

Розрахунок та підбір фільтрів-циклонів

Харченко Є.І., канидадт технічних наук, Шаран А.В., канидадт технічних наук

Національний університет харчових технологій, м.Київ, Україна

В статті наведено методику розрахунку та підбору фільтрів-циклонів на чистому повітрі. Запропоновано нову залежність для визначення аеродинамічного опору фільтрів-циклонів. Наведено порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових даних.

Ключові слова: фільтрувальний матеріал, аеродинамічний опір, фільтр-циклон, питоме навантаження

В статье приведена методика расчета и подбора фильтров-циклонов на чистом воздухе. Предложена новая зависимость для определения аэродинамического сопротивления фильтров-циклонов. Приведен сравнительный анализ экспериментальных и расчётных данных.

Ключевые слова: фильтровальный материал, аэродинамическое сопротивление, фильтр-циклон, удельная нагрузка

The article describes the method of calculation and selection of filter-tsiklonov in clean air. A new relationship to determine aerodynamic drag of filter tsyklonov. A comparative analysis of the experimental and calculated data.

Keywords: filter material, air resistance, conical filter, unit load

Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна наводять спрощену методику розрахунку та вибору фільтрів-циклонів без урахування аеродинамічних характеристик фільтрувальних матеріалів [5]. Тому виникає необхідність розроблення більш детальнішої методики розрахунку аеродинамічного опору фільтрів-циклонів та їх підбору.

В роботах [2, 6] запропонована емпірична формула розрахунку аеродинамічного опору фільтрувальних матеріалів, яка має наступний вид:

$$H_{ф.м.} = (200,1 \cdot B_n^{-0,997}) \cdot q \quad (1)$$

де, $H_{ф.м.}$ – аеродинамічний опір фільтрувального матеріалу, Па; B_n – повітропроникність фільтрувального матеріалу, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; q – фактичне питоме навантаження на фільтрувальну поверхню, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Недоліком формули 1 є її складність для розрахунків без застосування комп'ютерної техніки. Подальшими дослідженнями отримано інший вид формули (1), яка має більш простіший вид для розрахунків і враховує тиск, при якому отримано значення повітропроникності фільтрувального матеріалу:

$$H_{ф.м.} = \frac{200 \cdot q}{B_n} \quad (2)$$

Повітропроникність переважно усіх технічних фільтрувальних матеріалів визначається при величині тиску 200 Па, але допускається визначення повітропроникності при перепаді тиску 50 і 100 Па, тому формулу 2 можна подати в наступному загальному вигляді:

$$H_{\phi.м.} = \frac{P_n \cdot q}{B_n} \quad (3)$$

де, P_n – величина тиску, при якому визначено повітропроникність фільтрувального матеріалу, Па.

На рисунку 1 наведено порівняння експериментальних даних фільтрувального матеріалу із повітропроникністю $0,24 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

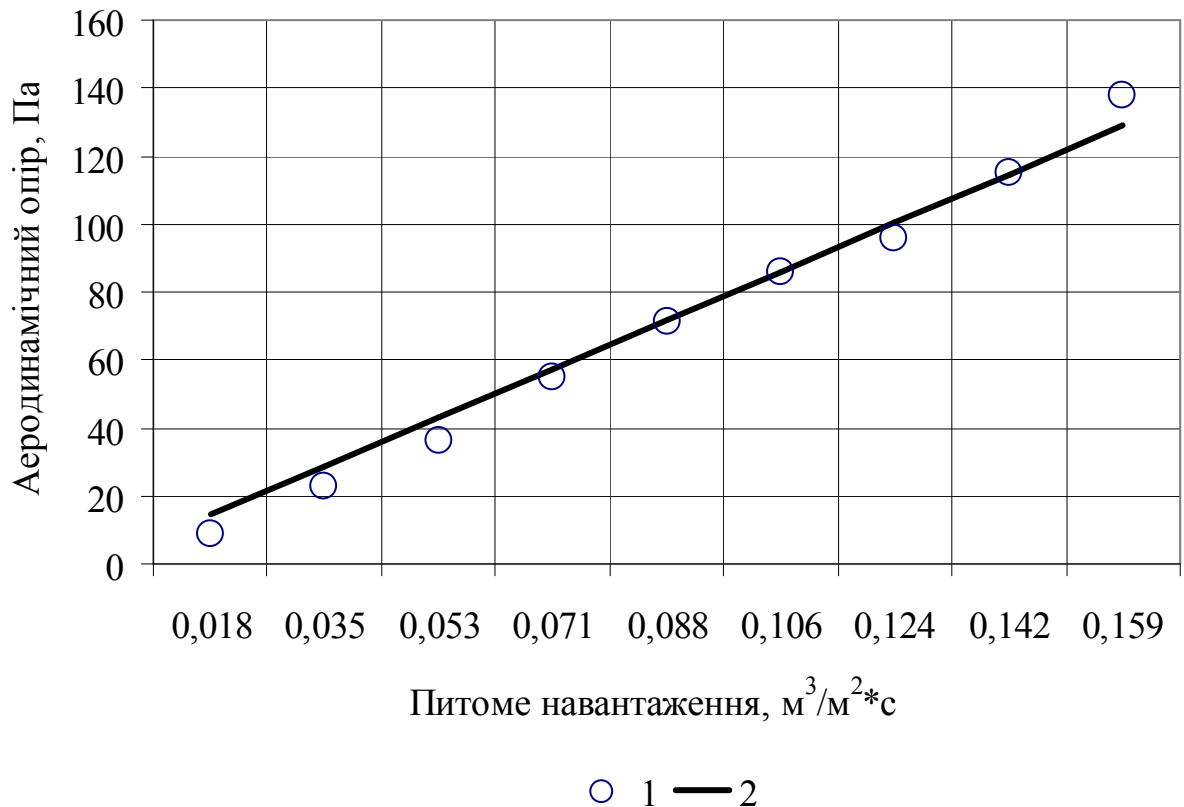


Рис. 1. Аеродинамічний опір нетканного фільтрувального матеріалу: 1 – експериментальні дані; 2 – дані розраховані за формулою 2.

Математична перевірка адекватності за F-критерієм Фішера отриманої розрахункової вибірки та експериментальної вибірки даних показала, що розрахункове значення критерія Фішера становить $F_p = 1,2$, а табличне значення критерія Фішера становить $F_t = 3,17$. Умова $F_p < F_t$ дотримується, тому є підстави вважати, що формула 2 адекватно описує залежність аеродинамічного опору фільтрувального матеріалу від питомого навантаження та повітропроникності.

Повітропроникність нетканних фільтрувальних матеріалів коливається в широких межах. Для точного розрахунку аеродинамічного опору фільтрувального матеріалу необхідно подавати значення повітропроникності без заокруглень, що допускається для фільтрувальних матеріалів. Орієнтовні значення повітропроникності фільтрувальних матеріалів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики деяких дослідних нетканних фільтрувальних матеріалів

№ п/п	Щільність, г/м ²	Повітро-проникність, В _п	Виробник	Тип матеріалу	Артикул
1	438	0,09 м ³ /м ² ·с	УкрНТЕК	Каркасний	МИФ 450 КМ
2	527	0,24 м ³ /м ² ·с	SIMATEK	Каркасний	R-K-5-1022200
3	400	0,45 м ³ /м ² ·с	SIMATEK	Каркасний	R-K-5-1001200
4	537	0,33 м ³ /м ² ·с	SIMATEK	Каркасний	R-K-5-1012200
5	400	0,29 м ³ /м ² ·с	SIMATEK	Каркасний	R-K-5-1067201
6	470	0,33 м ³ /м ² ·с	SIMATEK	Каркасний	R-K-5-1012203

Під час проходження повітря через фільтри-циклони, аеродинамічний опір створюється металевими частинами фільтрів-циклонів, як у звичайних циклонах, а також фільтрувальними матеріалами [3, 4]. Це дає підстави записати в загальному вигляді формулу для визначення аеродинамічного опору [4]:

$$H_{ф.ц.} = H_{ц.} + H_{ф.м.} \quad (4)$$

де, $H_{ф.ц.}$ – аеродинамічний опір фільтра-циклона, Па; $H_{ц.}$ – аеродинамічний опір циклона (корпусу фільтра-циклона), Па; $H_{ф.м.}$ – аеродинамічний опір фільтрувального матеріалу, Па.

Аеродинамічний опір корпусу фільтра-циклона можна визначити за формулою:

$$H_{ц.} = \xi \frac{\rho \cdot V_{вх}^2}{2} \quad (5)$$

де, ξ – коефіцієнт місцевого опору фільтра-циклона без врахування опору фільтрувального матеріалу; ρ – густина повітря, кг/м³; $V_{вх}$ – швидкість повітря у входному патрубку фільтра циклона, м/с.

Тоді формулу (4) можна записати в наступному вигляді:

$$H_{ф.ц.} = \xi \frac{1,2 \cdot V_{вх}^2}{2} + \frac{200 \cdot q}{B_n} \quad (6)$$

Орієнтовно коефіцієнт місцевого опору фільтрів-циклонів можна прийняти рівним $\xi = 5$, але точніші значення коефіцієнтів місцевого опору корпусів фільтрів-циклонів потребують додаткових досліджень.

Розрахункове питоме навантаження в рукавних фільтрах-циклонах q_p (м³/м²·с) може бути визначено за наступною формулою [1, 3, 4]:

$$q_p = \frac{q_n C_1 C_2 C_3 C_4 C_5}{60} \quad (7)$$

де, q_n – нормативне питоме навантаження, яка залежить від виду пилу і її здатності до агрегації, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$; C_1 – коефіцієнт, який враховує особливості регенерації фільтрувальних матеріалів; C_2 – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилу та питоме навантаження; C_3 – коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилу в повітрі; C_4 – коефіцієнт, який враховує вплив температури повітря; C_5 – коефіцієнт, який враховує вимоги до якості очищення повітря.

Для аспіраційних та пневмотранспортних установок зернопереробних підприємств значення нормативного питомого навантаження на фільтрувальну поверхню коливається від $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$ до $4,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$ ($0,041 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ до $0,075 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) [1]. Коефіцієнт C_1 для сучасних фільтрів-циклонів з імпульсною продувкою рукавів приймається рівним 1.

Коефіцієнт C_2 вибирається за рис. 2 або може бути розрахованим за формулою 8:

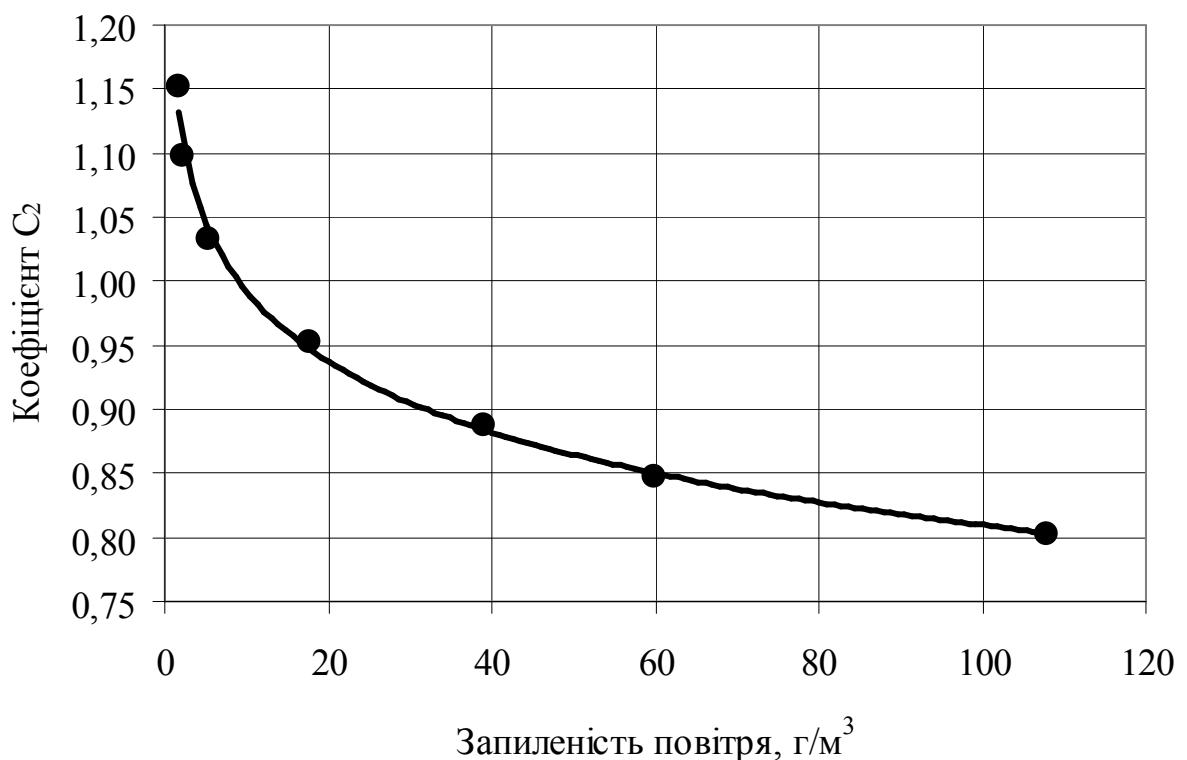


Рис. 2. Залежність коефіцієнта C_2 від концентрації пилу.

$$C_2 = -0,079 \ln c + 1,1734 \quad (8)$$

де, c – концентрація пилу, $\text{г}/\text{м}^3$.

Для фільтрів-циклонів зернопереробних підприємств запиленість повітря на вході у апарат приймається орієнтовно $20 \text{ г}/\text{м}^3$.

Значення коефіцієнта C_3 вибирається із таблиці 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта C_3 , який враховує вплив дисперсного складу пилу

[4]

Медіанний розмір частинок пилу, мкм	Коефіцієнт C_3
Більше 100	1,2...1,4
50...100	1,1
10...50	1

3...10	0,9
Менше 3	0,7...0,9

Розмір частинок пилу, який надходить у фільтри-циклони аспіраційних та пневмотранспортних установок коливається в середньому від 50 до 250 мкм.

Значення коефіцієнта C_4 може бути визначено за даними табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта C_4 , який враховує вплив температури t° [4]

t°	20	40	60	80	100	120	140	160
C_4	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,7

Температура повітря в аспіраційних установках коливається в широких межах і в залежності від пори року. В аспіраційних установках зерноочисних відділень борошномельних підприємств в холодний та перехідний період року температура повітря коливається від 5 до 20 $^\circ\text{C}$, в теплий період року від 20 до 30 $^\circ\text{C}$. В розмелювальних відділеннях температура повітря в аспіраційних та пневмотранспортних установках в холодний та перехідний періоди року коливається від 10 до 25 $^\circ\text{C}$, а в теплий – від 25 до 45 $^\circ\text{C}$ [7]. Для орієнтовних розрахунків фільтрів-циклонів можна прийняти середнє значення температури 20 $^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт C_5 приймається рівним 1 за умови, якщо концентрація пилу на виході не перевищує 30 мг/м³. Для зернопереробних підприємств гранично допустима концентрація пилу в аспіраційних і пневмотранспортних установках становить 4 мг/м³ для зерноочисних відділень борошномельних і круп'яних заводів і 6 мг/м³ для розмелювальних відділень борошномельних заводів та луцильних відділень круп'яних заводів. За цих умов коефіцієнт C_5 становить 0,95.

Фільтрувальна поверхня апарата (м²) розраховується за формулою [1, 4]:

$$F_\phi = \frac{Q}{3600q_p} \quad (9)$$

де, Q – витрати повітря, м³/год; q_p – розрахункове питоме навантаження на фільтрувальну поверхню, м³/м²·с.

Після розрахунку площі фільтрувальної поверхні фільтра підбирається апарат відповідно до типорозмірного ряду, а питоме навантаження на фільтрувальну поверхню уточнюється виходячи із фактичної площі фільтрувальної поверхні вибраного фільтра-циклона.

Дана методика розрахунку запропонована для розрахунку аеродинамічного опору фільтрів-циклонів, які працюють на чистому повітрі (не запиленому), що можливе під час пусконаладжувальних робіт систем аспірації та пневмотранспорту. Формулу (6) пропонується використовувати для розрахунку аеродинамічного опору фільтрів-циклонів типу РЦІЕ під час проектування аспіраційних установок.

Аеродинамічний опір фільтрів-циклонів під час їх роботи на запиленому повітрі має складніші методики розрахунку і детальніше наведені в роботах [1, 3, 4]

Література:

1. Вальдберг, А.Ю. Фильтры для очистки промышленных газов: Учеб. пособие / А.Ю. Вальдберг, В.П. Александров. – М.: МГУИЭ, 2009. – 204 с.
2. Дмитрук, Є.А. Альтернативна методика розрахунку аеродинамічного опору фільтрів / Є.А.Дмитрук, Є.І.Харченко, А.В.Шаран //Хранение и переработка зерна, №2, 2014. – С.40-41.
3. Коузов, П.А. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. / П.А. Коузов, А.Д. Мальгин, Г.М. Скрыбин. – СПб.: Химия, 1993. – 320 с.
4. Мазус, М.Г. Фильтры для улавливания промышленных пылей / М.Г.Мазус, А.Д.Мальгин, М.Л.Моргулис. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
5. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна – Одеса-Київ: Мін-во сільського господарства та продовольства України, 1995. – 129 с.
6. Харченко, Є.І. та ін. Аеродинамічний опір нетканих фільтрувальних матеріалів / Є.І.Харченко, Є.А.Дмитрук, А.В.Шаран // Ukrainian Food Journal. Vol. 3, 2013, is. 3. – Р. 412–420.
7. Харченко, Є.І. Удосконалення технології виробництва борошна з використанням спрямованих повітряних потоків. Дис. канд. техн .наук. / Є.І. Харченко. – К.: НУХТ, 2011. – 149 с.