

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНЕРЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ ПИЛУ ПІД ДІЄЮ ВІДЦЕНТРОВОГО ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В УСТАНОВКАХ ЦИКЛОННОГО ТИПУ

Б. І. Котов, доктор технічних наук, професор

Подільський державний аграрно-технічний університет

В. О. Грищенко, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ю. І. Панцир, кандидат технічних наук, доцент

І.Д. Герасимчук, кандидат технічних наук, доцент

Подільський державний аграрно-технічний університет

E-mail: vlgr@nubip.edu.ua

Анотація. *Викид пилу з відпрацьованими повітряними потоками і газами сільськогосподарських технологічних установок і виробничих приміщень значно погіршують екологічні умови довкілля, підвищують пожежну небезпеку і шкодять здоров'ю людей.*

Для глибокого очищення газів від зважених домішок пилу все частіше застосовують схему із послідовно розташованих циклона і електрофільтра. Тому доцільно в одному апараті об'єднати дії електричних та інерційних сил.

Метою дослідження була розробка спрощеного математичного опису процесу інерційної сепарації пилу в прямоточних циклонах при накладені електростатичного поля на вихровий запилений потік.

Наведено аналіз процесу видалення пилу з вентиляційних викидів технологічного обладнання і виробничих споруд у відцентрово-інерційних сепараторах, що працюють за прямоточною схемою. Розглянуто питання використання електричного поля в циклонних процесах. Проаналізовано дію визначаючих сил, у тому числі і електричної, на рух частинки пилу в обертовому потоці. Визначені рівняння, які описують рух частинки в повітряному обертовому потоці при дії електричного поля, і складені математичні моделі для розрахунку траєкторії руху частинки пилу. Подано спрощені аналітичні вирази для траєкторій руху частинки. За розрахунками, як приклади, наведені графічні зображення визначених траєкторій.

Встановлено, що використання електростатичного поля в прямоточних циклонах дозволяє керувати процесом сепарації пилу без зміни гідродинамічного режиму роботи циклона. Застосування закручення повітряно-пилового потоку в електрофільтрах з трубчастими електродами дає змогу підвищити їх ефективність.

Ключові слова: *пил, сепарація, електричне поле, циклон, повітряний потік*

Актуальність. Викид пилу з відпрацьованими повітряними потоками і газами сільськогосподарських технологічних установок і виробничих приміщень значно погіршують екологічні умови довкілля, підвищують пожежну небезпеку і шкодять здоров'ю людей. З підвищенням ефективності роботи установок пилоочистки зменшуються викиди пилу в оточуюче середовище. Підвищення вимог до чистоти повітря в зонах знаходження обслуговуючого персоналу технічних засобів приводить до необхідності вдосконалення способів і установок пилоочищення.

Із всього різноманіття пилоочисної техніки найбільш широке розповсюдження отримали циклони та електрофільтри для більш тонкої очистки газів. Для глибокого очищення газів від зважених домішок пилу все частіше застосовують схему із послідовно розташованих циклона і електрофільтра.

Тому доцільно в одному апараті об'єднати дії електричних та інерційних сил. Це надає апаратному оформленню системи пилоочищення певні переваги: скорочується шлях частинок пилу до поверхні осадження; ефективно складаються співвідношення дії електричної і відцентрової сил радіусом апарата; електрична сила буде концентруватися біля вісі циклона, що інтенсифікує рух дрібних частинок до поверхні. Завдяки високим швидкостям вихрового потоку газу ефективно очищується осаджувальний електрод – стінка корпусу циклону.

Для визначення ефективності роботи такого обладнання і виявлення раціональних режимів його роботи необхідно провести комплексні дослідження і визначити перспективність такого напрямку вдосконалення процесу і апаратури пилоочищення.

Аналіз досліджень і публікацій. В узагальнюючих роботах [1,2] наведено аналіз конструкцій існуючих пиловловлювачів, зокрема циклонів і електричних фільтрів, методи розрахунку та моделювання процесів відцентрової сепарації пилу. Визначено, вплив радіального стоку на ефективність очищення і досить значні енерговитрати. У роботах [3,4] визначено, що означені недоліки можуть бути усунені при використанні прямоточних циклонів. Дослідженнями проведеними авторами робіт [5,6] встановлено суттєве підвищення ефективності при застосуванні електричного поля коронного розряду, реалізованого у вигляді встановлення в

прямоточний циклон полого обтікача як коронуючого електрода, осаджуваним електродом є корпус циклона (заземлений). У роботі [6] зроблено висновок про перспективність відцентрово-електростатиних апаратів і їх подальшому вдосконаленні.

У проаналізованих роботах [3,4,7] наведено методи розрахунку параметрів циклонів залежно від конструкцій і режимів роботи. Але для визначення ефективності електроциклонів при порівнянні різних конструкцій і режимів роботи доцільно проводити аналіз траєкторій. Це можна виконати на основі математичного моделювання руху частинок пилу в вихровому потоці.

Мета дослідження – розробка спрощеного математичного опису процесу інерційної сепарації пилу в прямоточних циклонах при накладені електростатичного поля на вихровий запилений потік.

Матеріали і методи дослідження. Специфіка об'єкту дослідження зумовлює аналітичний метод дослідження, коли досліджуваний процес не прив'язаний до конкретної конструкції, а використовується тільки схема процесу сепарації і значення його параметрів.

Розглядається прямоточна схема функціонування пилоочисного пристрою у вигляді циліндричного електроциклона з нижнім відводом повітряного потоку і тангенціальним вводом запиленого потоку повітря (схема на рис. 1). Така конструкція дозволяє раціонально розмістити коронуючий електрод всередині апарату [5]. Коронуючий електрод виконано у вигляді циліндричної вставки, бокові стінки якої паралельні стінкам корпусу «осаджуваного» електрода і мають зовні голки (або тонкі диски). Такий спосіб розміщення дозволяє використати один опорно-прохідний ізолятор. Часинки пилу в газовому потоці проходячи міжелектродний простір, адсорбують на поверхні іони (внаслідок дії коронного розряду) і набувають електричний заряд величиною: $Q = 0.25E^2 d^2 \varepsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}\right)$ і під впливом сили електричного поля рухаються до стінки корпусу (осаджуваного електрода), «осаджуються» на ньому і здуваються вихровим потоком повітря у бункер-пилосбірник.

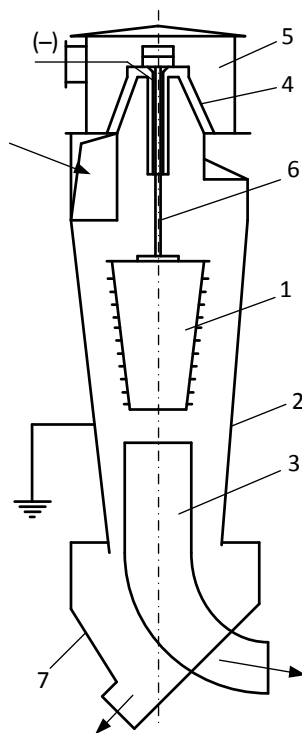


Рис. 1. Схема електроциклона:

1 – коронцючий електрод; 2 – корпус; 3 – вихлопна труба; 4 – ізолятор; 5 – коробка ізолятора; 6 – підвіска електрода; 7 – бункер-пилозбірник

Для складання математичного опису технологічного процесу електросепарації пилу у відцентровому полі використано основні положення гідродинаміки двофазного криволінійного потоку [1,2].

Результати досліджень та їх обговорення. При аналізі руху частинки у вихровому потоці прямого циклона для розрахунку траєкторій прийнято такі припущення: частинки пилу є твердими недеформованими тілами, які мають форму кулі, і не взаємодіють між собою; при тангенціальному вводі повітряний потік має рівномірне поле швидкості; опір руху частинок у повітряному середовищі визначається законом Стокса [1,2]; тангенціальна складова швидкості частки співпадає з тангенціальною складовою швидкості обертання повітряного потоку; радіальні складові швидкостей внаслідок дії сил інерції є різними. При тангенціальному вводі повітря середню тангенціальну швидкість приймають рівній середній швидкості у вхідному перерізі.

У процесі руху твердої частинки в кільцевій частині циліндричного каналу (закрученому потоці) вважається, що на неї діють такі сили:

сила тяжіння:

$$\bar{F}_m = m_r \bar{g} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_r - \rho_n) \bar{g}, \quad (1)$$

відцентрова сила:

$$\bar{F}_v = m_r \frac{\bar{V}_r^2}{r} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_r - \rho_n) \frac{\bar{V}_r^2}{r}, \quad (2)$$

сила опору середовища (за Стоксом):

$$\bar{F}_a = 3\pi \mu d \bar{V}_r, \quad (3)$$

сила Магнуса-Жуковського [10]:

$$\bar{F}_m = k \rho V (\bar{V}_r - \bar{u}) \text{rot} \bar{u},$$

сила Коріоліса:

$$\bar{F}_k = 2m(\bar{\omega} \bar{V}) = 2m(\bar{\omega} \bar{u}), \quad (5)$$

сила інерції:

$$\bar{F}_i = m \frac{dV}{d\tau}, \quad (6)$$

сила електричного поля:

$$F_e = QE = \varepsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \right) E^2 0.25d^2. \quad (7)$$

У рівняннях (1) – (7) позначено: $m = m_r + m_n$ – маса частинки; $m_n = \frac{\rho_r V_r}{2}$ – приєднана маса частки; V_r, u – швидкість частки і повітря; V, d – об'єм та еквівалентний діаметр частинки; ρ_r, ρ – густина частинки і повітря; r – радіус вектор точки, поточна координата в радіальному русі; μ – динамічна в'язкість повітря; $\psi = 2.9$ – динамічний коефіцієнт форми частинки; $k < 1$ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує поправки на припущення використання теореми Жуковського [10]; E – напруженість електричного поля; $\varepsilon_0, \varepsilon$ – діелектрична проникність вакууму і матеріалу частки.

Рівняння (1) і (2) містять складову (в дужках) різницю густин частки і повітря яка враховує і силу витиснення середовища (числа Архімеда у вихровому середовищі).

Відповідно до принципу Даламбера матимемо:

$$\overline{F}_t + \overline{F}_v + \overline{F}_c + \overline{F}_m + \overline{F}_k + F_d + F_e = 0, \quad (8)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dV_r}{d\tau} = \frac{\rho_r - \rho_n}{\rho_r} \left(g - \frac{V_\tau^2}{r} \right) - \frac{3\mu V_r \psi}{d^2 \rho} + km(V_z - V_\tau) \text{rot} \bar{u} + \\ + 0.25 \varepsilon_0 d^2 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \right) E^2 + 2m(\overline{\omega V}) \end{aligned} \quad (9)$$

Приймаючи до уваги, що відцентрова сила F_v перевищує силу тяжіння в десятки разів [3], а також малою величиною сили Магнуса і Коріоліса, то для спрощення розрахунків їх можна не приймати до уваги порівняно з іншими складовими. Крім того, враховуємо, що швидкість повітря в радіальному напрямку прийнята відсутньою, оскільки рух середовища в циклоні відбувається за законом обертання твердого тіла, тобто тангенціальна швидкість середовища:

$$V_\tau = R\omega, \quad (10)$$

де ω – кутова швидкість обертання потоку.

Таким чином з рівняння (9) наближено матимемо:

$$\rho_t \frac{dV}{dt} = (\rho_t - \rho_n) \frac{V^2}{r} - 3\pi\mu \frac{6}{\pi d^2} V\psi. \quad (11)$$

Враховуючи, що $\rho_t \gg \rho_n$, співвідношення (10) та кінетичну залежність $V_r = \frac{dr}{dt}$, рівняння (11) можна записати у такому вигляді:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \omega^2 R = F_e, \quad (12)$$

де $\tau = \frac{d^2 \rho}{18\mu}$ – час релаксації.

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (12) має вигляд:

$$R(t) = C_1 e^{\gamma_1 t} + C_2 e^{\gamma_2 t} + \frac{F_e}{\omega^2}, \quad (13)$$

де $\gamma_{1,2} = -\frac{1}{2\tau} \pm \frac{1}{2\tau} \sqrt{1 + 4\omega^2 \tau^2}$ – корені характеристичного рівняння.

Якщо припустити, що $\omega^2 \tau$ є малою величиною, то розкладаючи радикал у ступеневий ряд [12] і обмежуючись першими двома членами ряду матимемо:

$$\gamma_1 = \omega^2 \tau; \quad \gamma_2 = -\left(\frac{1}{\tau} + \omega^2 \tau\right).$$

Сталі інтегрування визначаються з початкових умов: $t = 0; R = R_0; dR/dt = 0$.

З цих умов отримаємо: $C_1 + C_2 = R_0 - \frac{F_e}{\omega^2}; \quad D = \frac{F_e}{\omega^2}; \quad C_1 \gamma_1 + C_2 \gamma_2 = 0;$

$$C_1 = -\gamma_2 \frac{R_0 \omega^2 - F_e}{\omega^2 (\gamma_1 - \gamma_2)}; \quad C_2 = \gamma_1 \frac{R_0 \omega^2 - F_e}{\omega^2 (\gamma_1 - \gamma_2)};$$

$$R(t) = \frac{R_0 \omega^2 - F_e}{\omega^2 (\gamma_1 - \gamma_2)} (\gamma_1 e^{\gamma_2 t} - \gamma_2 e^{\gamma_1 t}) + \frac{F_e}{\omega^2}. \quad (14)$$

Для достатньо легких або малих частинок $\omega^2 \tau \ll 1$; тоді $C_1 = K_0; C_2 = 0$, а рівняння (14) набуває вигляду:

$$R(t) = K_0 e^{\tau \omega^2 t} + \frac{F_e}{\omega^2}, \quad (15)$$

$$\text{де } K_0 = \frac{R_0 \omega^2 - F_e}{\omega^2}.$$

Отримані рівняння (14) і (15) визначають переміщення частинки за часом в радіальному напрямку. Для визначення проекції траєкторії руху у вертикальному напрямку під дією осьової складової швидкості повітря u_z можна скористатися кінематичним рівнянням:

$$\frac{dz}{dt} = u_z(R), \quad (16)$$

де $u_z(R)$ – розподіл осьової складової швидкості повітря за радіусом

Для визначення розподілу осьових швидкостей в закрученому потоці циліндричного корпусу циклона з тангенціальним впуском запиленого потоку скористуємось емпіричною залежністю з роботи [4]:

$$\frac{u(R)}{u_{cp}} = 0.4 + 1.6 \left(\frac{R}{R_c} \right) - 0.8 \left(\frac{R}{R_c} \right)^2, \quad (17)$$

де u_{cp} – середня осьова швидкість в перетині циліндра; R_c – радіус корпусу циклона.

Рівняння (17) з похибкою до 6 % можна апроксимувати лінійною залежністю:

$$u(R) = a + bR, \quad (18)$$

$$\text{де } a = 0.47 \frac{u_{cp}}{R_c}; \quad b = 1.5 \frac{u_{cp}}{R_c}.$$

Враховуючи (19), запишемо рівняння (16) у вигляді:

$$\frac{dz}{dt} = a + bR(t), \quad (19)$$

або з урахуванням часової залежності $R(t)$ (15):

$$dz = \left(a + b \frac{F_e}{\omega^2} \right) dt + bK_0 e^{\tau\omega^2 t} dt. \quad (20)$$

Інтегруючи рівняння при нульових початкових умовах, матимемо:

$$z(t) = At - \frac{bK_0}{\tau\omega^2} \left(1 - e^{\tau\omega^2 t} \right), \quad (21)$$

$$\text{де } A = a + b \frac{F_e}{\omega^2}.$$

При використанні залежності $R(t)$ з рівняння (13) зміну вісьової координати частки в часі отримаємо у вигляді

$$z(t) = At - \frac{bC_1}{\gamma_1} \left(1 - e^{\gamma_1 t} \right) - \frac{bC_2}{\gamma_2} \left(1 - e^{\gamma_2 t} \right). \quad (22)$$

Маючи залежності $R(t)$ і $z(t)$ з рівнянь (13) і (22) можна отримати графічні залежності траєкторії руху частинки в координатах $r0z$.

Траєкторії руху частинки в повітряному потоці, який обертається навколо осі, з певним наближенням можна визначити (за умови $\omega = const = \omega_c$) $\frac{dR}{dt} = \omega \frac{dR}{d\varphi}$, оскільки зміна кута пропорційна в часу руху:

$$R(\varphi) = \frac{R_0 \omega^2 - F_e}{\omega^2 (\gamma_1 - \gamma_2)} (\gamma_1 e^{\gamma_2 \omega \varphi} - \gamma_2 e^{\gamma_1 \omega \varphi}) + \frac{F_e}{\omega^2}. \quad (23)$$

Як приклад спрощеного розрахунку на рис. 2 і рис. 3 наведено траєкторії руху частинок в циклоні при наявності дії електростатичного поля і без нього.

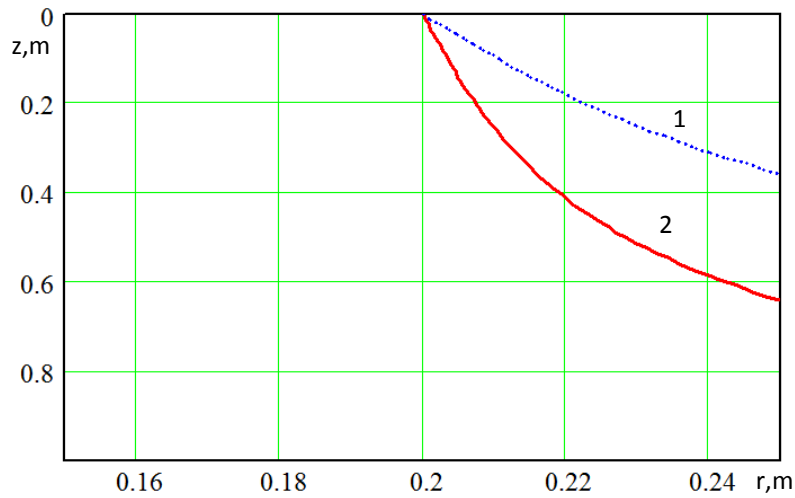


Рис. 2. Траєкторії руху частинки в продольному перетині циклона:
1 – при дії електричного поля; 2 – без електричного поля

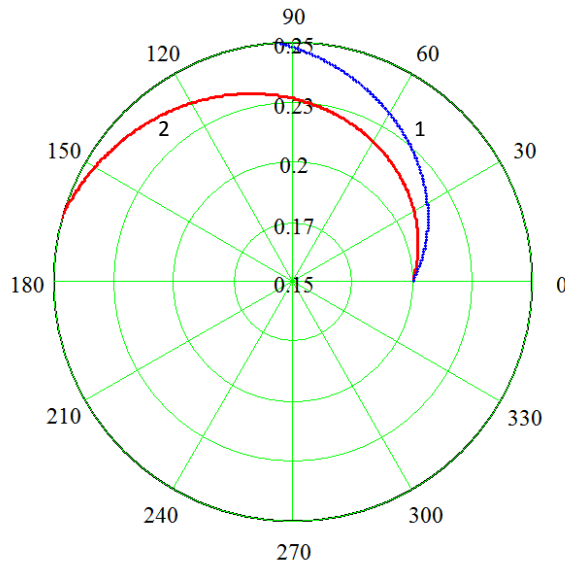


Рис. 3. Траєкторії руху частинки у поперечному перетині циклона:
1 – при дії електричного поля; 2 – без електричного поля

Для більш точних розрахунків (при визначені ефективності пиловловлювання електроциклонних апаратів прямої схеми сепарації пилу) криволінійну течію можна розглядати як частинний випадок обертання потоку, коли рух відбувається онцентричними колами і частинки повітря не обертаються (потік потенціальний), тоді розподіл швидкостей визначається законом площин [1]:

$$\omega R = k = const. \quad (24)$$

У цьому випадку система диференціальних рівнянь, які описують рух частинки в циліндричному корпусі прямої електроциклона в полярних координатах, буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - R \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{F_e}{m_r}, \quad (25)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{2}{R} \frac{dR}{dt} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{R^2 \tau} = \frac{F_e}{m_r}, \quad (26)$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dz}{dt} = \frac{1}{\tau} u_z(R), \quad (27)$$

де $m_r = \rho_r \frac{d^3 \pi}{6}$ – маса частинки діаметром d .

Враховуючи що частинка пилу в осьовому напрямку рухається під дією і із швидкістю потоку повітря, замість рівняння (27) можна використовувати рівняння (16).

Розв'язок системи рівнянь (25) – (27) у комп'ютерному середовищі MathCAD дозволяє визначити траєкторії руху частинок пилу різного розміру при різних режимних параметрах роботи електроциклона (витрати запиленого потоку, напруженість електростатичного поля та інш.).

Висновки і перспективи.

1. Отримані математичні залежності дозволяють визначити оптимальні геометричні параметри електроциклона, раціональні режими його роботи і шляхи підвищення ефективності відцентрового пилоочищення в електричному полі.

2. Використання електростатичного поля в прямоточних циклонах дозволяє керувати процесом сепарації пилу без зміни гідродинамічного режиму роботи циклона.

3. Застосування закручення повітряно-пилового потоку в електрофільтрах з трубчастими електродами дає змогу підвищити їх ефективність.

Список літератури

1. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981. 296 с.
2. Алиев Г. М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Metallurgiya, 1986. 544 с.
3. Степанов Г.Ю., Зицер И.М. Инерционные воздухоочистители. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.
4. Косенко Н.О. Очистка вентиляційних викидів у вихрових прямоточних апаратах: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.03 / Н.О.Косенко ; Харківський держ. технічний ун-т будівництва та архітектури. Х., 2004. 20 с.
5. Новиков Л. М., Быков В.А., Илюшкин Н. В., Заостровский Ф. П., Воронова Т. И., Лысенко Т. В. Исследование основных закономерностей процесса пылеулавливания в электроциклонах. УНИХИМ, 1982, Вып. 54. С. 20–24.
6. Пеньков Н.В., Ведерников В.Б. Расчет эффективности процесса пылеулавливания в циклонах./Журн. прикл. химии. 1984. Вып. 57(5). С. 1057–1061.
7. Шиляев М.И., Дорохов А. Р. Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования : учеб.пособие. Томск, 1999. 209 с.
8. Котов Б. И., Панцир Ю. И., Герасимчук І. Д., Грищенко В. О., Степаненко С. П. Моделювання процесу фракціонування зерна в пневматичних каналах при накладеному електричному полі. Промислова гідравліка і пневматика. 2018. Вип. 2, № 60. С. 65–73.
9. Басов, А. М., Быков, В. Г., Лаптев, А. В., Файн, В. Б. Электротехнология. М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.
10. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973. 760 с.
11. Белоусов, В. В. Теоретические основы процессов газоочистки. М.: Metallurgiya, 1988. 256 с.
12. Пирумов А.И. Аэродинамические основы инерционной сепарации. М.: Госстройиздат, 1961. 124 с.

References

1. Pirumov, A.I. (1981). Obespylivaniye vozdukha [Dust removal of air]. Moskow: Stroyizdat, 296.
2. Aliyev, G.M. (1986). Tekhnika pyleulavlivaniya i ochistki promyshlennykh gazov [Technique of dust removal and purification of industrial gases]. Moskow: Metallurgiya, 544.
3. Stepanov, G.YU., Zitser, I.M. (1986). Inertsionnyye vozdukhoochistiteli [Inertial air purifiers]. Moskow: Mashinostroyeniye, 184.

4. Kosenko, N.O. (2004). Ochystka ventylyatsiinykh vykydiv u vykhrovykh priamotochnykh aparatakh [Cleaning of ventilation emissions in vortex flow devices]. Kharkiv State technical university of architecture and architecture, 20.

5. Novikov, L.M., Bykov, V.A., Ilyushkin, N.V., Zaostrovsky, F.P., Voronova, T.I., Lysenko, T.V. (1982). Issledovaniye osnovnykh zakonomernostey protsessa pyleulavlivaniya v elektrotsiklonakh [Investigation of the main laws of the process of dust collection in electric cyclones]. UNIKHIM. 54, 20–24.

6. Pen'kov, N.V., Vedernikov, V.B. (1984). Raschet effektivnosti protsessa pyleulavlivaniya v tsiklonakh [Calculation of the efficiency of the dust collection process in cyclones]. Zh. adj. Chemistry, 57(5), 1057–1061.

7. Shilyayev, M.I., Dorokhov, A. R. (1999). Metody rascheta i printsipy komponovki pyleulavlivayushchego oborudovaniya : ucheb.posobiye [Calculation methods and principles of the arrangement of dust-collecting equipment: textbook]. Tomsk, 209.

8. Kotov, B. I., Pantsyr, Yu. I., Herasymchuk, I. D., Hryshchenko, V. O., Stepanenko, S. P. (2018). Modeliuvannia protsesu fraktsionuvannia zerna v pnevmatychnykh kanalakh pry nakladenomu elektrychnomu poli [Modeling of grain fractionation process in pneumatic channels with applied electric field]. Industrial hydraulics and pneumatics, 60(2), 65–73.

9. Basov, A. M., Bykov, V. G., Laptev, A. V., Fayn, V. B. (1985). Elektrotekhnologiya [Electrotechnology]. Moscow. Agropromizdat. 256.

10. Betchelor, Dzh. (1973). Vvedeniye v dinamiku zhidkosti [Introduction to fluid dynamics]. Moscow: Mir, 760.

11. Belousov, V. V. (1988). Teoreticheskiye osnovy protsessov gazoочистki [Theoretical foundations of gas cleaning processes]. Moscow. Metallurgy, 256.

12. Pirumov, A.I. (1961). Aerodinamicheskiye osnovy inertsiionnoy separatsii [Aerodynamic basis of inertial separation]. Moscow: Gosstroyizdat, 124.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНЕРЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ ПЫЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В УСТАНОВКАХ ЦИКЛОННОГО ТИПА

Б. И. Котов, В. А. Грищенко, Ю. И. Панцирь, И. Д. Герасимчук

Аннотация. *Выброс пыли с отработанными воздушными потоками и газами сельскохозяйственных технологических установок и производственных помещений значительно ухудшают экологические условия окружающей среды, повышают пожарную опасность и наносят вред здоровью людей.*

Для глубокой очистки газов от взвешенных примесей пыли все чаще применяют схему с последовательно расположенными циклоном и электрофильтром. Поэтому целесообразно в одном аппарате объединить действия электрических и инерционных сил.

Целью исследования была разработка упрощенного математического описания процесса инерционной сепарации пыли в прямооточных циклонах при наложении электростатического поля на вихревой запыленный поток.

Приведен анализ процесса удаления пыли из вентиляционных выбросов технологического оборудования и производственных сооружений в центробежно-

инерционных сепараторах, работающих по прямоточной схеме. Рассмотрены вопросы использования электрического поля в циклонных процессах. Проанализировано действие определяющих сил, в том числе и электрической, на движение частицы пыли во вращающемся потоке. Определены уравнения, описывающие движение частицы в воздушном вращающемся потоке при действии электрического поля и составлены математические модели для расчета траектории движения частицы пыли. Поданы упрощенные аналитические выражения для траекторий движения частицы. По расчетам, как примеры, приведенные графические изображения определенных траекторий.

Установлено, что использование электростатического поля в прямоточных циклонах позволяет управлять процессом сепарации пыли без изменения гидродинамического режима работы циклона. Применение закрутки воздушно-пылевого потока в электрофильтрах с трубчатыми электродами позволяет повысить их эффективность.

Ключевые слова: *пыль, сепарация, электрическое поле, циклон, воздушный поток*

MODELING OF DUST INERTIAL SEPARATION BY CENTRIFUGAL AND ELECTRIC FIELD IN THE INSTALLATION CYCLONE-TYPE

B. Kotov, V. Hryshchenko, Yu. Pantsyr, I. Herasymchuk

Abstract. *Dust emissions from waste air streams and gases from agricultural process plants and production facilities significantly worsen environmental conditions, increase fire risk, and harm human health.*

For the deep purification of gases from suspended impurities, the scheme of sequentially arranged cyclones and electrostatic precipitators is increasingly used. Therefore, it is advisable to combine the action of electric and inertial forces in one unit.

The purpose of the study was to develop a simplified mathematical description of the process of inertial separation of dust in flow cyclones when applied electrostatic field on a vortex dusty stream.

The analysis of the process of dust removal from ventilation cases of technological equipment and production facilities in centrifugal-inertial separators operating according to the flow scheme. The question of the use of electric field in cyclone processes is considered. The effect of determining forces, including electrical, on the motion of a dust particle in a rotating stream is analyzed. Equations describing the motion of a particle in an air rotating stream under the action of an electric field have been determined, and mathematical models have been developed to calculate the trajectory of the motion of a dust particle. Simplified analytical expressions for particle trajectories are presented. Calculations, as examples, are graphical representations of defined trajectories.

It is established that the use of an electrostatic field in flow cyclones allows to control the process of dust separation without changing the hydrodynamic mode of operation of the cyclone. The use of air-dust swirling in tubular electrode filters helps to increase their efficiency.

Key words: *dust, separation, electric field, cyclone, airflow*