

Я. М. Ханик, д. т. н., проф. ;
В. М. Кузьма;
О. В. Ковальчук, к. т. н., доц.

ГІДРОДИНАМІКА І КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

Запропоновано метод сушіння дрібнодисперсних матеріалів у щільному шарі. Вивчено гідродинаміку і кінетику процесу сушіння за різних технологічних параметрів. Розроблено дослідно-промислову установку, яка впроваджується у виробництво з використанням як теплоносія димових газів.

Вступ

Сучасна екологічна наука, як відомо [1], поділяється на теоретичну і практичну екологію. Практична екологія має підрозділ «Наука про охорону і раціональне використання природних ресурсів», до яких належать родючі землі, повітря, моря, океани, річки, озера, підземні води і корисні копалини (енергетично-мінеральна та будівельна сировина) тощо. Розвиток різних галузей промисловості вимагає зростаючого використання ресурсів та енергії і, відповідно, при цьому збільшуються викиди у довкілля. Тому важливою проблемою є пошук людством шляхів ресурсо- і енергозбережних процесів і технологій. Одним з найперспективніших шляхів переробки природних ресурсів є підвищення ефективності використання всіх видів природних ресурсів [1]. Надзвичайно важливою проблемою є раціональне використання горючих корисних копалин (нафта, газ, вугілля, сланці тощо), яке може бути реалізоване створенням енергозбережних технологій і процесів, оскільки потреба у енергетичних ресурсах продовжує зростати. Прикладом глибокого використання первинних енергоресурсів є застосування нових технологічних процесів виробництва електроенергії і використання вторинних енергоресурсів, вдосконалення тепломасообмінних процесів, зокрема сушіння. Як відомо, в колишньому СРСР приблизно 20 % палива, що видобувалось, витрачалося на процеси сушіння. Нескладно порахувати, яка кількість діоксиду вуглецю та інших оксидів викидалося у довкілля і які об'єми (сотні тисяч тон в день) палива використовується на ці процеси. Відомі методи сушіння, зокрема конвективне, є енергоємними і екологічно небезпечними тим, що не тільки продукти горіння палива, а й продукти випаровування попадають у виробничі приміщення, що негативно впливає на здоров'я людини. В процесі сушіння дисперсних матеріалів тверда фаза виноситься з сушарки, попадаючи у виробничі приміщення, а також в навколишнє середовище, що спричиняє негативний вплив на біосферу.

Основна частина

Усунути недоліки відомих процесів сушіння можна шляхом розробки й використання високоефективних і енергоощадних процесів сушіння до яких належать фільтраційне сушіння і сушіння у щільному шарі. Ці методи полягають у тому, що теплоносій не омиває геометричну поверхню, а під дією перепаду тиску проходить через капілярно-пористу структуру об'єкту, що висушується. Переваги запропонованих методів, у порівнянні з існуючими методами, полягають у наступному:

- поверхня контакту фаз перевищує в десятки, а іноді сотні раз геометричну поверхню;
- великі градієнти концентрацій;
- зональний механізм сушіння і, як наслідок, температура теплоносія на виході приблизно рівна температурі мокрого термометра;
- наявність механічного витіснення і винесення вологи практично без затрат теплової енергії.

Виробники електроенергії (ТЕС, ГРЕС, АЕС, сотні тисяч котельних установок) є одними з основних забруднювачів довкілля. Стосовно небезпечного антропогенного впливу АЕС немає ніяких сумнівів. Прикладом є техногенна катастрофа на Чорнобильській АЕС, яка має планетарний антропогенний вплив на довкілля. Разом з цим варто зауважити, що теплові станції тільки на перший погляд є екологічно безпечними, у порівнянні з атомними станціями. Під час роботи теплових станцій атмосфера забруднюється відхідними газами горіння, дрібнодисперсною

фазою, що захоплюється в теплогенераторах, шлаками, які забруднюють сотні гектарів землі тощо.

В результаті спалювання органічного палива в атмосферу викидається діоксид вуглецю, концентрація якого зростає приблизно на 0,25 % за рік, що спричиняє нагрівання атмосфери і призводить до створення парникового ефекту [1]. Ще небезпечнішими є викиди в атмосферу з ТЕС оксидів азоту, сірки тощо. За наявності атмосферної води ці гази утворюють сульфатну, нітратну кислоти, що в свою чергу призводить до випадання кислотних дощів і, відповідно, до закислення ґрунтів, прісних водойм, загибелі багатьох видів фауни та флори. Варто зауважити, що викиди газів ТЕС розносяться повітряними течіями на тисячі кілометрів. Забруднення ТЕС довкілля досягли сьогодні великих масштабів і гостро постало питання очищення відхідних газів.

Основним завданням зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій є нейтралізація оксидів азоту, сірки, а також забезпечення високого ступеня вловлювання дрібнодисперсної твердої фази, яка виноситься продуктами горіння. Існує багато методів хімічного очищення відпрацьованих газів з метою вилучення із них оксидів азоту, сірки. Запропоновані технологічні схеми, що дають змогу вилучати вказані оксиди з газів і використовувати їх для одержання мінеральних добрив. Очищення газів від твердої дрібнодисперсної фази та її утилізації є складною задачею. Тверда дрібнодисперсна фаза ефективно вловлюється мокрим методом і збирається у відповідних басейнах, де із неї вилучається мікросфера, яка використовується як теплоізолятор. Однак утилізувати дрібнодисперсну золу і мікросферу можна тільки у сухому вигляді. Як уже згадувалося, мікросферу сушать при виготовленні теплоізоляційних матеріалів, а дрібнодисперсна зола — вискоелективна добавка до цементів (вміст золи залежно від марки цементу може досягати 18 %). На шляху використання золи і мікросфери постала проблема організації вискоелективного процесу сушіння.

Створення ефективного методу сушіння і всебічне його вивчення дозволяє збільшити об'єм використання золи, як відходів у цементній промисловості. Першим етапом досліджень було вивчення гідродинаміки сушіння під час руху теплоносія через шар сухої золи внаслідок перепаду тиску над поверхнею шару матеріалу. В процесі сушіння дисперсного матеріалу у щільному шарі відсутнє винесення дрібнодисперсної фази у навколишнє середовище, значно інтенсифікується процес сушіння, зменшуються питомі енергозатрати на зневоднення досліджуваного дрібнодисперсного матеріалу.

Однак величина питомих енерговитрат у значній мірі залежить від величини гідравлічного опору шару. Тому вивчення гідродинаміки у значній мірі дає відповідь на доцільність фільтраційного сушіння і його ефективність.

На рис. 1. показані результати дослідження залежності гідравлічного опору сухої золи від швидкості руху теплоносія і висоти шару матеріалу. Як видно із рис. 1. криві обернені опуклістю до осі ординат.

Подібний характер носять гідродинамічні залежності капілярно-пористих колоїдних матеріалів [2], які характеризуються мікропористістю. Під дією перепаду тисків досліджуваний матеріал ущільнюється, його вільний об'єм зменшується і гідравлічний опір зростає.

Якщо матеріал має високий опір, то (рис. 1) криві залежності $\Delta P = f(\omega_0)$ обернені опуклістю до осі ординат і при цьому $\Delta P \neq P_k - P_0$. Відомо, що при невеликих зниженнях температури газів при

фільтруванні процес можна вважати ізотермічним. Тоді $P = \int P^n dp = \frac{P^{1+\frac{1}{n}}}{1+\frac{1}{n}}$, для ізотермічних

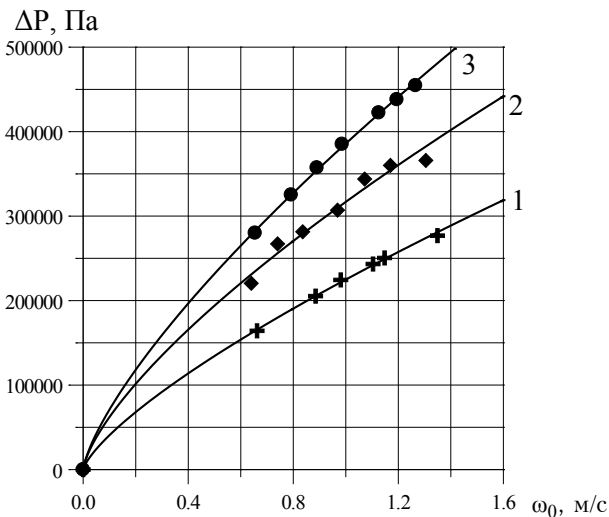


Рис. 1. Залежність гідравлічного опору сухої золи від швидкості руху теплоносія для різних висот H , м, 1 — $10 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — $20 \cdot 10^{-3}$ м; 3 — $30 \cdot 10^{-3}$ м

процесів показник політропи $n = 1$; тоді $P = \frac{P^2}{2}$, в такому випадку перепад тисків визначається як $P_k^2 - P_0^2$. Для узагальнення отриманих результатів по гідродинаміці сухої мікросфери використовуємо рівняння [3]

$$P_k^2 - P_0^2 = \frac{2G\mu P_0 H}{Fk_{II}\rho_0}, \tag{1}$$

де P_k – тиск в апараті, Па; P_0 – атмосферний тиск, Па; G – масова витрата теплоносія, кг/с; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; H – висота шару матеріалу, м; F – поверхня фільтрування, м²; k_{II} – коефіцієнт проникності, м²; ρ_0 – густина середовища за нормальних умов, кг/м³.

Як видно з рівняння (1), величина гідравлічного опору залежить від витрати теплоносія, коефіцієнта проникності та висоти шару матеріалу, решта величин, що входять в це рівняння, не впливатимуть на зміну гідравлічного опору золи. Дослідження проводилися при температурі 25 °С та поверхні фільтрування 0,00745 м². Рівняння (1) показує, що масова витрата теплоносія пропорційна різниці квадратів тисків. Тому для узагальнення результатів його зручно записати у такому вигляді:

$$P_k^2 - P_0^2 = \frac{GA}{k_{II}}, \tag{2}$$

де $A = \frac{2\mu\rho_0 H}{\rho_0 F}$.

Для узагальнення експериментальних даних криві на рис. 2 показані у вигляді $P_k^2 - P_0^2 = f(G)$.

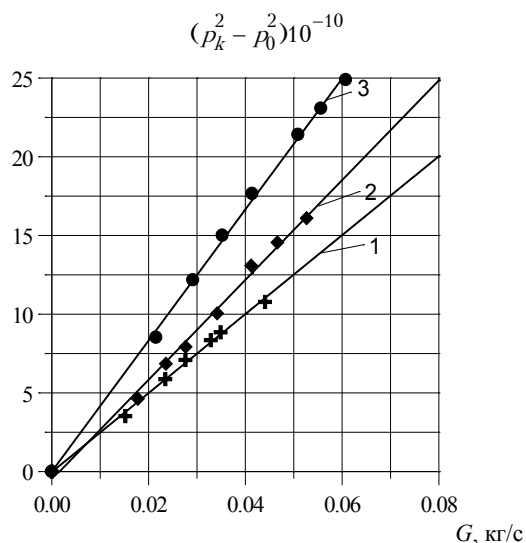


Рис. 2. Узагальнення результатів залежності гідравлічного опору сухої золи від масової витрати теплоносія для висот шару Н: 1 — 10·10⁻³ м; 2 — 20·10⁻³ м; 3 — 30·10⁻³ м

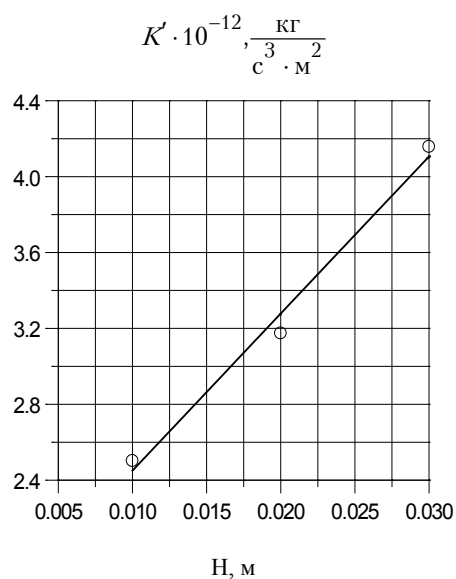


Рис. 3. Графік залежності зміни $K = A/k_{II}$ від висоти сухого шару золи

Із результатів узагальнення бачимо: кожна пряма, що відповідає певній висоті, проходить через початок координат і має свій тангенс кута нахилу, що дорівнює $K = A/k_{II}$. Виходячи з рівняння (2), будемо графік залежності $K = f(H)$ (рис. 3).

На основі отриманих залежностей розраховується гідравлічний опір сухої золи в залежності від висоти та масової витрати теплоносія за рівнянням (3)

$$P_k^2 - P_0^2 = (8,28 \cdot 10^{13} H + 1,6223 \cdot 10^{12}) G. \tag{3}$$

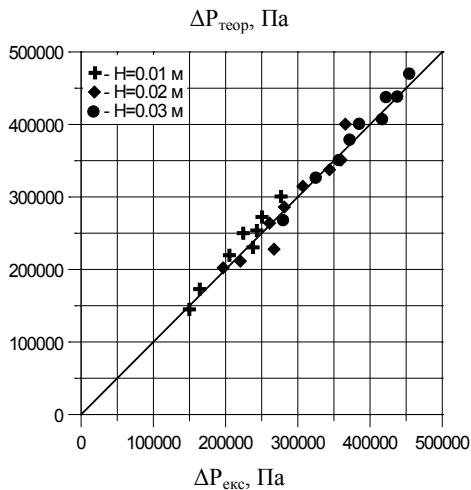


Рис. 4. Кореляційна залежність між теоретично розрахованими значеннями $\Delta P_{\text{теор}}$ і отриманими експериментальними значеннями $\Delta P_{\text{пр}}$ для різних висот шару золи H , м

Впровадження фільтраційного сушіння свідчить про енергоощадливість методу:

1. Інтенсифікація процесу в десятки, а іноді і у сотні разів порівняно з існуючим конвективним методом сушіння (скорочення тривалості сушіння);

2. Зниження питомих енергетичних затрат у 5...20 разів ($500 \dots 1000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ під час фільтраційного сушіння, і $15000 \dots 25000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ під час конвективного);

3. Різде зменшення використання первинних енергоресурсів і антропогенних викидів в навколишнє середовище;

4. Уникнення попадання продуктів випаровування у виробничі приміщення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський та інші. Основи загальної екології: Підручник / Г. О. Білявський, М. М. Падун, Р. С. Фурдуй. – 2-е вид., зі змінами. К. Либідь, 1995. – 368 с.
2. Ханьк Я. Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов: Дис. ... д-ра техн. наук. — Львов, 1992. — 401 с.
3. Левицький Б. Ф., Лещій Н. П. Основи підземної гідравліки. — Львів: Видав. Львівського державного університету, 1958. — 231 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07
Рекомендована до друку 02.07.07

Ханик Ярослав Миколайович — завідувач кафедри, **Кузьма Василь Михайлович** — асистент;

Кафедра хімічної інженерії, Національний університет «Львівська політехніка»;

Ковальчук Олександр Васильович — завідувач кафедри.

Кафедра хімії, Вінницький державний педагогічний університет