

напрямку потоку вологи (від центральних до зовнішніх шарів). Для підсилення цього ефекту матеріал потрібно нагріти. Використовують контактне, конвективне та діелектричне нагрівання деревини. Найбільш ефективним є діелектричне нагрівання у полі струмів високої частоти (вакуумно-діелектричне сушіння). Такий спосіб сушіння потребує складного і дорогого обладнання, від чого собівартість сушіння збільшується у 2–3 рази порівняно з конвективним. Контактне нагрівання є громіздким і неефективним, тому застосовується дуже рідко. Конвективне нагрівання використовується двох видів: нагрітим повітрям або водяною парою. Нагріте повітря циркулює примусово в камері, а після нагрівання деревини відсмоктується вакуумним насосом. Аналогічно періодично в камеру запускається насичена пара, матеріал нагрівається до визначеної температури, а потім створюється відповідної глибини вакуум. У нагрітій до температури кипіння води деревині (для даної глибини вакууму) очікується створення надлишкового тиску. Таким чином, всі три рушійні сили повинні інтенсивно переносити вологу до поверхні матеріалу. Однак, очікуваного ефекту вакуумне сушіння не дає і не може дати з тієї причини, що вакуумпроникливість деревини поперек волокон є дуже малою, повітря відсмоктується тільки з поверхневих шарів. Про те, що в центральних шарах немає вакууму, свідчить зростання до високих значень (300...400 °C) температури матеріалу в процесі діелектричного нагрівання (температура деревини не повинна зростати вище температури кипіння води). В процесі конвективного нагрівання температура в матеріалі не досягає точки кипіння ($t_k=100$ °C). Таким чином, переміщення вологи здійснюється тільки за рахунок градієнта вологості, який в поверхневих шарах підсилюється вакуумом (перепадом тиску). Однак, це не дає підстав фірмам, що виготовляють вакуумні сушарки, стверджувати про їх надзвичайну ефективність – вона фізично є неможливою. Тривалість вакуумного сушіння лише на 20...30 % менша за тривалість конвективного.

Висновки. На основі наведеного вище аналізу ефективності різних способів сушіння можна стверджувати, що найбільш дешевим і доступним є конвективне сушіння пилопродукції низькотемпературними режимами. Для досягнення потрібної якості сушіння необхідно застосовувати постійний контроль за вологістю матеріалу і розвитком внутрішніх напружень.

Література

1. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 462 с.
2. Билей П. В. Сушка древесины твердых лиственных пород (издание второе). – М.: Экология, 2002. – 224 с.

УДК 628.511

Проф. А.І. Дубинін, д-р техн. наук;

В.В. Майстрок, канд. техн. наук;

доц. Ю.О. Малик, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГАЗОПИЛОВОГО ПОТОКУ В ЦИКЛОНІ З ПРОМІЖНИМ ВІДВЕДЕННЯМ ОСАДЖЕНОГО ПИЛУ

Проаналізовано теорію подібності газопилових потоків в інерційних апаратах. Запропоновано математичні моделі для визначення ефективності циклону з проміжним відведенням осадженого пилу.

Prof. A.I. Dubynin, V.V. Maystruk,
doc. Yu.O. Malyk – NU "Lviv'ska Politekhnik"

The mathematical model of dusted the flow of gaze in cyclone with the intermediate diversion of the dust

The theory of similarity of dusted the flow of gas in inertial apparatus is analyzing. The mathematical model for determining of efficacy of cyclone with the intermediate diversion of the dust.

В [1] описана будова і принцип роботи циклону з проміжним відведенням осадженого пилу (циклону з ПВП). З метою визначення прогнозованої ефективності роботи циклону з ПВП була використана теорія подібності газопилових потоків в інерційних апаратах [2], яка складається з системи шести визначальних і п'яти невизначальних критеріїв подібності.

Запишемо і проаналізуємо систему визначальних критеріїв:

$$\text{Но, Re, Fr, } \Delta, R, V \quad (1)$$

де: Но – критерій гомохронності; Re – критерій Рейнольдса; Fr – критерій Фруда; Δ і R – критерії, які характеризують співвідношення в газопилових потоках інерційних сил і сил в'язкості, що діють на частинки з боку потоку; V – безрозмірна концентрація твердої фази в газовому потоці.

Критерій гомохронності Но враховує характер руху в подібних потоках, які не встановилися. Але в циклонах рух газопилових потоків стаціонарний в часі, тобто з визначальних критеріїв гомохронності можна виключити.

Критерій Рейнольдса відображає вплив сил тертя на рух газу, точніше – на характер руху. В циклонних апаратах оптимальний гідродинамічний режим характеризується діапазоном фіктивних швидкостей $V_0=2.5-4$ м/с. Дослідження поля швидкостей при $V_0=2.5$ м/с і $V_0=4$ м/с показали, що розподіл швидкостей в перерізі кільцевого простору циклона має однаковий характер. Це означає, що спостерігається автомоделність потоку, тобто розподіл швидкостей не залежить від Re, і цей критерій також може бути виключеним з числа визначальних.

Що стосується критерію Фруда (Fr), який характеризує вплив сил тяжіння на рух газопилового потоку, то елементарні розрахунки показують, що співвідношення інерційних і гравітаційних сил, які діють на частинки, дуже значні. Наприклад, якщо прийняти в першому наближенні тангенціальну швидкість в кільцевому просторі циклона за таку, що дорівнює вхідній швид-

кості $W_{\tau} = W_{\text{вх}} = 20$ м/с, то $Fr = 200$. Тобто вплив сил тяжіння на рух потоку незначний, і критерій Fr теж можна виключити з системи (1) визначальних критеріїв.

Таким чином, система (1) визначальних критеріїв скорочується з шістьох до трьох. Критерії Δ і R характеризують співвідношення в газопилових потоках інерційних сил і сил в'язкості, що діють на частинки з боку потоку. Наявність критерію R серед визначальних обумовлено відхиленням дійсного характеру обтікання частинок потоком від чисто стоксівського (в'язкого), або чисто інерційного (ньютонівського).

З метою подальшого скорочення числа визначальних критеріїв будемо користуватись похідним критерієм

$$Stk = \Delta R = \frac{d^2 V \rho_2}{L \mu_1}, \quad (2)$$

який також, як і критерій R і Δ , характеризує співвідношення інерційних сил і сил в'язкості.

Таким чином, коефіцієнт корисної дії циклону можна визначити як функцію двох критеріїв – Stk і v :

$$\eta = f_1(Stk, v). \quad (3)$$

Але для зручності ефективність визначалась по величині парціальних виносів, тобто $\varphi(d)$ ($\eta + \varphi = 1$). Тому отримані експериментальні результати досліджень були оброблені у вигляді залежності (3) із заміною η на $\varphi(d)$:

$$\varphi(d) = f(Stk, v) \quad (4)$$

В критерії Стокса (Stk) за характерну швидкість V приймали величину:

$$V = V_0(1 - q) \quad (5)$$

де: V_0 – осереднена швидкість повітря (фіктивна), що розраховується як для базового циклону по заданих витратах; $q = Q_2 / Q_1$ – співвідношення витрат відсмоктування і загальних витрат.

Таким чином, якщо циклон працює без відсмоктування, тобто $q=0$, критерій Stk має звичайний вираз. Якщо $q \neq 0$ (циклон працює в режимі з відсмоктуванням через прорізи в циліндричній частині) критерій Стокса враховує вплив на процес очищення фактора проміжного відведення осажденного пилу разом з частиною газового потоку.

В результаті обробки дослідних даних отримані рівняння:

- для циклону з ПВП, який працює без відсмоктування повітря ($q=0$)

$$\varphi(d) = 2.5 Stk^{-0.77} v^{-0.3} \quad (6)$$

- для циклону з ПВП, який працює при різних величинах відсмоктування ($q \neq 0$)

$$\varphi(d) = 2.88 Stk^{-1.96} v^{-0.3} \quad (7)$$

Або в розгорнутому вигляді рівняння (6) і (7):

$$\varphi(d) = 2.5 \left(\frac{d^2 V \rho_2}{D \mu} \right)^{-0.77} v^{-0.3}, \quad (6 \text{ а})$$

$$\varphi(d) = 2.88 \left(\frac{d^2 V \rho_2}{D \mu} \right)^{-1.96} v^{-0.3}. \quad (7 \text{ а})$$

Порівняння (6) і (7) показує, що за однакових умов в циклоні з відсмоктуванням φ буде меншим, ніж у випадку без відсмоктування. Рівняння (7) має зміст в межах $0 < q < 0.07$.

Для циклона з коаксіальною конічною вставкою в рівняння (7) додатково введений геометричний симплекс λ/D , що враховує зменшення впливу радіального стоку на виніс тонкодисперсного пилу з очищенням повітрям. В цьому випадку узагальнене критеріальне рівняння приймає вигляд:

$$\varphi(d) = f(Stk, v, \lambda/D) \quad (8)$$

Після узагальнення дослідних даних отримано рівняння:

$$\varphi(d) = 2.88 Stk^{-1.96} v^{-0.3} \left(52 \left(\lambda/D \right) \right)^{(\lambda/D)^{-0.08}} \quad (9)$$

За величиною $\varphi(d)$ і фракційним складом пилу, що надходить в циклон з ПВП і виноситься з нього, можна визначити ефективність очищення даного пиловловлювача за формулою:

$$\eta = 1 - \frac{\varphi(d) \cdot R_{d1}}{R_{d2}}, \quad (10)$$

де R_{d1} , R_{d2} – відповідно процентний вміст частинок з розмірами d в пилу на вході в пиловловлювач і у винесеному пилу.

Література

1. Дубинін А.І., Майструк В.В. Циклонний апарат з проміжним відведенням твердої фази// Вісник ДУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 1997, № 333. – С. 196-197.

2. Ушаков С.Г., Зверев Н.И. Инерционная сепарация пыли. – М.: Энергия, 1974. – 168 с.

УДК 66.045

Аспір. Д.П. Кіндзера; проф. Я.М. Ханік *д-р техн. наук*;

доц. В.М. Атаманюк, *канд. техн. наук* – НУ "Львівська політехніка"

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ВУГІЛЛЯ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

Вивчений вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі під час руху теплоносія в напрямку "шар матеріалу → перфорована перегородка".