

УДК 621.928.9

В.Каспрук, канд.техн.наук*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ПИЛОГАЗОВОЇ СУМІШІ В ЖАЛЮЗІЙНО–ВИХРОВОМУ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІ

У статті подано математичну модель процесу розділення пилогазової суміші для визначення ефективності пиловловлювання в жалюзійно-вихровому пиловловлювачі з урахуванням дії радіального потоку по висоті апарата.

Умовні позначення

- m – маса пилової частинки, кг;
 V_c – швидкість пилової частинки, м/с;
 t – час, с;
 ω – кутова швидкість обертання, c^{-1} ;
 R – радіус, м;
 W – швидкість повітряного потоку, м/с;
 μ_n – динамічна в'язкість повітря, Па·с;
 d – діаметр кулеподібної пилової частинки, мкм;
 τ – час релаксації пилової частинки, с, тобто час, протягом якого частинка рухається прискорено по відношенню до повітряного потоку;
 K – величина розподілення швидкостей в криволінійному потоці;
 Φ – сток на одиницю висоти апарата, м.

Сучасний стан теорії роботи вихрових пиловловлюючих апаратів висвітлений в ряді робіт [1-4], в них автори досліджують процес очистки повітря в апаратах з зустрічними закрученими потоками (ЗЗП) і визначають фактори, які впливають на цей процес, вивчають ступінь впливу цих факторів на коефіцієнт очистки.

Математичні моделі, які описують гідродинаміку ЗЗП і процеси пиловловлювання в апаратах ЗЗП, автори умовно поділяють на два класи: спрощені моделі і моделі, які випливають із загальних рівнянь гідродинаміки.

Аналіз математичних моделей, які описують гідродинаміку зустрічних закручених потоків і процесу пиловловлювання в апаратах ЗЗП, дозволяють одержати відносно прості формули для розрахунку ефективності вловлювання пилу апаратом і часу перебування в ньому частинок пилу.

Однак застосування цих моделей для опису процесів у вихрових пиловловлювачах із жалюзійним відводом повітря, на наш погляд, малопродатне, тому що в цих апаратах поєднано два принципи розділення: за рахунок відцентрових сил і сил інерції при проходженні через жалюзійну решітку. А вказані вище моделі враховують лише очистку під дією відцентрових сил.

Математична модель процесу сепарації пилу у відцентрово-інерційних пиловловлювачах із жалюзійним відводом повітря, що поєднує в собі принципи дії циклонних і жалюзійних пиловловлювачів, застосована в роботі [5]. Вона дозволяє оцінити розділяючі властивості жалюзійних решіток, які в них встановлені.

Виходячи із подібності принципів дії відцентрово-інерційних пиловловлювачів із жалюзійним відводом повітря і жалюзійно-вихрових пиловловлювачів, які досліджуються нами, вирішено було застосувати для опису процесу сепарації пилу в цих апаратах математичну модель, що описує процес сепарації у відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря, з врахуванням особливостей даного апарата.

Вихідним рівнянням для опису процесу сепарації, який протікає в відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря, є рівняння руху частинок в криволінійному потоці:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= 3\pi\mu_n(\omega - V)d \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{\tau}(\omega - V) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

Якщо розглядати рух частинок в рухомій системі координат, коли швидкість частинки рівна $\vec{V} = \vec{W} + \vec{V}_c$, а її прискорення визначається теоремою Коріоліса, то в векторній формі це рівняння має вигляд:

$$-m \frac{d\vec{V}_c}{dt} + m\vec{\omega}(\vec{\omega}\vec{R}) + m\left(\frac{d\vec{\omega}}{dt}\vec{R}\right) + 2m(\vec{\omega}\vec{V}_c) = -3\pi\mu_n\vec{V}_c d, \quad (2)$$

де кожний із членів лівої частини рівняння виражає компонент сили $m \frac{dV}{dt}$, з якою частинка діє на повітряний потік, який хоче скривити траєкторію частинки і змінити її швидкість.

Перший член рівняння зв'язаний з прискоренням сепараційного руху і може дорівнювати нулю тільки при $V = const$, що, як правило, неможливо. Напрямок цієї сили залежить від початкових умов входу частинки в криволінійну частину потоку.

Другий член рівняння (2) виражає відцентрову силу $m\omega^2 R$.

Вектор, визначений третім членом рівняння (2), завжди співпадає за напрямком з $\vec{\omega}$. Він показує реакцію частинки, яка переходить у повільніші шари, на сповільнюючий вплив середовища.

Четвертий член рівняння (2) визначає силу Коріоліса.

В проекціях на осі координат вихідне рівняння (2) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dx}{dt} + \frac{K}{\tau} \frac{y}{x^2 + y^2} &= 0 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dy}{dt} - \frac{K}{\tau} \frac{x}{x^2 + y^2} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Після переходу від декартових координат до полярних і ряду перетворень рівняння сепараційного руху на початковій ділянці у криволінійному потоці має вигляд:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{\left[K + (\omega_0 R_0 - K) e^{\frac{t}{\tau}} \right]^2}{R^3} = 0, \quad (4)$$

$$\tau = \frac{m}{3\pi\mu_n d} = \frac{d^2}{18\mu_n \rho}, \quad (5)$$

де K - величина розподілу швидкостей в криволінійному потоці, яка описується законом площ $\omega R = K$.

За початкову ділянку потоку приймають півоберт повітряного потоку [6].

За межами початкової ділянки рух в криволінійному потоці, коли час t досить великий, рівняння буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{K^2}{R^3} = 0. \quad (6)$$

Проте в рівняннях 4 і 6 не враховано дії радіального стоку. Якщо для циклонів це деколи допустимо, то для жалюзійно-вихрового пиловловлювача, в якому вся маса

пилоповітряного потоку, що поступає в апарат, у вигляді очищеного повітря відводиться через жалюзійну решітку, яка розміщена концентрично до корпусу пиловловлювача, необхідно було обов'язково врахувати вплив цього фактора.

Аеродинамічна сила, яка прикладена до частинки, що знаходиться на відстані X від осі апарата, внаслідок наявного постійного по висоті стоку дорівнює:

$$F = 6\pi r \mu_n \frac{\Phi}{X}, \quad (7)$$

$$\Phi = \frac{Q}{2\pi H}. \quad (8)$$

Під впливом цієї сили частинки одержують деяке прискорення. Практично всі вказані сили діють і в жалюзійно-вихрових пиловловлювачах, що досліджуються нами. В апаратах, дослідження яких приводиться в даній роботі, досягнуто рівномірного по всій висоті жалюзійної решітки перепаду тиску, а отже, і рівномірним буде радіальний стік. Тому математична модель процесу сепарації у відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря з повним правом може бути застосована для опису процесу сепарації у жалюзійно-вихрових апаратах, які досліджуються.

Для розрахункової схеми жалюзійно-вихрового пиловловлювача, зображеної на рис.1, рівняння руху частинки в криволінійному потоці з врахуванням радіального стоку має вигляд:

на початковій ділянці руху:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{\left(K + C_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \right)^2}{R^3} + \frac{\Phi}{\tau R} = 0, \quad (9)$$

за межами початкової ділянки:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{K^2}{R^3} + \frac{\Phi}{\tau R} = 0, \quad (10)$$

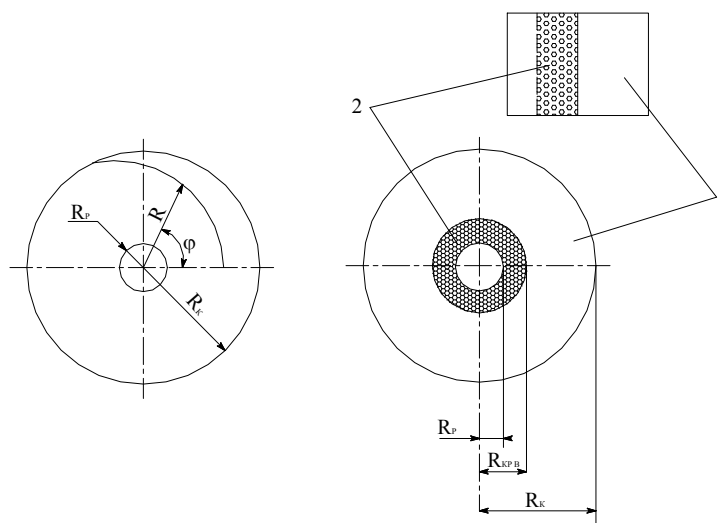


Рис.1. Розрахункова схема жалюзійно-вихрового пиловловлювача

Рівняння 9 і 10 розв'язані методом Рунге-Кутта четвертого порядку точності. Суть розрахунків полягає у визначенні траєкторії руху частинок заданих розмірів, які входять у пиловловлювач на різній віддалі від осі. Так були визначені траєкторії руху частин розміром від 1,0 до 63 мкм, які входили в пиловловлювач безпосередньо біля жалюзійної решітки ($R=0,04$ м), на віддалі від жалюзійної решітки, рівній 0,25 ширини кільцевого каналу ($R=0,048$) і на віддалі 0,5 ширини каналу, тобто в його центрі ($R=0,057$). Розрахунки проводились при середній швидкості входу повітря в границях від 4,0 до 11,4 м/с. Для кожного інтервалу часу Δt визначались координати частинок R і φ , а також швидкість $\frac{dR}{dt}$. Одержані в результаті розв'язку рівнянь (9) і (10) руху частинок в криволінійному потоці з врахуванням основних факторів, які мають вплив на цей рух, траєкторії руху частинок в пиловловлювачі дають можливість наочно зобразити картину, яка відбувається в пиловловлювачі.

Траєкторії руху дозволяють визначити, частинки яких розмірів за час перебування в пиловловлювачі можуть потрапити на жалюзійну решітку, а яких рухаються до периферії апарата. Іншими словами, можна визначити ефективність відділення в пиловловлювачі, яке може бути досягнуто тільки за рахунок відцентрової сепарації, тобто без врахування розділюючих властивостей жалюзійної решітки. Вона може бути визначена як

$$\eta_e = \sum \eta_\phi^e \frac{f_{вх}}{100}, \quad (11)$$

де η_e - ефективність відцентрової сепарації;

η_ϕ^e - фракційний коефіцієнт відцентрової сепарації;

$f_{вх}$ - вміст фракції початкового пилу.

Фракційна ефективність визначалась таким чином. Виходячи із припущення, що у вхідному перерізі пиловловлювача частинки пилу різних розмірів розподілені рівномірно по всьому перерізу, з рівнянь (9) і (10) розраховувався критичний радіус перерізу $R_{кр,в}$, при якому частинки заданого розміру за час перебування в пиловловлювачі не можуть потрапити на жалюзійну решітку. Знаючи розміри даного пиловловлювача, розрахункова схема якого показана на рис.1, фракційний коефіцієнт відцентрової очистки можна визначити за формулою

$$\eta_\phi^e = \frac{R_k - R_{кр,в}}{R_k - R_p}, \quad (12)$$

де R_k - радіус внутрішньої поверхні корпусу пиловловлювача;

R_p - радіус зовнішньої поверхні жалюзійної решітки.

Значення $R_{кр,в}$ знаходяться в межах $R_p \leq R_{кр,в} \leq R_k$.

Таким чином, були визначені фракційні коефіцієнти циклонної сепарації заданого пилу для фракцій з еквівалентними діаметрами 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 16,0; 20,0; 25,0; 40,0; 63,0 мкм і за виразом (11) визначена загальна ефективність відцентрової сепарації, яка може бути досягнута у жалюзійно-вихровому пиловловлювачі з вказаними параметрами.

На основі математичної моделі процесу сепарації у відцентрових пиловловлювачах визначено траєкторії руху пилових частинок і теоретично розраховано ефективність відцентрового розділення в апараті з жалюзійною решіткою.

This article contains the mathematical models of the process of separation dustlike mixture in jalousie-like and vortical dust collectors taking into account action of radial flow on the height of apparatus.

Література

1. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрыбин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. -Л.: 1982. -254 с.

2. Сажин Б.С. Основы техники сушки. -М.: Химия, 1984.- 309 с.
3. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. -М.:Стройиздат,1981.-291 с.
4. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.. Очистка промышленных газов от пыли. –М.: Химия, 1981.-385 с.
5. Куц В.П. Повышение эффективности пылеулавливания в центробежно-инерционных пылеуловителях с жалюзийным отводом воздуха. Дис. канд. техн. наук.; 05.17.08. - Львов, 1986.-221 с.
6. Батлук В.А. Исследование процесса пылеулавливания с помощью жалюзийного инерционного пылеуловителя нового типа. Дис.канд.техн.наук.; 05.17.08. - Львов ,1973.-143 с.

Одержано 04.11.2003 р.