

стимули для зменшення своїх викидів до рівня, нижчого від встановлених меж, щоб продавати різницю між реальними і дозволеними викидами іншим забруднювачам.

В Україні також потрібно сформулювати економічні й правові основи, передумови розвитку екологічного менеджменту, ключові напрями і стратегію в системі заходів підтримки природозберігаючого підприємництва і формування в перспективі відповідної інфраструктури для економіко-екологічного союзу. Крім цього, необхідно застосувати методи систематизації та інформаційного забезпечення контролінгу, еко-аудиту, еколого-економічного аналізу в природогосподарській діяльності на рівні підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобылев С.Н. Экономика природопользования. М: 1997.
2. Веклич О. Удосконалення економічних інструментів екологічного управління в Україні. – Економіка України. - № 9. – С. 65 – 74.
3. Галушкіна Т. Екологічний менеджмент в Україні. – Економіка України. - № 6. – 1999. – С. 78 – 83.
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
5. Постанова Верховної Ради України №188, від 5.03.1998р. «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки».
6. Постанова Кабінету Міністрів України №391, від 30.03.1998р. «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля».

УДК 6. 047

Я.М.Ханик, д.т.н., професор, В.М.Кузьма (Національний університет “Львівська політехніка”), Ю.Е.Павлюк, к.т.н., О.Ф.Бабаджанова, к.т.н., доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

СУШІННЯ МІКРОСФЕРИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті приведено результати вивчення кінетики процесу сушіння мікросфери в щільному шарі. Використання методу сушіння мікросфери у щільному шарі дозволяє уникнути винесення частинок із зони сушіння, інтенсифікувати процес сушіння.

Під час спалювання дрібнодисперсного твердого палива в котельних установках утворюється тверда фаза, частина якої виводиться з нижньої частини котла у вигляді золи, а частина (найдрібніша фракція) захоплюється потоком продуктів горіння і виноситься із зони спалювання. Газова фаза відділяється від твердої за допомогою різних газоочисних апаратів як сухим, так і мокрим методами. Переважає мокрий метод розділення газового потоку продуктів горіння від дрібнодисперсної золи. Вона як відходи, після висушування, використовується в якості добавок до цементів. Що стосується золи, то на теплових електростанціях її утворюється величезна кількість і тому її утилізація є складною проблемою.

Існує ще один напрям часткового застосування золи – використання мікросфери, яка міститься в ній. Мікросфери утворюються в процесі горіння дрібнодисперсних частин вугілля і є алюмосилікатними скляними сферичними частинками, внутрішній об'єм яких заповнений повітрям. Механізм утворення сферичних частинок вивчений недостатньо і в

основному у нас мікросфери отримують із золи мокрим методом, який полягає в тому, що золу скидають у відведені водойми і там мікросфери спливають на поверхню, оскільки їх густина менша за густину води і рівна $320 - 400 \text{ кг/м}^3$.

Розмір зольних мікросфер змінюється від 5 до 400 мкм, більшість з них - частинки розміром менше 100 мкм. Використання зольних відходів покращує екологічну обстановку поблизу золівдвалів, оскільки мікросфери, накопичуючись на їх поверхні, легко розносяться вітром на великі відстані.

Мікросфери використовують у виробництві будівельних матеріалів як наповнювач легких бетонів, а також як добавки до фарб та лаків для покращення блиску пофарбованих поверхонь. Мікросфери також використовують як основну сировину для виготовлення теплоізоляційних матеріалів завдяки її хорошим теплоізоляційним властивостям (коефіцієнт теплопровідності при 25°C рівний $0,09 - 0,11 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$).

Будівельну теплоізоляційну цеглу виготовляють із портландцементу і зольних мікросфер методом вібропресування або пресуванням напівсухих сумішей з подальшим твердненням та сушінням. Такий теплоізоляційний матеріал за своїми властивостями у 3 рази кращий за звичайну глиняну цеглу і може використовуватись для малотоннажного житлового будівництва.

Теплоізоляційні матеріали виготовляються з сухої сировини, тому мікросфери повинні мати низьку вологість, тобто їх необхідно сушити. Наявні в Україні методи сушіння є надзвичайно енергоємними. Для сушіння дрібнодисперсних матеріалів сучасна промисловість використовує різні конструкції сушарок (барабанні, конвективні, сушарки киплячого шару). Як відомо [1], при сушінні дисперсних матеріалів в киплячому шарі або барабанній сушарці має місце стирання матеріалу і винесення дрібнодисперсної фази із сушарки, нерівномірність сушіння, значні витрати теплової енергії, необхідність встановлення пилоочисної апаратури та ін. Тому створення нових високоефективних методів сушіння є надзвичайно актуальним завданням.

В зв'язку з вказаними недоліками процесу сушіння в киплячому шарі та барабанних сушарках, останнім часом значна увага приділяється сушінню в щільному шарі, коли теплоносій проходить через шар матеріалу в напрямку до перфорованої перегородки, на якій він 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, а дисперсна фаза сипучого матеріалу не виноситься із зони сушіння.

Метою досліджень даної роботи є вивчення кінетики процесу сушіння мікросфери в щільному шарі, можливості уникнення винесення частин із зони сушіння, інтенсифікації процесу.

Враховуючи природу даного об'єкта, а також отримані результати стосовно сухої гідродинаміки, можна передбачити, що процес тепломасообміну буде мати характеристики фільтраційного сушіння.

Швидкість процесу буде лімітуватися молярною, а не молекулярною дифузією.

В лабораторних умовах були проведені дослідження з вивчення зміни вологості мікросфери в часі при різних параметрах сушіння (перепадах тисків по сухому матеріалу і, як наслідок, різних швидкостях руху теплоносія, а також різних температурах теплоносія) та при різних висотах вологого матеріалу.

Результати досліджень представлені на рис. 1 і 2. Вологість матеріалу визначалась ваговим методом. На рис. 1 наведені результати досліджень сушіння мікросфери в щільному шарі за різних висот шару матеріалу $10 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, за температури $t = 100^\circ\text{C}$, перепадах тиску по сухому матеріалу $\Delta P_{\text{сер}} = 33800 \text{ Па}$. Збільшення висоти шару матеріалу значною мірою впливає на тривалість першого і другого умовних періодів, і на загальний час сушіння.

Так, збільшення висоти шару з $10 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ м (тобто в 5 разів) приводить до збільшення часу сушіння з 180 с до 540 с.

На рис.2 наведено результати досліджень сушіння мікросфери в щільному шарі за різних температур при висоті шару матеріалу $30 \cdot 10^{-3}$ м, та перепадах тиску по сухому матеріалу $\Delta P_{\text{сер}} = 33800$ Па. Підвищення температури теплоносія приводить до зменшення часу сушіння.

Як видно з рисунків 1 і 2, кінетичні криві сушіння характеризуються першим та другим умовними періодами, які значно відрізняються тривалістю.

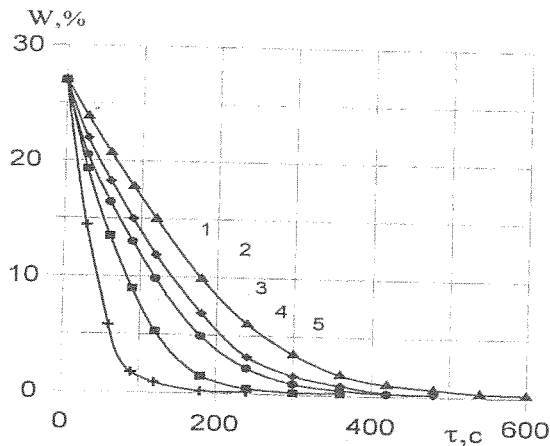


Рис. 1. Зміна вологості в часі за різних висот матеріалу

($\Delta P_{\text{сух}} = 33800$ Па; $T = 373$ К):

1 – $H = 10 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $H = 20 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $H = 30 \cdot 10^{-3}$ м,
4 – $H = 40 \cdot 10^{-3}$ м; 5 – $H = 50 \cdot 10^{-3}$ м

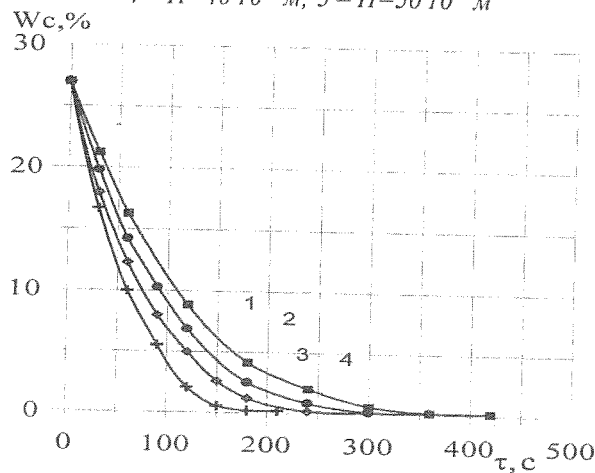


Рис. 2. Зміна вологості мікросфери в часі за різних температур теплоносія

($H = 30 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta P_{\text{сух}} = 33800$ Па):

1 – $T = 393$ К; 2 – $T = 373$ К; 3 – $T = 353$ К, 4 – $T = 333$ К

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.

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. $\tau_{кр}$ – час, що відповідає $W_{кр}$; $W_{кр}$ – критична вологість, що розділяє перший та другий умовні періоди.

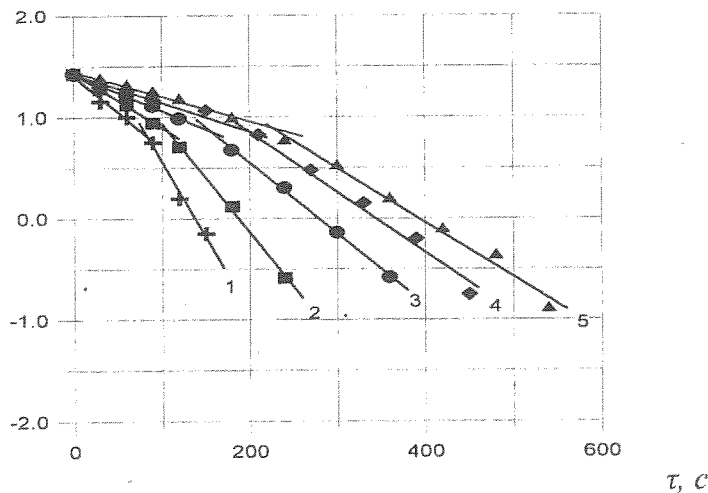


Рис. 3. Визначення критичної вологості мікросфери та критичного часу для $\Delta P = 33800$ Па; $T = 373$ К:
 1 – $H = 10 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $H = 20 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $H = 30 \cdot 10^{-3}$ м,
 4 – $H = 40 \cdot 10^{-3}$ м; 5 – $H = 50 \cdot 10^{-3}$ м
 Lg(W-Wp)

Її значення залежить від інтенсивності сушіння (швидкості і температури потоку теплоносія та початкової вологості). Із збільшенням швидкості потоку теплоносія критична вологість зростає.

Збільшення тривалості сушіння при збільшенні висоти шару матеріалу пояснюється зростанням кількості води, яку необхідно випаровувати з поверхні зерен, а також зменшенням швидкості руху теплоносія через пористу структуру шару при певному постійному перепаді тисків по сухому матеріалу.

Як видно з рис. 4, із ростом температури критична вологість знижується. Час сушіння в першому умовному періоді зменшується від 200 с до 120 с з ростом температури від 60 °С до 120 °С.

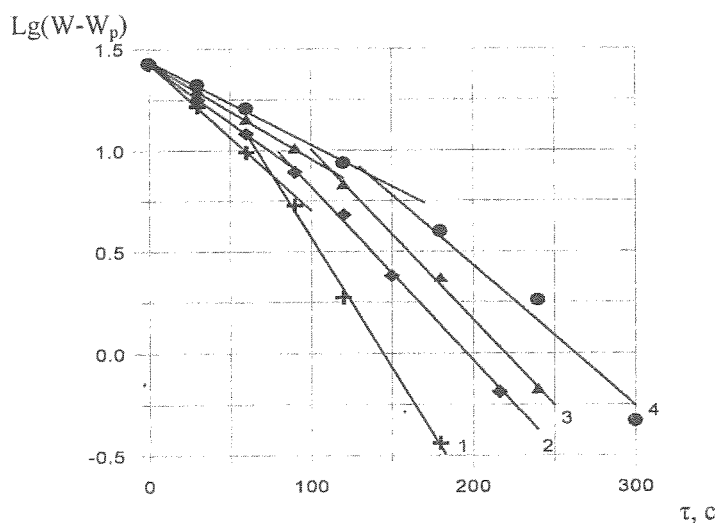


Рис. 4. Визначення критичної вологості мікросфери та критичного часу для $H = 30 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta P_{сух} = 33800$ Па:
 1 – $T = 393$ К; 2 – $T = 373$ К; 3 – $T = 353$ К; 4 – $T = 333$ К.

Кінетика сушіння в другому періоді описується рівнянням:

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

Прологарифмувавши рівняння (2) отримаємо:

$$\ln \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = -k \cdot (\tau - \tau_{кр}) \quad (3)$$

де, $W_{кр}$ – критична вологість матеріалу, яка визначається графічним методом шляхом побудови вихідних даних в координатах $\lg(W - W_p) - \tau$ (рис.3,4). Для досліджуваного матеріалу $W_{кр}$ приблизно рівна 6.9 %.

$$k = \chi \cdot N \quad (4)$$

де, χ – відносний коефіцієнт сушіння, 1/%;

N – швидкість сушіння в першому періоді, %/с;

k – коефіцієнт сушіння, 1/с;

W_p – рівноважна вологість, %.

Для визначення відносного коефіцієнта сушіння будуюмо графічну залежність в координатах $k - N$ (рис. 5). Тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис буде рівний χ .

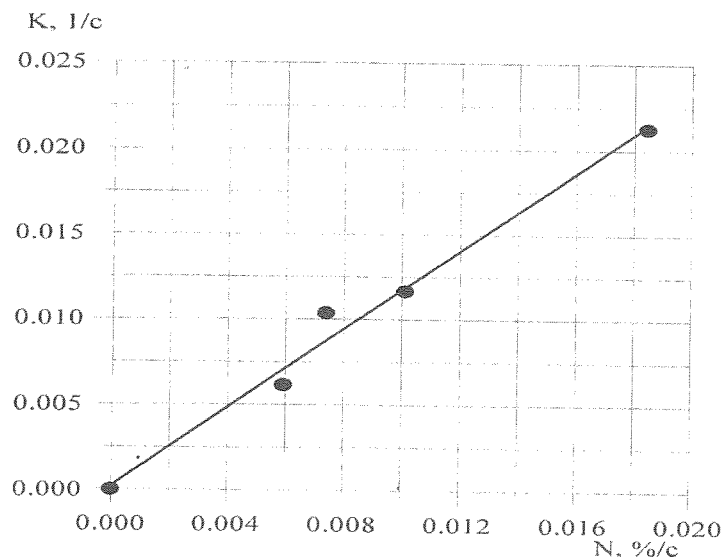


Рис.5. Залежність коефіцієнта сушіння k від швидкості сушіння N в першому періоді

Для досліджуваного матеріалу $\chi=1,14936$.

Тоді рівняння (2) можна представити у вигляді:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-1.14936(\tau - \tau_{кр}) \cdot N} \quad (5)$$

Дослідження показують, що сушіння частин мікросфери в щільному шарі має переваги в порівнянні з існуючими методами зневоднення дисперсних матеріалів, оскільки відсутнє винесення твердої фази в навколишнє середовище і, відповідно, немає потреби в пилоочисному обладнанні. Швидкість процесу сушіння в щільному шарі значно перевищує швидкість процесу сушіння існуючими методами, які в більшості випадків не можуть бути використані через малий розмір частинок. Використання методу сушіння мікросфери в щільному шарі дозволить збільшити випуск теплоізоляційних плит з мікросфери, які мають не лише низький коефіцієнт теплопровідності, але і є термо- та вологостійкими.