



## **ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ ЧАСТИНКИ ПИЛУ МІЖ КІЛЬЦЯМИ РОТАЦІЙНОГО ПИЛОВІДДІЛЬНИКА ПОВІТРЯ**

Мохнатко І.М., к.т.н.,

Рогач Ю. П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.: (0619) 42-14-38

**Анотація** - робота присвячена проблемі знепилення вентиляційного повітря кабін тракторів і визначення динаміки руху частинки пилу між кільцями ротаційного пиловіддільника повітря.

**Ключові слова** – ротаційний пиловіддільник повітря, рівномірна швидкість всмоктування, ефективність пиловловлення, кільцева решітка ротора.

*Постановка проблеми.* Використання ротаційних пиловловлювачів є одним із найефективніших засобів боротьби з підвищеною запиленістю в кабіні трактора через те, що на їх роботу не впливає зміна концентрації пилу, вологості, температури і рухливості зовнішнього повітря. Крім того, ротаційні пиловловлювачі мають меншу масу, розміри і витрати енергії, а також характеризуються меншими витратами на технічне обслуговування. Проте вони мають ряд недоліків, серед яких: складність конструкції, утворення завихрень у ділянці торцевого захисного кожуха, а також нерівномірний спектр швидкостей всмоктування по довжині ротора.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблеми, пов'язані із запиленістю повітря й підтримкою необхідних параметрів мікроклімату у робочій зоні тракториста, вирішуються за допомогою установки в кабіні трактора надійної системи вентиляції, обов'язковим елементом якої є пило відділення [2,4].

*Формулювання цілей статті.* Метою цієї роботи являється визначення динаміки руху частинки пилу між кільцями ротаційного пиловіддільника повітря з метою дослідження процесу знепилення вентиляційного повітря в кабінах тракторів за допомогою ротаційних протипотокових очисників повітря.

*Основна частина.* Об'єктом дослідження є процес очищення повітря від пилу в кабіні тракторів за допомогою роторних протипотокових відцентрових пиловловлювачів (рис.1) .

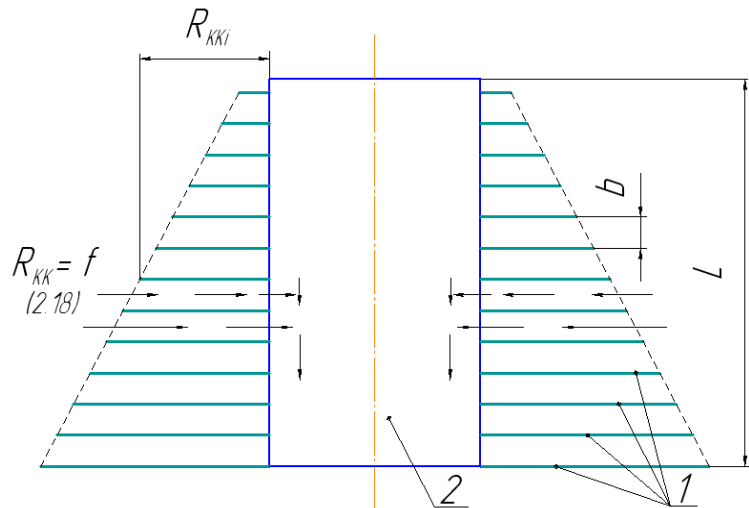


Рис. 1. Схема установки кілець (1) на корпусі пиловловлювача (2).

Предметом дослідження є закономірності впливу параметрів ротаційного протипотокового пиловіддільника на ефективність очищення ним повітря в кабіні трактора.

На частинку пилу масою  $m$ , що рухається між площинами двох кілець 1 пиловіддільника 2 діють такі сили ( рис.2 ) [1, 2]:

- сила руху  $F_{рух}$ , що виносить частинку пилу за межі кілець;
- відцентрова сила  $F_{вд}$ , створювана обертотворим ротором пиловіддільника;
- сила ваги частинки пилу  $G_{ч} = m \cdot g$ ;
- сила інерції частинки пилу  $F_{ин}$ ;
- сила всмоктування повітря до пиловіддільника  $F_{вс}$ .

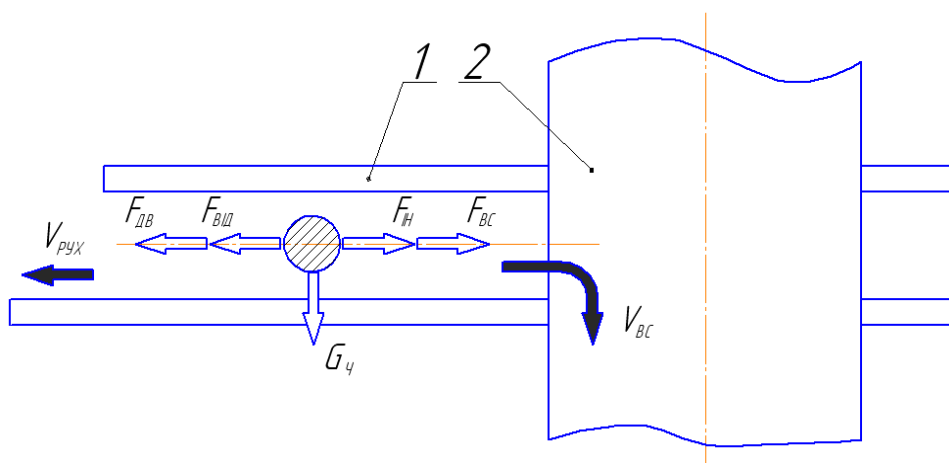


Рис.2. Схема сил, які діють на частинку пилу, що рухається між пластинами пиловловлювача:

1 - кільця; 2 – ротор пиловловлювача.

Рушійну силу й силу усмоктування можна визначити з виразів [3,4]

$$F_{\text{рух}} = k_1 \cdot S \cdot \rho \frac{V_{\text{рух}}}{2}; \quad F_{\text{рух}} = k_2 \cdot S \cdot \rho \frac{V_{\text{вс}}}{2},$$

- де  $k_1, k_2$  – коефіцієнти пропорційності;  
 $S$  - площа поперечного перерізу («міделів» переріз) частинки пилу,  $\text{м}^2$ ;  
 $V_{\text{рух}}$  – швидкість виносу частинки пилу за межі кілець пиловіддільника,  $\text{м/с}$ ;  
 $V_{\text{вс}}$  – швидкість усмоктування повітря до пиловіддільник,  $\text{м/с}$ .

Зазначимо, що коефіцієнти пропорційності  $k_1$  і  $k_2$  являють собою функції швидкостей  $V_{\text{рух}}$  і  $V_{\text{вс}}$  відповідно

$$k_1 = \frac{V_{\text{рух}} \cdot d}{v}; \quad k_2 = \frac{V_{\text{вс}} \cdot d}{v},$$

- де  $d$  - діаметр частинки пилу,  $\text{м}$ ;  
 $v$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітряного середовища.

У першому наближенні частинку пилу представимо у вигляді кулі, для якої, як відомо,  $S = \pi \cdot d^2/4$ .

Що стосується сили інерції, то вона може бути визначена з такого загальновідомого співвідношення

$$F_{\text{від}} = m \cdot \omega^2 \cdot R_p,$$

- де  $\omega$  – кутова частота обертання ротора пиловіддільника,  $\text{м/с}^{-1}$ .

Силу інерції частинки можна виразити через швидкість її виносу

$$F_{\text{ін}} = m \cdot \frac{dV_{\text{рух}}}{dt}.$$

Умова рівноваги частинки пилу, що перебуває між пластинками пиловіддільника має такий вигляд

$$F_{\text{рух}} + F_{\text{від}} - F_{\text{ін}} - F_{\text{вс}} = 0.$$

Якщо в цю залежність підставити виведені вище значення всіх сил, то після перетворень одержимо диференціальне рівняння, що описує характер руху частинки пилу між кільцями пиловіддільника

$$\frac{dV_{\text{рух}}}{dt} - A \cdot V_{\text{рух}}^3 + B = 0. \quad (1)$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho}{8 \cdot m \cdot v}; \quad B = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho \cdot V_{\text{вс}}^3}{8 \cdot m \cdot v} - \omega^2 R_p + g.$$

Рівняння (1) можна переписати

$$\frac{dV_{\text{рух}}}{dt} = A \cdot V_{\text{рух}}^3 - B.$$

Його розв'язання має такий вигляд

$$V_{\text{рух}} = \frac{A \cdot V_{\text{рух}}^4}{4} - B \cdot t + C.$$

При початкових умовах, коли  $t = 0$  і  $V_{\text{рух}} = 0$ , одержуємо:  $C = 0$ . Звідси остаточно виходить, що

$$\frac{A}{4} \cdot V_{\text{рух}}^4 - V_{\text{рух}} - B \cdot t = 0;$$

або

$$V_{\text{рух}}^4 - V_{\text{рух}} \cdot \frac{4}{A} - \frac{4 \cdot B}{A} \cdot t = 0. \quad (1')$$

Найбільший шлях виносу ( $S$ ) буде в частинок пилу, що перебувають між передостанньою та останньою (найбільшою) кільцевими пластинами [5].

Для подальших міркувань прийmemo

$$S = R_{\text{кк.макс.}}$$

У цьому випадку час виносу частинки за межі пластин буде дорівнювати

$$t = \frac{S}{V_{\text{рух}}} = \frac{R_{\text{кк.макс.}}}{V_{\text{рух}}}.$$

З урахуванням цього, рівняння (1) можна записати в так

$$V_{\text{рух}}^4 - V_{\text{рух}} \cdot \frac{4}{A} - \frac{4 \cdot B \cdot R_{\text{кк.макс.}}}{A \cdot V_{\text{рух}}} = 0;$$

або

$$V_{\text{рух}} \cdot \left( V_{\text{рух}}^4 - V_{\text{рух}} \cdot \frac{4}{A} - \frac{4 \cdot B \cdot R_{\text{кк.макс.}}}{A} \right) = 0.$$

Оскільки нульове значення швидкості виносу  $V_{\text{рух}}$  нас не цікавить, то в результаті маємо рівняння четвертого ступеня, що може бути записане в такій формі

$$V_{\text{рух}}^4 + p \cdot V_{\text{рух}}^2 + q \cdot V_{\text{рух}} + r = 0, \quad (1'')$$

де  $p = 0$ ;

$q = -4/A$ ;

$r = -4 \cdot B \cdot R_{\text{кк.макс.}}/A$ .

Вид розв'язання цього рівняння у свою чергу залежить від виду розв'язання його кубічної резольвенти

$$Z^3 + 2 \cdot p \cdot Z^2 + (p^2 - 4 \cdot r) \cdot Z - q^2 = 0.$$

З урахуванням того, що  $p = 0$ , маємо

$$Z^3 + f \cdot Z + s = 0,$$

де  $f = -4 \cdot r = 16 \cdot B \cdot R_{\text{кк.макс}} / A$ ;  
 $s = -q^2 = -16 / A^2$ .

Число дійсних розв'язок отриманого кубічного рівняння залежить від знака дискримінанта

$$D = \left(\frac{f}{3}\right)^3 + \left(\frac{s}{2}\right)^2; \text{ або } D = \frac{4096}{27} \cdot \left(\frac{B \cdot R_{\text{кк.макс}}}{A}\right)^3 + \frac{64}{A^4}.$$

Якщо врахувати значення коефіцієнтів  $A$  та  $B$  з рівняння (1), то після перетворень, одержимо

$$D = 4096 \cdot \left\{ \left[ \frac{\pi \cdot d^3 \cdot V_{\text{вс}}^3 - 8 \cdot m \cdot v \cdot (\omega^2 \cdot R_p - g)}{19683 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \rho} \cdot R_{\text{кк.макс}} \right]^3 + \left( \frac{m \cdot v}{\pi \cdot d^3 \cdot \rho} \right)^4 \right\} \quad (2)$$

Визначник  $D$  може бути негативним тільки в тому випадку, коли негативне значення першого доданка буде більше за модулем значення другого (завжди позитивного) доданка, тобто

$$\left| - \left[ \frac{\pi \cdot d^3 \cdot V_{\text{вс}}^3 - 8 \cdot m \cdot v \cdot (\omega^2 \cdot R_p - g)}{19683 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \rho} \cdot R_{\text{кк.макс}} \right]^3 \right| > \left( \frac{m \cdot v}{\pi \cdot d^3 \cdot \rho} \right)^4.$$

У свою чергу, ліва частина отриманого виразу може бути менше нуля після виконання такої умови

$$\pi \cdot d^3 \cdot V_{\text{вс}}^3 - 8 \cdot m \cdot v \cdot (\omega^2 \cdot R_p - g) < 0.$$

Якщо в ній всі члени розділити на множник  $8 \cdot m \cdot v$ , то отримаємо

$$\frac{\pi \cdot d^3 \cdot V_{\text{вс}}^3}{8 \cdot m \cdot v} + g - \omega^2 \cdot R_p > 0. \quad (3)$$

З урахуванням цього умову (3) після відповідних перетворень можна записати в такому вигляді

$$\frac{1}{R_p} \cdot \left( \frac{d^3 \cdot \rho \cdot L_{\text{к}}^3}{8 \cdot m \cdot v \cdot \pi^2 \cdot R_p^6 \cdot L^3 \cdot k_o^3} + g \right) - \omega^2 > 0. \quad (4)$$

Як було домовлено раніше, частинку відокремлюваної домішки будемо виражати у вигляді кулі. У цьому випадку її масу можна знайти з виразу

$$m = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ч}}}{6}, \quad (5)$$

де  $\rho_{\text{ч}}$  – щільність частинки домішки, кг/м<sup>3</sup>.

У результаті рівняння (4) прийме такий вигляд

$$\frac{1}{R_p} \cdot \left( \frac{3 \cdot \rho \cdot L_k^3}{4 \cdot v \cdot \rho_x \cdot \pi^3 \cdot R_p^6 \cdot L^3 \cdot k_o^3} + g \right) - \omega^2 > 0. \quad (6)$$

Розрахунки показують, що при значеннях  $R_p = 0,05 \dots 0,10$  м;  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $L_k = 0,08 \dots 0,12$  м/с;  $v = 1,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{\text{ч}} = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $L = 0,08 \dots 0,12$  м;  $k_o = 0,98$  и  $\omega = 50 \dots 90$  с<sup>-1</sup>, значення виразу (6) завжди більше нуля (причому значно). А це, у свою чергу, означає що визначник вищенаведеної кубічної резольвенти D завжди позитивний, а кубічне рівняння, яке розглядається, має один дійсний та два комплексно-спряжені корені.

Після подальших перетворень та з урахуванням що

$$R_{\text{кк.макс}} = \frac{128 \cdot \pi \cdot v \cdot R_p \cdot L^2 \cdot k_o}{d \cdot L_k} \cdot \frac{\mu^2}{1 - \mu^2} \quad \text{одержимо}$$

$$D = 4096 \cdot \left\{ \left[ \frac{6 \cdot \rho \cdot L_k^3 - 64 \cdot v \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot (\omega^2 \cdot R_p - g) \cdot (\pi \cdot R_p \cdot L \cdot k_o)^3}{19683 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \rho} \cdot \frac{v \cdot \mu^2}{1 - \mu^2} \right]^3 + \left( \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot v}{6 \cdot \rho} \right)^4 \right\} \quad (7)$$

З математики відомо, що якщо кубічна резольвента має один дійсний і два комплексно-спряжені корені, то відповідне рівняння четвертого ступеня має два дійсні розв'язки. У нашому випадку вони обидва однакові й рівні

$$V_{\text{рух}} = \frac{\sqrt{U + V}}{2},$$

$$\text{де } U = \sqrt[3]{-\frac{s}{2} + \sqrt{D}}, \text{ а } V = \sqrt[3]{-\frac{s}{2} - \sqrt{D}}.$$

З урахуванням залежностей (1) і (5) величина s може бути виражена в такий спосіб

$$s = -256 \cdot \left( \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot v}{\rho} \right)^2.$$

У результаті остаточно одержуємо

$$V_{\text{рух}} = \frac{\sqrt[3]{128 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \cdot v}{\rho}\right)^2 + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{128 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \cdot v}{\rho}\right)^2 - \sqrt{D}}}{2}. \quad (8)$$

Залежність (8) являє собою закон переміщення частинки пилу між кільцями пиловіддільника в процесі його роботи. У принципі слід вважати, що чим вище значення швидкості  $V_{\text{рух}}$ , тим ефективніше робота очисного пристрою.

Для вивчення впливу конструктивних і кінематичних параметрів останнього на зміну швидкості виносу частинки пилу за межі додатково встановлених кілець, значення всіх величин, що входять у вираз (8) і (7), приймали наступними:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,2 \text{ кг/м}^3; & \rho_{\text{год}} &= 2500 \text{ кг/м}^3; & v &= 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}; \\ k_o &= 0,98; \mu = 0,25; & d &= (3 \dots 5) \cdot 10^{-6} \text{ м}; & L_{\text{к}} &= 0,08 \dots 0,12 \text{ м}^3/\text{с}; \\ L &= 0,08 \dots 0,12 \text{ м}; & R_p &= 0,05 \dots 0,10 \text{ м}; & \omega &= 50 \dots 90 \text{ с}^{-1}. \end{aligned}$$

У результаті було встановлено, що зміни продуктивності пиловіддільника ( $L_{\text{к}}$ ), довжини ( $L$ ) і радіуса ( $R_p$ ) його ротора впливу на швидкість виносу частинки пилу із простору між двома найбільшими додатково встановленими пластинами мають дуже малий вплив.

Дуже малою залишається ця зміна й при варіюванні діаметра ( $d$ ) частинок пилу в зазначених вище межах. В усіх варіантах значення величини  $V_{\text{рух}}$  є практично постійним і дорівнює 0,5 м/с.

Відчутний вплив на цей кінематичний параметр має тільки частота обертання ротора відцентрового протипотокового пиловіддільника.

Так, при збільшенні  $\omega$  з 50 до 90  $\text{с}^{-1}$  (тобто в 1,8 рази) швидкість виносу частинки пилу зростає з 0,2 до 0,7 м/с (тобто в 3,5 рази). Отриманий результат є цілком логічним, оскільки зростання частоти обертання ротора неминує збільшує відцентрову силу, що викликає переміщення твердих частинок пилу за межі додатково встановлених кілець протипотокового пиловіддільника.

*Висновки.* В результаті проведених досліджень визначена динаміка руху частинки пилу між кільцями ротаційного пиловіддільника повітря, з метою обґрунтування геометричних параметрів відцентрового протипотокового пиловіддільника повітря, й підтримкою необхідних параметрів мікроклімату у робочій зоні тракториста, щодо вирішення проблеми знепилення вентиляційного повітря кабін тракторів.

*Література*

1. Пат.№ 40794 Україна, МПК D01D54/14. Протипотоковий ротаційний пиловіддільник / Ю.П. Рогач, І.М. Мохнатко (Україна).- №2000031542; заявл. 20.03.2000; опубл. 15.08. 2001, Бюл №7.
2. *Повх И.Л.* Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И.Л. Повх. - Л: Машиностроение, 1974. – 480 с.
3. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. - 2-е изд. - М.: Стройиздат 1981-296 с.
4. *Идельчик И.Е.* Аэродинамика промышленных аппаратов / И.Е. Идельчик. – М., Энергия, 1964. – 456 с.
5. *Якуба А.Р.* Анализ и оценка сил, действующих на частицы в сепараторах с закрученными потоками / А.Р. Якуба, А.Н. Калашников // Вестник Сумского Государственного университета. – 1998.–№2(10).– С.41-45

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ  
МЕЖДУ КОЛЬЦАМИ РОТАЦИОННОГО  
ПЫЛЕОТДЕЛИТЕЛЯ ВОЗДУХА**

Мохнатко И.Н., Рогач Ю. П.

*Аннотація*

**Работа посвящена проблеме обеспыливания вентиляционного воздуха кабин тракторов с помощью ротационных противопотоковых обеспыливателей воздуха и определения динамики движения частиц пыли между кольцами ротационного пылеотделителя воздуха.**

**DEFINITION DYNAMICS OF DUST PARTICLES BETWEEN THE  
RING AIR ROTATION**

I. Mohnatko, Y. Rogach

*Summary*

**Work is devoted a problem of work without the dust maintenance in a cabins tractors with the help air rotary dust cleaners.**