

УДК 629.3.014.2.048

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО ПРОТИПОТОКОВОГО ОЧИСНИКА ПОВІТРЯ

Мохнатко І.М., інженер

Таврійський Державний Агротехнологічний Університет

Тел. (06192) 42-14-38

**Анотація** - Робота присвячена теоретичним дослідженням з обґрунтування конструктивних параметрів ротаційного протипотокового очисника повітря.

**Ключові слова** – теоретичні дослідження, ротаційний пиловіддільник повітря, рівномірна швидкість всмоктування, радіус кілець, довжини ротора.

*Постановка проблеми.* Одним із основних недоліків протипотокового очисника повітря є нерівномірність розподілу повітряного потоку по його довжині, тому найбільш перспективним напрямком усунення цього недоліку є застосування в його конструкції зон місцевого опору (наприклад, перфорованої бічної поверхні). При цьому, якщо перфорацію поверхні очисника здійснити по всій його довжині, то при виборі його параметрів можна використовувати такий же методичний підхід, як і при розрахунку параметрів витяжного повітроводу із щілиною змінної ширини. Для достовірної оцінки розробленої нової конструкції ротаційного пиловіддільника повітря необхідно керуватися нормативними документами, що регулюють правила проведення порівняльних випробувань, а саме «Єдиною методикою порівняльних випробувань пиловловлювачів для очищення вентиляційного повітря» [1].

*Формулювання мети статті.* Метою цієї роботи являється проведення теоретичних досліджень з обґрунтування конструктивних параметрів ротаційного протипотокового очисника повітря.

*Основна частина.* При проведенні аналітичних досліджень повітроводів приймали наступні допущення, які було вже враховано при аналогічних розрахунках [2, 3]:

- 1) коефіцієнт витрати по всій довжині щілини постійний;
- 2) поля швидкостей у поперечних перерізах повітроводу (пилоочисника) рівномірні, що дозволяє вважати коефіцієнти Коріоліса й

Буссінеска рівними одиниці;

3) коефіцієнт опору тертя по всій довжині повітроводу (пилочисника) постійний.

Конструкції відцентрового протипотокового пилувіддільника повітря, які ми досліджуємо, для забезпечення рівномірної швидкості всмоктування передбачається застосовувати циліндричні кільця різного діаметра (рисунок 1), закон зміни якого й потрібно встановити.

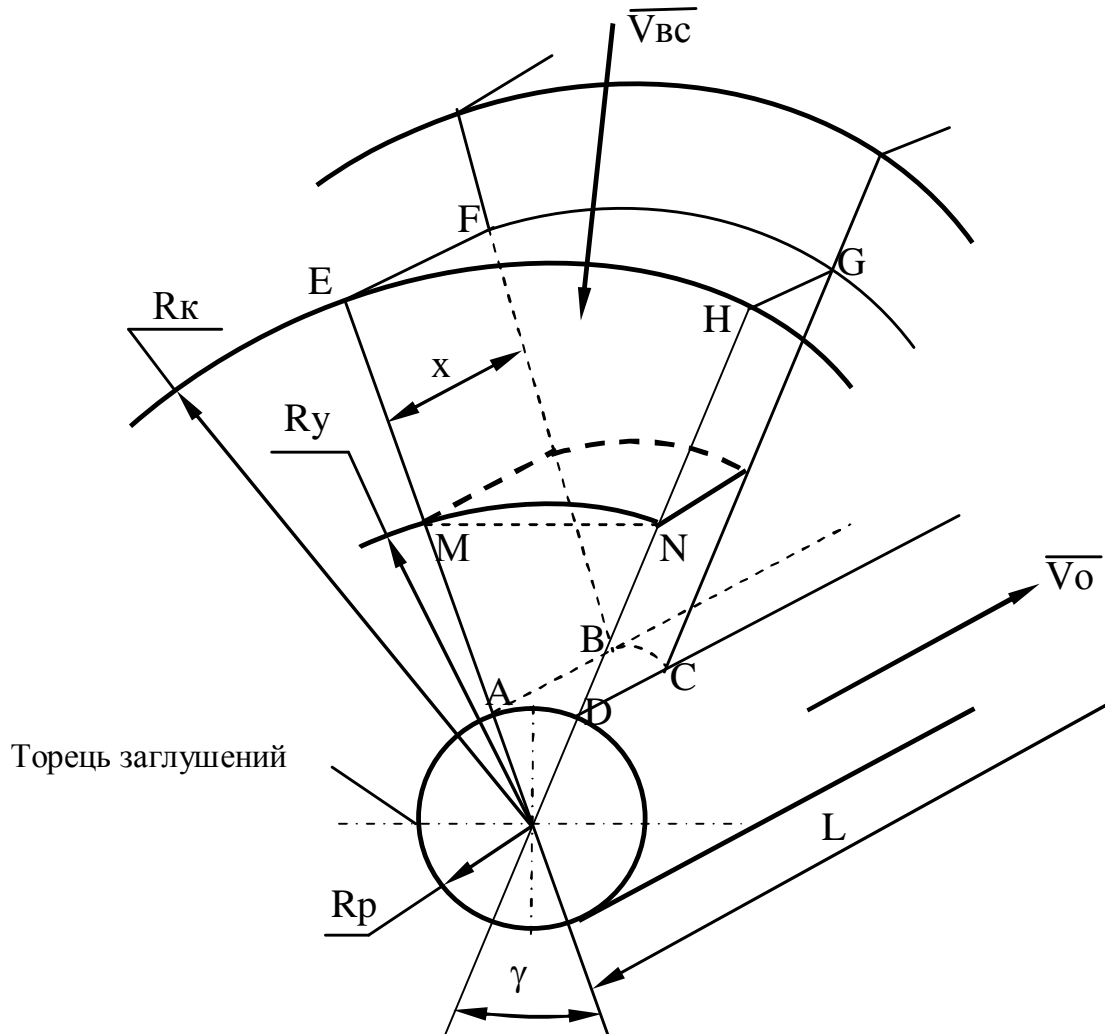


Рис.1. Схема відцентрового протипотокового очисника повітря з установленими на ньому кільцями:  $R_p$  - радіус ротора;  $R_k$  - зовнішній радіус кільця;  $R_y$  - радіус середнього перерізу.

По всій бічній циліндричній поверхні очисника розміщено  $n$  поздовжніх щілин, довжина кожної з яких дорівнює довжині ротора  $L$ . Поверхню над останнім можна умовно розділити на  $n$  об'ємних сегментів ABCDEFGH з кутом розхилу  $\gamma$  і круговими основами. Радіус нижнього з них приймаємо рівним радіусу ротора  $R_p$ , а радіус верхнього сегмента дорівнює зовнішньому радіусу кільця  $R_k$ . Ширина (товщина) кожного сегмента дорівнює відстані між суміжними кільцями очисника.

Ще раз підкреслимо, що через фізичну відсутність площин DHGC і AEFB, кожний із утворених сегментів є умовним і має середній (прохідний) переріз, утворений радіусом  $R_Y$ , від величини якого й залежить ширина прохідної щілини (хорда MN, рис.1) у кожному перерізі X по довжині ротора, розглянутого протипотокового пиловіддільника.

Визначивши закон зміни радіуса  $R_Y$ , можна знайти такий закон зміни зовнішнього радіуса кожного кільця  $R_K$ , що забезпечить надходження повітря в порожнину пиловіддільника з постійною швидкістю.

Швидкість усмоктування повітря в пиловіддільник ( $V_{BC}$ ) може бути визначена з наступного виразу [2]:

$$V_{BC} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_0 - P_X)} \quad (1)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт витрати повітря;

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$P_0, P_X$  - статичний тиск повітря усередині й поза пиловіддільником відповідно, Па.

Стосовно до об'єму, обмеженого перерізами X і  $X = 0^1$ , а також стінками пиловіддільника, скористаємося відомим рівнянням кількості руху в проекції на його поздовжню вісь:

$$\begin{aligned} S \cdot (P_0 - P_X) - \int_0^x \tau_x \cdot P \hat{a} \cdot dx &= \\ = S \cdot (P_0 - P_X) - \tau_x \cdot P \hat{a} \cdot x_0^x &= S \cdot (P_0 - P_X) - \tau_x \cdot P \hat{a} \cdot x \end{aligned} \quad (2)$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу пиловіддільника, м<sup>2</sup>;

$\tau_x$  - напруга тертя повітря зі стінками повітроводу;

$P_B$  - периметр повітроводу, м;

$V_X$  - швидкість повітря у повітроводі пиловіддільника в перерізі X, м/с.

Слід зазначити, що при дотриманні умови сталості швидкості усмоктування в кожному перерізі X справедливою є така рівність:

$$V_X = V_0, \quad (3)$$

де  $V_0$  - швидкість руху повітря у повітроводі пиловіддільника, м/с.

Що стосується напруги тертя  $\tau_X$ , то її можна визначити з такої залежності:

$$\tau_X = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{V_X^2}{2},$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт опору тертя.

З урахуванням залежності (3) одержуємо:

$$\tau_x = \frac{\lambda}{8} \cdot V_0^2 \quad (4)$$

Оскільки повітровід розглянутого нами пиловіддільника в кожному перерізі  $X$  є круглим з радіусом  $R_y$ , то:

$$P_b = \frac{2 \cdot S}{R_y} \quad (5)$$

Поставивши в рівняння (2) величину  $\tau_x$  з (4), і  $P_b$  із (5), а після розділивши всі члени рівняння на  $S$ , після перетворень одержимо:

$$P_0 - P_x = \rho \cdot V_0^2 \left( \frac{\lambda}{4 \cdot R_y} \cdot x + 1 \right) \quad (6)$$

Оскільки в підінтегральному виразі отриманого рівняння (6) всі величини постійні й можуть бути винесені за знак інтеграла, то

$$\int_0^x \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{\rho}{R_y} \cdot V_0^2 \cdot dx = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{\rho}{R_y} \cdot V_0^2 \cdot x \quad (7)$$

З урахуванням (2.7) залежність (2.6) можна записати в такому вигляді:

$$S \cdot \rho \cdot V_0^2 \left( \frac{\lambda}{4 \cdot R_y} \cdot x + 1 \right) - \frac{\lambda}{8} \cdot V_0^2 \cdot \frac{2 \cdot S}{R_y} \cdot x = S \cdot \rho \cdot V_0^2 \quad (8)$$

Після підстановки різниці тисків з (8) в (1) одержимо:

$$V_{\hat{a}n} = \mu \cdot V_0 \sqrt{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{4 \cdot R_y} \cdot x + 1 \right)} \quad (9)$$

Рівність швидкостей всмоктування повітря в кожному перерізі пиловіддільника дозволяє вважати, що

$$V_{bc} = V_0.$$

У цьому випадку рівняння (1) можна представити як аналітичний закон, що описує характер зміни радіуса ( $R_y$ ) умовного прохідного перерізу сегмента ABCDEFGH (рис.1) у тому або іншому поперечному перерізі ротора відцентрового протипотокового очисника повітря:

$$R_y = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\mu^2}{1 - \mu^2} \cdot x \quad (10)$$

Для переходу до зовнішнього радіуса кільця  $R_k$  розглянемо один з поперечних розрізів розглянутої конструкції очисника повітря.

Довжина середньої лінії  $MN$  трапеції AEND може бути визначена з виразу:

$$MN = \frac{AD + EH}{2}, \text{ звідки } EH = 2MN - AD \quad (11)$$

З рис.1 у свою чергу виходить, що  $\frac{EH}{2 \cdot R\hat{e}} = \sin \frac{\gamma}{2}$ , звідки

$$R\hat{e} = \frac{EH}{2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}} \quad (12)$$

Хорди MN і FD можна визначити в такий спосіб:  
 $MN = 2 \cdot R_y \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$ ;  $AD = 2 \cdot R_p \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$ . Підставивши отримані вирази в (11), одержимо:

$$EH = 2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot (2 \cdot R_y - R_p) \quad (13)$$

Спільне розв'язання рівнянь (12) і (13) дозволяє встановити, що

$$R_K = 2 \cdot R_y - R_p \quad (14)$$

Підставивши значення умовного радіуса  $R_y$  з (10) в (14), будемо мати:

$$R_K = \lambda \cdot \frac{\mu^2}{1 - \mu} \cdot X - R_p \quad (15)$$

Конструкція нового відцентрового протипотокового пиловіддільника відрізняється наявністю додатково встановлених на ньому кілець. Радіус кожного з них ( $R_{KK}$ , рис. 1) зручніше відраховувати не від центра ротора, а від зовнішнього його радіуса  $R_p$ . Звідси походить, що

$$R_{KK} = 2 \cdot R_K - R_p$$

З урахуванням цього, з (15) знаходимо залежність, що описує закон зміни радіусів додаткових кілець по довжині ротора протипотокового відцентрового пиловіддільника:

$$R_{KK} = \lambda \cdot \frac{\mu^2}{1 - \mu} \cdot X \quad (16)$$

Щоб визначити значення коефіцієнта опору тертя  $\lambda$ , варто знати режим усмоктування повітря: ламінарний або турбулентний. Характер цього режиму прийнято визначати числом Рейнольдса, що розраховується за формулою:

$$Re = \frac{V_{\text{ан}} \cdot d}{\nu} ;$$

де  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості середовища,  $\text{кг/м}^3$ .

Швидкість усмоктування повітря пиловіддільником можна виразити через його конструктивні параметри в такий спосіб:

$$V_{\dot{a}\ddot{n}} = \frac{L_{\dot{e}}}{2 \cdot \pi R_p L k_0} \quad (17)$$

де  $L_k$  – витрата повітря пиловіддільником (тобто його продуктивність),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$k_0$  – коефіцієнт, що враховує зменшення площі усмоктування повітря конкретним пиловіддільником.

Тепер формула буде мати такий вигляд:

$$\text{Re} = \frac{L_{\dot{e}} \cdot d}{2 \cdot \pi R_p L k_0 \nu} \quad (18)$$

Визначимо це число при вихідних даних, прийнятих для протипотокового ротаційного пиловіддільника, технічну характеристику якого викладено в методичному розділі дисертації :

$$L_k = (0,05 \dots 0,12) \text{ м}^3/\text{с}; \quad d = (3 \dots 5) \cdot 10^{-6} \text{ м}; \quad R_p = 0,065 \text{ м};$$

$$L = 0,1 \text{ м}; \quad k_0 = 0,98; \quad \nu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Підставивши значення  $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$  з останнього виразу у формулу

(16), з урахуванням виразу (18) остаточно одержимо:

$$R_{\dot{e}\dot{e}} = \frac{128 \cdot \pi \cdot R_p \cdot L \cdot k_0 \cdot \nu}{L_{\dot{e}} \cdot d} \cdot \frac{\mu^2}{1 - \mu^2} \cdot X \quad (19)$$

Аналіз залежності (19) проводили при наступних значеннях величин:  $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $R_p = 0,05 \dots 0,10 \text{ м}$ ;  $L = 0,08 \dots 0,12 \text{ м}$ ;  $k_0 = 0,98$ ;  $\mu = 0,25$ ;  $L_k = 0,08 \dots 0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $d = (3 \dots 5) \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $X = 0 \dots L$

Теоретично встановлене, що збільшення радіуса ротора протипотокового пиловіддільника ( $R_p$ ) приводить до більш інтенсивного зростання радіусів додаткових кілець. Щоб характер зміни параметра  $R_{kk}$  при цьому залишався таким же (тобто не збільшувався), необхідно, як випливає з аналізу виразу (19), збільшити продуктивність пиловіддільника. Зі зростанням значення цієї величини інтенсивність наростання значень радіусів додаткових кілець по довжині ротора зменшується.

Таким чином, при незмінному режимі роботи (очищення повітря) збільшення радіуса ротора протипотокового відцентрового пиловіддільника однозначно призводить до збільшення його зовнішніх габаритів.

В принципі такий результат є цілком пояснюваним наступною схемою міркувань. Оскільки в міру віддалення від заглушеного торця пиловіддільника втрати швидкості всмоктуваного повітря зростають, то для втримання їх на одному рівні, радіус додаткових установлених кілець повинен збільшуватися відповідно до закону, що задається виразом (19).

*Література.*

1. *Гордон Г.М.* Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей / *Г.М. Гордон, .М.М. Зайцев, П.А. Коузов.* – Л.: Наука, 1967. – 120 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливаю/ Под общ. ред. *А.А. Русанова.* – М.: Энергия, 1975. – 236 с.
3. *Коузов П.А.* Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / *П.А. Коузов.* – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО ПРОТИВОПОТОКОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ ВОЗДУХА**

И. М. Мохнатко

### *Аннотация*

**Работа посвящена теоретическим исследованиям по обоснованию конструктивных параметров ротационного противопотокового очистителя при неравномерных скоростях всасывания воздуха.**

## **THEORETICAL RESEARCHES ON THE SUBSTANTIATION OF DESIGN DATA OF ROTATIONAL STREAM OF THE AIR PURIFIER**

J. Mohnatko

### *Summary*

**Work is devoted theoretical researches on a substantiation of design data rotational stream a cleaner at non-uniform speeds of an absorption of air.**