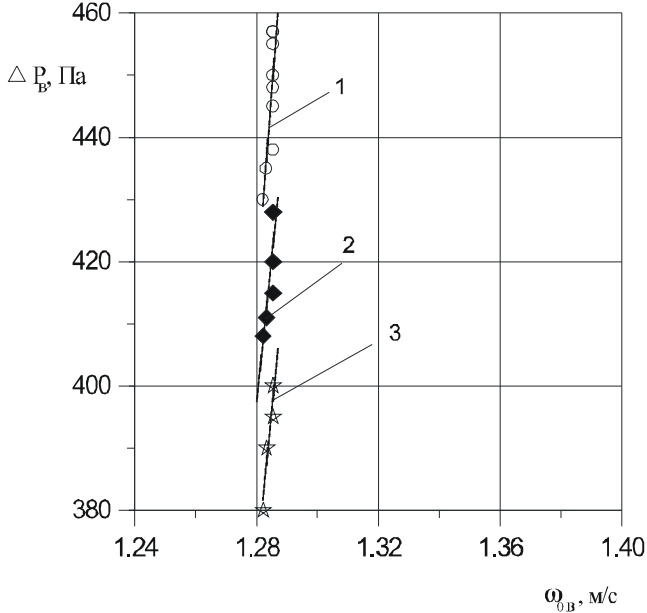


Рис. 2 Залежність гідравлічного опору вологої кускової глини від фіктивної швидкості руху теплоносія: 1  $H=0,06$  м; 2  $H=0,04$  м; 3  $H=0,02$  м

Гідродинаміка сухого шару кускової глини показує, що гідравлічний опір є не значним. Так, для висоти шару кускової глини 0,02; 0,04; 0,06 м за швидкості теплоносія 1,2 м/с величина гідравлічного опору зростає від 375; 400; 425 Па. Тобто зростання висоти шару матеріалу в 3 рази приводить до зростання гідравлічного опору в 1,16 раза. Усе це свідчить про низькі питомі витрати енергії на створення перепаду тисків.

Вивчення гідродинаміки вологого шару кускової глини (рис. 2) вказує на те, що під час сушіння гідравлічний опір шару дещо збільшується за незначного збільшення швидкості руху теплоносія. Це зумовлено усадковими явищами матеріалу, що виникають із зменшенням кількості вологи. Для глинистих систем значення критичної вологості відповідає закінченню усадкових деформацій у матеріалі: частинки твердої фази переходять у безпосередній контакт (тверда фаза стає безперервною), і подальше випаровування води відбувається тільки із поверхні капілярів.

Вивчення кінетики сушіння кускової глини [4] вказує на те, що із зменшенням висоти шару матеріалу, збільшенням температури та швидкості руху теплоносія тривалість сушіння зменшується. Кінетичні криві мають добре виражені перший та дру-

гий періоди. Визначено час сушіння кускової глини у першому періоді, який можна розрахувати за формулою.

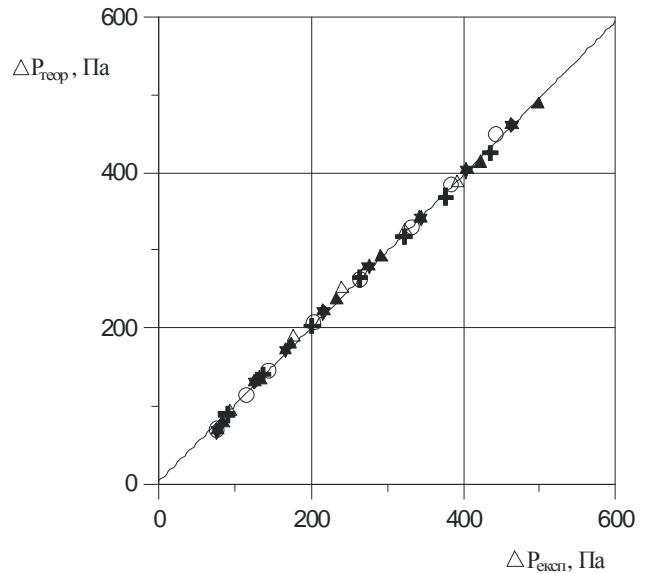


Рис. 1 Кореляційна залежність між значеннями гідравлічного опору шару сухої кускової полідисперсної глини, розрахованими теоретично за формулою (1) та експериментальними значеннями

$$t_I = -1,03 \sqrt{\frac{N}{8,634}} \quad (2)$$

де  $N$  – швидкість сушіння у першому періоді, %/с.

Тривалість другого періоду сушіння можна визначити, використавши рівняння.

$$t_{II} = \frac{1}{-c \cdot N} \cdot \ln \left( \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right)$$

або

$$t_{II} = -\frac{1}{0,105 \cdot N} \cdot \ln \left( \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right) \quad (3)$$

де  $N$  – швидкість сушіння у першому періоді, %/с;

$c$  – відносний коефіцієнт сушіння, %;

$W$  – поточна вологість матеріалу, %;

$W_{кр}$  – критична вологість матеріалу, %;

$W_p$  – рівноважна вологість матеріалу, %.

Загальний час сушіння можна розрахувати так:

$$t = t_I + t_{II} = -1,03 \sqrt{\frac{N}{8,634}} - \frac{1}{0,105 \cdot N} \cdot \ln \left( \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right) \quad (4)$$

Тобто, як бачимо, загальний час сушіння залежить від швидкості сушіння у першому періоді, рівноважної та критичної вологостей матеріалу.

На основі визначених кінетичних залежностей розраховані величини, за якими можна вивести залежність для розрахунку вологості кускової глини у часі в широкому діапазоні зміни параметрів процесу сушіння:

– для першого періоду сушіння:

$$W = W_0 \cdot \left( 1 - 2,26 \cdot 10^{-6} \cdot T^{1,2} \cdot \Delta P^{0,12} \cdot t \cdot e^{-20,5 \cdot H} \right), \quad (5)$$

де  $W_0$  – початкова вологість матеріалу, %;

$T$  – температура теплоносія, °C;

$\Delta P$  – гідравлічний опір шару матеріалу, Па;

$t$  – час сушіння, с;

$H$  – висота шару матеріалу, м;

– для другого періоду сушіння:

$$W = (W_{кр} - W_p) \cdot e^{-0,105 \cdot N \cdot \left( t - 1,03 \sqrt{\frac{N}{8,634}} \right)} + W_p. \quad (6)$$

За описаними залежностями (5) та (6) побудовано кореляційну залежність (рис. 3), що свідчить про добру узгодженість теоретичних розрахунків із експериментальними даними.

За результатами вивчення процесу сушіння у щільному шарі нами була запропонована безперервно діюча сушарка; проведений розрахунок питомих енергетичних витрат та вибір оптимальних параметрів ведення процесу. Оптимальними параметрами необхідно вважати ті, за яких загальні питомі витрати будуть мінімальними. Збільшення висоти шару матеріалу, швидкості руху теплоносія через шар матеріалу призводить до збільшення питомих енерговитрат. Із збільшенням температури теплоносія енерговитрати зменшуються. Оптимальними параметрами сушіння кускової глини є висота шару матеріалу  $H=0,02$  м; температура теплоносія  $T=175$  °C; швидкість профільтрування теплоносія  $W_0=0,4$  м/с.

Сушіння кускової глини у промисловості здійснюють у сушильних барабанах [2]. Конвективне сушіння, що реалізується у таких апаратах, дуже розповсюджене. Однак досягнути рівномірності сушіння у межах одного шматка глинистого матеріалу дуже складно. Під час проходження глини через сушильний барабан змінюється її гранулометричний склад. Дрібні фракції швидко висихають і стираються до пилоподібного стану, а великі шматки, розпарюючись, злипаються і групуються у крупні грудки. Це зумовлює велику неоднорід-

ність вологості висушеної глини, що ускладнює роботу помольних машин. Так, за середньої вологості матеріалу 8,5 – 12 % вологість найкрупніших шматків сягає 15,5 – 19 % [5]. Така нерівномірність вологості призводить до того, що під час випалу надмірна волога у шарі матеріалу є причиною розтріскування готових виробів. В іншому випадку, коли глина є пересушеною, вона втрачає пластичність і в'язучу здатність. А це призводить до того, що неможливо сформувати виріб визначеної конфігурації, або вимагає залучення апаратів (пресів) більшої потужності, які є значно дорожчими, ніж існуючі. Варто зауважити, що температура відпрацьованих газів є високою, а це вказує на втрати тепла у довкілля.

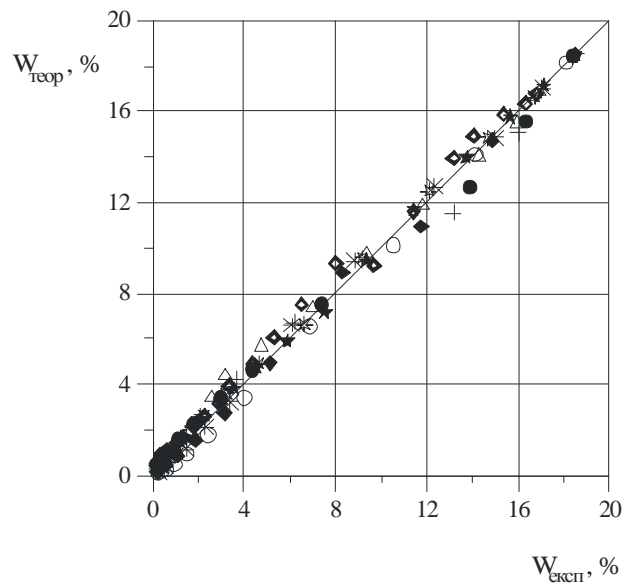


Рис. 3 Кореляційна залежність між теоретично розрахованими  $W_{теор}, \%$  (за залежностями (5) та (6)) і отриманими експериментальними значеннями  $W_{експ}, \%$  вологості кускової глини у щільному шарі

Іншим розповсюдженим методом є шлікерне сушіння. Глину розбавляють гарячою водою та доводять її вологість до 40 – 45 %. Таку суміш подають у розпилюючі сушарки [2].

Як зрозуміло із таблиці, використання безперервно працюючої сушарки для проведення сушіння у щільному шарі дає змогу знизити енерговитрати у 1,4 рази порівняно із сушінням у сушильному барабані. Значно знижується температура теплоносія на вході в апарат та температура відпрацьованих газів, порівняно із сушильним барабаном.

Розпилюючі сушарки характеризуються значними швидкостями теплоносія, що обумовлює підвищені витрати механічної енергії. За гранулометричним складом частинки досліджуваного матеріалу значно перевищують ті, які отримують у розпилюючій сушарці. За рахунок цього утворюється

велика кількість пилоподібної фракції, яка важко вловлюється сучасними очисними апаратами та забруднює довкілля.

Сушіння кускової глини (розмір частинок ~14,5 мм) у безперервно працюючій сушарці унеможливує утворення пилоподібної фракції, оскі-

льки шар матеріалу рухається транспортерною стрічкою, та відсутнє стирання його частинок. Теплоносії рухається через шар матеріалу, омиваючи частинки глини із всіх боків, однак швидкість його є незначною.

**Технічні характеристики стрічкової сушарки порівняно з існуючими аналогами**

Параметри	Стрічкова сушарка (сушіння у щільному шарі)	Сушильний барабан [2]	Розпилююча сушарка [2]
Витрата тепла на сушіння, кДж/кг вологи	3500 – 4400	4900 – 5800	3500 - 4200
Температури теплоносія, °С (max/min)	175/50	600/100	180/80
Швидкість газового потоку, м/с	0,4	2,5 – 3	14,5 – 15,5
Початкова вологість матеріалу, %	~20	20 – 30	40 - 45
Кінцева вологість матеріалу, %	6	3 – 5	6,5 – 7
Гранулометричний склад частинок матеріалу	~14,5 мм	20 – 30 мм	50 – 100 мкм

**Висновки.** Дослідження сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів на прикладі кускової глини у щільному шарі дало можливість вивчити кінетичні та гідродинамічні параметри. Глибоке вивчення механізму сушіння дає змогу вивести основні розрахункові залежності, що у широких межах описують вплив параметрів ведення процесу.

За використання запропонованого методу сушіння у щільному шарі можлива економія енергетичних ресурсів у 1,4 рази порівняно із конвективним методом. Також спостерігається зменшення шкідливого впливу на довкілля порівняно із сушінням у розпилюючих сушарках, що пов'язано із пиломиванням.

**БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ**

1. Нехорошев А.В., Цителаури Г.Н., Хлебионек Е. Ресурсосберегающие технологии керамики, силикатов и бетонов. /Под общ. ред. А.В. Нехорошева. – М.: Стройиздат, 1991. – 488 с.
2. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов. – М.: Стройиздат, 1983. – 367 с.
3. Бретшнайдер Б., Курфуст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль/ Под ред. А.Ф. Туболкина// Пер с англ. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
4. Ханик Я.М., Римар Т.І., Креховецький О.М. Кінетика сушіння дрібнокускової глини комбінованим методом // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2005. – № 536. – С. 222 – 225.
5. <http://plinfa.com>.

Стаття надійшла 15.02.2007  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Бахарєвим В.С.