

# Альтернативна методика розрахунку аеродинамічного опору фільтрів

Дмитрук Є.А., доктор технічних наук, професор, Харченко Є.І. кандидат технічних наук, доцент, Шаран А.В., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

На зернопереробних підприємствах для знепилення технологічного обладнання та створення необхідних санітарно-гігієнічних умов широко використовуються системи аспірації. Пневмотранспортні установки виконують транспортні функції та забезпечують безперервність технологічного процесу. В системах аспірації та пневмотранспорту як пиловідділювачі використовуються фільтри та фільтри-циклони. В системах аспірації та пневмотранспортування фільтри та фільтри-циклони є одними з енергоємних елементів всієї установки, тому правильний розрахунок і підбір фільтрів та фільтрів-циклонів має велике значення для економічного функціонування всієї системи.

Правила проектування аспіраційних установок [2] рекомендують підбирати фільтри та фільтри-циклони за питомим навантаженням  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ , яке визначається за формулою (1):

$$q = \frac{Q}{f_{\phi}} \quad (1)$$

де,  $q$  - питоме навантаження на фільтрувальний матеріал,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;

$Q$  - витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$f_{\phi}$  - площа фільтрувального матеріалу,  $\text{м}^2$ .

За визначеним питомим навантаженням  $q$  визначається опір фільтра чи фільтра-циклона за допомогою номограми (рис. 1).

Для фільтрів-циклонів РЦІ та РЦЕ рекомендується визначати аеродинамічний опір за такою формулою [1]:

$$H_{\phi} = 100 \left( \frac{Q_{\phi 0}}{60} \right)^{1.3} \quad (2)$$

де,  $Q_{\phi 0}$  - питоме навантаження на фільтрувальну поверхню,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ .

Аналіз наведених методик показує, що між наведеними методиками існує суттєва різниця.

Так, при витратах повітря  $Q = 10000 \text{ м}^3/\text{год}$  або  $2,77 \text{ м}^3/\text{с}$  та площі фільтра-циклона РЦЕ  $40,8-48 \text{ м}^2$  питоме навантаження становить

$$q = \frac{2,77}{40,8} = 0,068 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

За номограмою «Правил...» [2] аеродинамічний опір фільтра-циклона РЦЕ-40,8-48 становить  $H = 863 \text{ Па}$ .

За цих же умов опір фільтра-циклона РЦЕ-40,8-48, який розраховується за формулою (2) становитиме:

$$H_{\phi} = 100 \left( \frac{245,1}{60} \right)^{1.3} = 622 \text{ Па}$$

Різниця аеродинамічного опору фільтра-циклона за однакових умов, але розрахованих за різними методиками, становить  $\Delta H = 863 - 622 = 241 \text{ Па}$ .

Наведений приклад свідчить про недосконалість наведених методик.

Основним фільтруючим елементом у складі фільтрів і фільтрів-циклонів є фільтрувальний матеріал або фільтрувальна тканина, які відрізняються один від одного способом виготовлення. На даний час найбільшого розповсюдження набули фільтрувальні матеріали. Аналіз характеристик фільтрувальних матеріалів показав, що всі матеріали характеризуються повітропроникністю

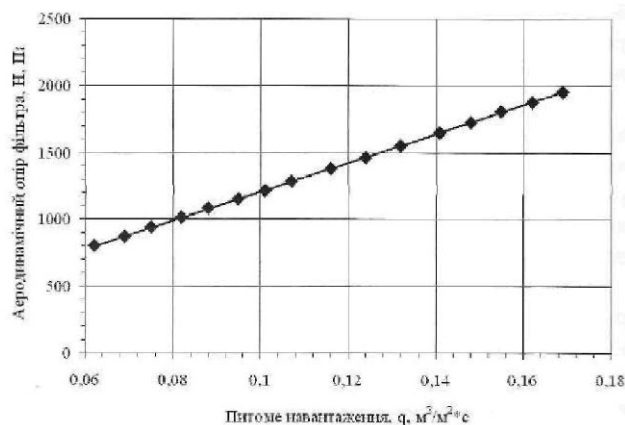


Рис. 1. Номограма для визначення аеродинамічного опору фільтрів [2]

( $\text{л}/\text{дм}^2 \cdot \text{хв.}$ ) та щільністю ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), які мають широкі межі коливання. Наведені методики розрахунку фільтрів і фільтрів-циклонів не враховують показників повітропроникності матеріалів та щільності, тому і властивості використаних фільтрувальних матеріалів також не враховуються.

Дослідженнями встановлено, що всі фільтрувальні матеріали мають різні аеродинамічні характеристики (рис. 2). Щільність впливає найменше на аеродинамічний опір фільтрувальних матеріалів, ніж повітропроникність матеріалів. Аеродинамічні характеристики фільтрувальних матеріалів залежать від структури матеріалу та від наявності каркасу чи його відсутності. Результати досліджень наведено на рис. 3.

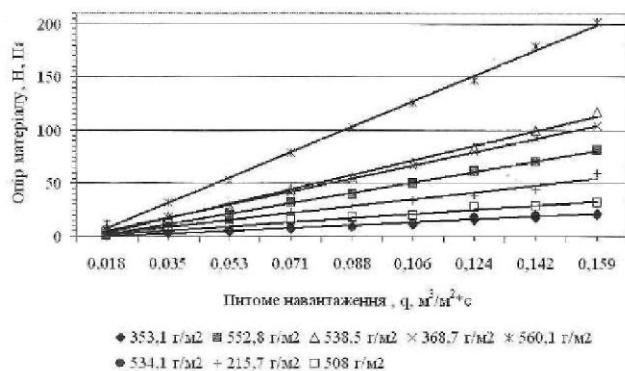
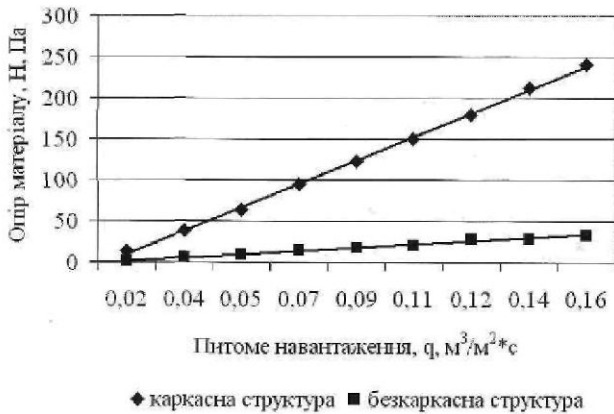


Рис. 2. Аеродинамічні характеристики безкаркасних фільтрувальних матеріалів різної щільності

На рис. 3 наведено порівняльні аеродинамічні характеристики двох фільтрувальних матеріалів, які мають щільність  $508 \text{ г}/\text{м}^3$ , але відрізняються наявністю каркасної структури. Крім цього, повітропроникність має суттєвий вплив на аеродинамічні характеристики матеріалів [3].

На основі досліджень аеродинамічних характеристик нетканних фільтрувальних матеріалів запропоновано



**Рис. 3. Аеродинамічні характеристики нетканних фільтрувальних матеріалів із щільністю 508 г/м<sup>2</sup> з каркасною та безкаркасною структурою**

емпіричну залежність для визначення аеродинамічного опору нетканних фільтрувальних матеріалів  $H_{фм}$ , Па, яка враховує повітропроникність матеріалів:

$$H_{фм} = 10 \cdot (200 \cdot q_{нов}^{-0,997}) \cdot \frac{Q}{f_{ф}} \quad (3)$$

де,  $q_{нов}$  – повітропроникність фільтрувального матеріалу при аеродинамічному опорі 200 Па, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с.

$\frac{Q}{f_{ф}}$  - питоме навантаження на фільтрувальну поверхню, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с.

Аеродинамічний опір будь-якого фільтра можна розглядати як опір безпосередньо фільтрувального матеріалу  $H$  та опір металевого корпусу, в якому встановлюються фільтрувальні рукави,  $H_c$ :

$$H_{фц} = H_{фм} + H_c \quad (4)$$

Для фільтрів типу РЦІ та РЦЕ металевий корпус є циклоном, аеродинамічний опір якого можна описати залежністю:

$$H_c = \zeta \frac{\rho \cdot V_{вх}^2}{2} \quad (5)$$

де,  $\zeta$  – коефіцієнт опору;

$V_{вх}$  - швидкість повітря у вхідному патрубку циклона, м/с;

$\rho$  - густина повітря,  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

Формулу (4) можна записати в такому вигляді:

$$H_{фм} = 10 \cdot (200 \cdot q_{нов}^{-0,997}) \cdot \frac{Q}{f_{ф}} + \zeta \frac{\rho \cdot V_{вх}^2}{2} \quad (6)$$

Недоліком даної методики розрахунку є необхідність визначення коефіцієнта місцевого опору  $\zeta$ , який залежить від конструкції фільтра чи фільтра-циклона,

Порівняльний аналіз наведено методики розрахунку із фактичними даними роботи аспіраційної мережі каменевідбірника РЗ-БКТ-100 та концентратора А1-БЗК-9 показав ефективність наведеної методики.

Досліджувана аспіраційна установка обслуговувалася фільтром-циклоном РЦЕ-40,8-48, в якому було використано німецький фільтрувальний матеріал марки R-K-5-1067201, повітропроникність якого становила 200 л/дм<sup>2</sup>·хв. при 200 Па. Фактичні заміри витрат повітря та аеродинамічного опору наведено в табл. 1.

Розрахунок аеродинамічного опору фільтра-циклона РЦЕ-40,8-48 за формулою (6) при фактичних питомих навантаженнях наведено в табл. 2. Коефіцієнт  $\zeta$ , фільтра-циклона РЦЕ-40,8-48 орієнтовно прийнято  $\zeta = 5$ , як для циклонів 4БЦШ, оскільки вони мають схожу будову.

Адекватність отриманих вибірок розрахункового та фактичного аеродинамічного опору перевіряли за F-критерієм Фішера. Розрахункове значення F-критерія Фішера становило 1,06.

$$F_p = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{60647,6}{57777,4} = 1,06$$

Табличне значення F-критерія Фішера при ступені вільності  $f = 11$  становило. Порівняння розрахункового значення F-критерія Фішера із табличним показує, що розрахункове значення менше за табличне й умова адекватності  $F_p < F_m$  виконується:

$$F_p = 1,06 < F_m = 2,8$$

Отже, запропонована методика розрахунку фільтрів і фільтрів-циклонів може бути використана під час проектування аспіраційних і пневмотранспортних установок.

**Таблиця 1. Фактичний аеродинамічний опір фільтра-циклона РЦЕ-40,8-48 при роботі аспіраційної мережі каменевідбірника РЗ-БКТ-100 та концентратора А1-БЗК-9 на чистому повітрі**

№ п/п	Витрати повітря, Q, м³/год.	Опір фільтра-циклона, Н, Па	Питоме навантаження, q, м³/м²·с
1	2476	100	0,017
2	2878	100	0,02
3	4187	400	0,029
4	4187	400	0,029
5	5406	500	0,037
6	7253	500	0,049
7	7253,5	500	0,049
8	7812	550	0,053
9	8375	800	0,057
10	8384	750	0,057
11	9364	800	0,064
12	9950	700	0,068

**Таблиця 2. Розрахункові значення аеродинамічного опору фільтра циклона РЦЕ-40,8-48**

Номер вимірювання	Опір фільтрувального матеріалу, Па	Опір циклона, Па	Опір фільтра-циклона, Па
1	112	19,4	131,4
2	161,9	26,3	188,2
3	235,6	55,6	291,3
4	235,6	55,6	291,3
5	304,2	92,7	397
6	408,2	167	575,2
7	408,2	167	575,3
8	439,7	193,7	633,5
9	471,4	222,7	694,1
10	471,9	223,1	695,1
11	527	278,4	805,5
12	560	314,3	874,4

## ЛІТЕРАТУРА

1. Веселов С.А., Веденьев В.Ф. Вентиляционные и аспирационные установки предприятий хлебопродуктов. - М.: «КолосС», 2004. - 240 с.
2. Правила проектування аспіраційних установок підприємств зі зберігання та переробки зерна. - Одеса-Київ, 1995. - 132 с.
3. Харченко Є.І. та ін. Аеродинамічний опір нетканних фільтрувальних матеріалів / Є.І. Харченко, Є.А. Дмитрук, А.В. Шаран // Ukrainian Food Journal. Vol. 3, 2013, is. 3.-P. 412-420.