

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНЕПИЛЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ В ПРЯМОТОЧНОМУ ЦИКЛОНІ З ПОПЕРЕЧНО-ПОТОЧНОЮ ЗОНОЮ СЕПАРАЦІЇ

Котов Б.І.

Подільський державний аграрно-технічний університет

Степаненко С.П.

Національний науковий центр ННЦ «ІМЕСГ»

Грищенко В.О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Запропоновано схему вдосконаленого циклонного пристрою для знепилювання повітряного потоку зерноочисних машин. Запланована схема з перефронтальним поточним відведенням частинок в процесі переміщення у спіральному потоці дозволяє підвищити ефективність роботи циклонних пристроїв прямотечийної дії. На основі проведеного теоретичного аналізу заплановано спрощені аналітичні залежності, які дозволяють розрахувати траєкторії руху частинок пилу і визначити ефективність пилоловлення і раціональні конструктивні режимні параметри пилоочисного пристрою.

Ключові слова: *Запилені потоки повітря, циклонний процес, знепилювання, частинки пилу відцентрова сепарація.*

В роботі [9] подана оригінальна схема роботи відокремлювача твердих частинок із вихрового потоку в циліндричній камері через тангенціальну щілину 5. Оскільки елементи циклонного пристрою відрізняються від звичайних циклонів для яких більшість математичних моделей для обґрунтування параметрів необхідно проводити аналітичний аналіз процесу сепарації.

Мета досліджень

Визначити закономірностей руху частинки у закрученому потоці повітря на основі отриманих спрощених формул побудувати траєкторії руху частинок (для обґрунтування параметрів пилоловлювача і його ефективності).

Результати досліджень

Розглянемо роботу циклонного пристрою з поперечно-поточною зоною поділення (відведенням пилу), схема якого наведена на рис. 1.

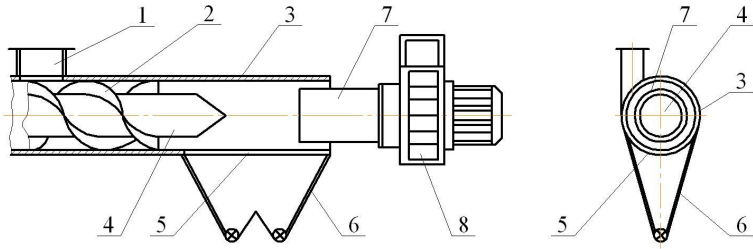


Рис.1. Конструктивна схема циклонного пилоочищувача (сепаратора):

1 – тангенціальний патрубкок; 2 – гвинтовий завихрювач; 3 – циліндричний корпус; 4 – вставка; 5 – тангенціальна щілина; 6 – пило осадова камера; 7 – відвідний повітряний канал; 8 – відсмоктуючий вентилятор

Потік повітря з матеріалом (частки дрібнодисперсного пилю) поступає через тангенціальний патрубкок (1) у завихрювач (2) гвинтового типу, двозахісний де набуває обертальний рух. Під дією відцентрової сили, частинки отримують радіальний рух в напрямку від осі до стінки циклона (3), поблизу якої підвищується їх концентрація. Концентрований потік частинок переміщуючись вздовж стінки попадає в тангенціальну (5) щілину і через неї в пилозбірник (6), очищене повітря через канал (7) відсмоктується вентилятором (8) і викидається в атмосферу.

Для формування математичного опису руху частинок в потоці повітря в циклонній камері прямої схеми зробили такі припущення: частинки мають форму кулі, не деформуються і не взаємодіють між собою; рух частинки в подовжньому напрямку мають швидкість повітря; в радіальному напрямку частинка рухається рівномірно під дією відцентрової сили, яка врівноважується силою опору з боку повітряного потоку; сила опору визначається за законом Стокса; радіальна швидкість повітря у гвинтовому русі дорівнює нулю. Інші сили, відповідно до аналізу їх дії внаслідок їх малості в розрахунках не враховуються; швидкість частки по колу приймається рівною коловій швидкості повітря.

В загальному вигляді рівняння траєкторії руху однієї частинки в повітряному потоці мають такий вигляд в координатах $r\theta z$:

$$V_z = \frac{dz}{dt} = f_1(z, r) = U_t \quad (1)$$

$$V_r = \frac{dr}{dt} = f_2(z, r) \quad (2)$$

в полярних координатах:

$$V_\varphi = \frac{d\varphi}{dt} = f_3(z, r, \varphi). \quad (3)$$

Сила опору середовища за Стоксом визначається:

$$F_c = 3\pi\mu V_r. \quad (4)$$

Відцентрова сила, що діє на частинку:

$$F_B = m \cdot \frac{V_\varphi^2}{r}, \quad (5)$$

де U_r, U_z, U_φ – радіальна осьова колова складові швидкості потоку повітря; V_r, V_z, V_φ – відповідні складові швидкості частинки $m = \frac{\rho\pi d^3}{6}$ – маса частинки, d – діаметр частинки; μ – динаміка в'язкості повітря; P – густина матеріалу частинки; r – поточна координата в радіальному напрямку.

Відповідно до зроблених припущень, рух частинки в радіальному напрямку визначається рівнянням.

$$m \frac{U\varphi^2}{r} = 3\pi\mu dV_r. \quad (6)$$

Для гвинтового руху газу колова швидкість визначається співвідношенням [2,3].

$$U_\varphi = r \frac{U_3}{S} \cdot \pi \quad (7)$$

де S – крок гвинта завихрювача.

Підставляючи значення U_φ з (5) в рівняння (6) після перетворень матимемо:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{3\pi\mu d U_z^2}{m} = \frac{r \cdot U_z^2}{\tau \cdot S^2} \quad (8)$$

Враховуючи, що $U_z = \frac{dz}{dt}$ і виключаючи dt з рівняння (8) і (1) отримаємо рівняння, що визначає траєкторію руху (в координатах rOz).

$$dz = \frac{S^2}{r U_z(r)\tau} \cdot dr \quad (9)$$

величину $\tau = \frac{\rho d^2}{\mu \cdot 18}$ – називають часом релаксації [1, 3].

Рівняння (9) входить величина $U_z(\xi)$, що характеризує розподіл осьової швидкості за радіусом. В роботі [8] залежність осьової швидкості від радіусу в закрученому потоці циліндричної труби отримана за експериментальними даними описано рівнянням:

$$U(r) = 0.4 \bar{u} + 1.6 \frac{\bar{u}r}{R} - 0.6\bar{u}\left(\frac{r}{R}\right)^2, \quad (10)$$

де $\bar{u} = \frac{4L}{\pi D_u^2}$ – середня осьова швидкість повітря; L – діаметр циклона $R = 0.5 D_u$; D_u – діаметр циклона.

Для спрощення розрахунків апроксимуємо вираз (10) лінійною залежністю:

$$U(r) = a + br, \quad (11)$$

де $a = 0.47 \frac{\bar{u}}{0.5D}$; $b = 1.05 \frac{u}{0.5D}$.

З урахуванням рівняння (9) набула вигляду:

$$dZ = \frac{S^2}{\tau \cdot r(a+br)} \cdot dr. \quad (12)$$

Інтегруючи рівняння (12) за граничної умови: $z = 0, r = r_0$ матимемо:

$$z(r) = \frac{S^2}{a\tau} \ln \frac{br(br+a)}{br_0(br+a)}. \quad (13)$$

Отриманий вираз є рівнянням траєкторії руху частинки. Початок руху при $z = 0$ від радіуса r_0 .

Задача розрахунку процесу виділення частинки з потоку повітря вирішується надходженням «крайової» траєкторії частинки, яка має розмір (найменшої) d більше якого усі частинки досягають стінки камери і вважаються вловленими. Довжина проєкції траєкторії $z = l$ переміщенням частки визначити місце розміщення вихлопної труби.

Для визначення траєкторії руху частинки від кута обертання φ (кутова координата) зробимо в рівнянні (6) заміни:

$$V_r = \frac{dr}{dt} = \omega \frac{dr}{d\varphi}, \quad (14)$$

$$U_\varphi = \omega r, \quad (15)$$

де ω – кутова швидкість.

З урахуванням виразів (14) і (15) рівняння (6) запишемо у вигляді:

$$\frac{dr}{d\varphi} = \tau \cdot \omega \cdot r. \quad (16)$$

Розв'язок рівняння (16) за початкової умови: $\varphi = 0, r = r_0$ матиме вигляд:

$$r = r_1 \cdot e^{r \cdot \omega \cdot \varphi}. \quad (17)$$

Рівняння (17) визначає положення частинки в процесі руху по радіусу в потенціальному обертовому потоці при зміні кута обертання. На рис. 2 наведено, як приклад траєкторії осаджуючих частинок.

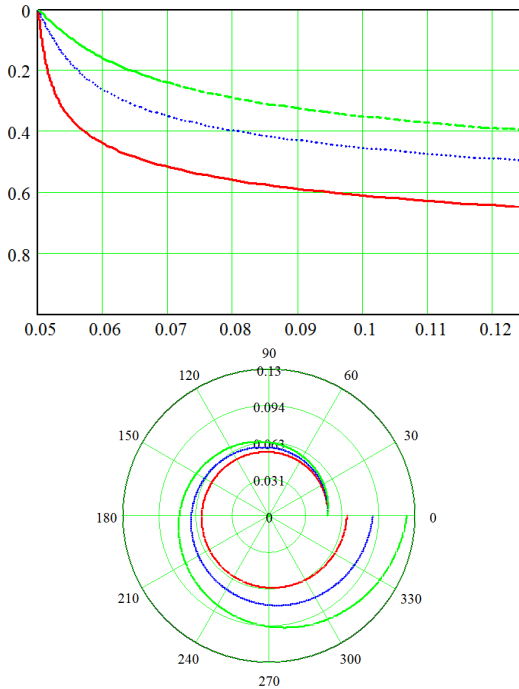


Рис.2. Траєкторії руху частинок пилу в циклонній камері

Для визначення довжини робочої зони l необхідної для вловлювання частинок мінімального розміру d_{min} , необхідно в рівняння (13) підставити значення: $\tau_{min} = \frac{\rho_r d_{min}^2}{18 \cdot \mu}$ та $r = R_{ц}$ (де $R_{ц}$ – радіус корпусу циклона):

$$l = \frac{S^2 \cdot 18 \cdot \mu}{a \cdot \rho_r d_{min}^2} \ln \frac{aR(br_0 + a)}{br_0(br + a)}. \quad (18)$$

Висновки

1. На основі аналізу кінетики ізольованої частинки сферичної форми і невеликим діаметром на базі фізико-механічних параметрів процесу сепарації в обертальному повітряному потоці отримані розрахункові залежності на основі яких можна проводити кількісне моделювання і обґрунтування раціональних параметрів вдосконаленого знепилюючого пристрою.

2. Отримані спрощені залежності можна використовувати для траєкторного аналізу розробленого обладнання для знепилювання потоків газу у відцентровому полі.

Список використаних джерел

1. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха /А. И. Пирумов. М.: Стройиздат, 1981 – 296 с.
2. Степанов Г. Ю. Инерционные воздухоочистители /Г. Ю. Степанов, И. М. Зидер. М.: Маштностроеение. 1986 – 184 с.
3. Шиляев М. И. Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования /М. И. Шиляев, А. П. Дорохов/ Томск, Из-во ТТУ. 1999 – 215 с.
4. Батлук В. А. Підвищення ефективності вловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу в систнмах очистки повітря від пилу деревообробних підприємств / В. А. Батлук, Р. М. Василів, Р. Є. Стець //Промислова гідравліка і пневматика. 2012 № 4 (38) – с. 43-49.
5. Куц В. П. Науково практичні основи створення високоефективного пилоочисного обладнання комбінованої дії /в. П. Куц. Автореф. дис. доктора техн. наук. Львів 2015 – 40 с.
6. Платов В. Д. Исследование сухого пылеуловителя с прямоточным пылеконцентратором /В. Д. Платов. Автореф. дис. канд. техн. наук. Киев. 1981 – 20 с.
7. Гаврилів Р. І. Дослідження ефективності прямотечійних циклонів. Львів. 2005 – 19 с.
8. Косенко Н. О. Очистка вентиляційних викидів у вихрових прямоточних апаратах /Н. О. Косенко. Харків. 2004 – 17 с.
9. Отделитель материала А. С. № 1585010. Бюл. Изобретений. 1990 № 30 /Шнюрвичюс Э. В., Котов Б. И., Зубер Я. М. и др.

Abstract

ANALYSIS OF THE PROCESS OF REMOVING THE REPEATED FLOW IN THE DIRECT CYCLON WITH THE TRANSVERSE-FLOW ZONE SEPARATION

B.Kotov, S.Stepanenko, V.Grishchenko

The scheme of a short-cut cyclonic annex was propounded for a better appreciation of the repeated flow of grain-cleaning machines. Scheme is planned with a more precise description of the parts in the process of changing the flow of power and the efficiency of robots of cyclonic attachments of direct flow. On the basis of a theoretical analysis, it is planned to simplify the analytical deposits, in order to allow the user to drill parts and to see the effectiveness of the sawing and rational design parameters of the saw building.

Keywords: *Drained streams, cyclone process, know-how, parts saw saw center separation.*