

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОКУ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ З ПОЛІПРОПІЛЕНОВИХ ВОЛОКОН

(Представлено д.т.н., проф. В.О. Бойко)

Розглянуто теорію розрахунку опору поліпропіленових фільтруючих матеріалів. Згідно експериментальним даним встановлено поправочний коефіцієнт.

Останнім часом для виготовлення фільтруючих елементів протипилових респіраторів використовуються фільтруючі матеріали (ФМ) з поліпропіленових волокон, які мають ряд переваг перед традиційними матеріалами ФП (фільтри Петрянова). Поліпропіленові матеріали становлять собою двохшарову полотнину термоскріплених ультратонких поліпропіленових волокон діаметром 1...8 мкм, виготовлені методом аеродинамічного формування з розплаву поліпропілену.

Найбільш істотними параметрами, що визначають властивості волокнистих фільтруючих матеріалів, є опір повітряному потоку, ефективність очищення повітря і пилоємність. Величина опору є важливою експлуатаційною характеристикою фільтрів, яка визначає умови праці робітників та впливає на час експлуатації фільтра. Крім того, знання величини опору дозволяє розрахувати оптимальний радіус волокон матеріалу.

На сьогоднішній день теорія розрахунку опору фільтруючих матеріалів розроблена досить докладно. Однак для фільтруючих матеріалів з поліпропіленових волокон дані, отримані безпосереднім застосуванням відомих формул, не відповідають експериментальним. Це пояснюється тим, що вся теорія розрахунку опору розроблялась для умов монодисперсного розподілу волокон матеріалу, а розглянуті фільтруючі матеріали мають полідисперсний розподіл.

Для більшості пористих фільтрів характерним є режим в'язкої течії газу ($Re < 1$), коли виконується основний лінійний закон фільтрації Дарсі, тобто величина Δp пропорційна швидкості газу і товщині шару матеріалу [1].

У роботі [2] для фільтрів, складених з рівнобіжних циліндричних волокон і розташованих перпендикулярно потоку, для розрахунку опору пропонується формула:

$$\Delta p = \frac{4v\eta\beta H}{a^2(-k - 0,5 \ln \beta)}, \quad (1)$$

де v – лінійна швидкість течії газу, м/с; η – в'язкість газу, $\text{м}^2/\text{з}$; H – товщина фільтруючого матеріалу, м; a – радіус волокон, м; k_0 – коефіцієнт опору; β – щільність упакування фільтруючого матеріалу; k – поправочний коефіцієнт.

Відповідно до запропонованої Девієном класифікації при описі умов обтікання газами різних тіл поліпропіленові фільтруючі матеріали відносяться до режиму течії газу з ковзанням ($10^{-3} < Kn$ – число Кнудсена $< 0,25$, де $Kn = \lambda/a$, λ – середня довжина вільного пробігу газових молекул, a – характеристичний розмір обтічного тіла) [3].

На підставі узагальнення ряду теоретичних і експериментальних досліджень, для розрахунку коефіцієнта опору “віялової” моделі волокнистих фільтрів в умовах течії газу з ковзанням Глушков запропонував формулу [3]:

$$\Delta p = \frac{4v\eta\beta H(1 + \xi a^{-1})}{a^2[-0,75 - 0,5 \ln \beta\gamma + \beta\gamma - 0,25\beta^2\gamma^2 + \xi a^{-1}([-0,5 - 0,5 \ln \beta\gamma + 0,5\beta^2\gamma^2])]}, \quad (2)$$

де γ – структурний коефіцієнт (для “віялової” моделі $\gamma = 2/\pi$); ξ – коефіцієнт ковзання газу.

У той же час для реальних фільтруючих матеріалів з невисокою щільністю упакування, коли членами $\gamma\beta$ і $\gamma^2\beta^2$ можна зневажити при $Kn \ll 1$, а шляхом розкладання в ряд по ξa^{-1} опір можна визначити за формулою [3]:

$$\Delta p = \frac{4v\eta\beta H}{a^2(-k - 0,5 \ln \beta + 1,15Kn)}. \quad (3)$$

Використовувати вираз (3) для оцінки опору поліпропіленових фільтруючих матеріалів неможливо, тому що виникають труднощі при виборі розрахункового радіуса. Відомо, що радіуси волокон даних матеріалів розподіляються за нормальним законом [4]. Тому необхідно перевірити, чи можливо при розрахунку опору використовувати математичне чекання. З іншого боку, опір фільтруючих матеріалів залежить тільки від загальної довжини волокон і не залежить від радіуса волокон [2]. Отже, для

розрахунку опору можливо використовувати еквівалентний радіус волокон, які визначаються, виходячи з опору фільтруючого матеріалу і щільності упакування.

Привівши вираз (3) до вигляду:

$$m / \Delta p = A \ln \beta + B,$$

де $m = 4v\eta\beta H$; $A = -0,5a^2$; $B = -a^2(k - 1,15Kn)$, визначимо еквівалентний радіус і поправочний коефіцієнт.

Визначення опору фільтруючих матеріалів проводилося відповідно до ГОСТу 10188-74 “Коробки фильтрующие к противогазам и респираторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку” і НД на продукцію. Дослідження проводилися в лабораторії “Технічної експертизи засобів колективного та індивідуального захисту працюючих” при Національній гірничій академії України.

На рис. 1 наведено устрій для визначення опору матеріалів. Він працює таким чином: стисле повітря надходить від магістралі 1 на вхід в устрій і очищується від аерозольних часток у фільтрі 3. Для зниження тиску та підтримки його постійним, у лінію включені стабілізатор тиску 4 з манометром 5. Регулювання витрати повітря, яке надходить на випробовуваний виріб (матеріал), регулюється вентилям 6, а контроль витрати повітря здійснюється витратоміром 7. Далі повітря подається у випробувальну камеру 8 зі встановленим в ній зразком, опір вимірюється мікроманометром 9. Лінійну швидкість фільтрації змінювали в межах 0,3–4 см/с.

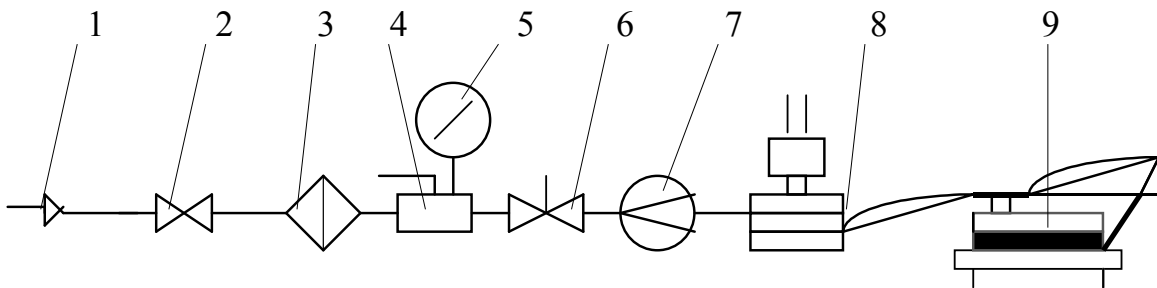


Рис. 1. Схема устрою для визначення опору фільтрів і фільтруючих матеріалів:
1 – вхід від лінії стислого повітря, 2, 6 – вентиль, 3 – фільтр очищення повітря,
4 – стабілізатор тиску, 5 – манометр, 7 – витратомір, 8 – випробувальна камера,
9 – мікроманометр

Було підібрано по декілька зразків поліпропіленових матеріалів (НФП, Элефлен) різної щільності упакування в діапазоні від 0,003 до 0,007, площею 50 см². Для кожного зразка вимірювалось від 5 до 10 крапок. На рис. 2 приведена залежність ($\Delta p (\ln(\beta))$), яка має лінійний вигляд. Значення А і В знаходились за методом найменших квадратів. В результаті отримані такі значення: гідродинамічний радіус $a = 2,5$ мкм, поправочний коефіцієнт $k = 1,5$. Погрішність розрахованих значень з використанням отриманих з довірчою імовірністю 95 % не перевищує 5 %. Це свідчить про ймовірність проведених досліджень.

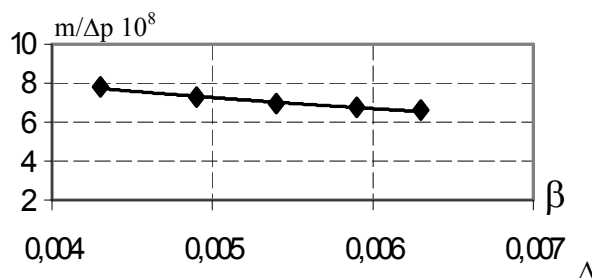


Рис. 2. Графік, який показує емпіричну залежність $m/\Delta p$ від логарифма щільності упакування для поліпропіленових матеріалів

Після підстановки поправочного коефіцієнта, вираз (3) приймає вигляд:

$$\Delta p = \frac{4v\eta\beta H}{a^2[-1,5 - 0,5 \ln \beta + 1,15Kn]} \quad (4)$$

В результаті досліджень встановлено, що еквівалентний радіус волокон на 25 % більше математичного сподівання.

На рис. 3 наведена залежність опору від швидкості фільтрації. Видно, що експериментальні значення добре збігаються з прямою, отриманою за виразом (5), а пряма, отримана за виразом (3), має занижені показники опору.

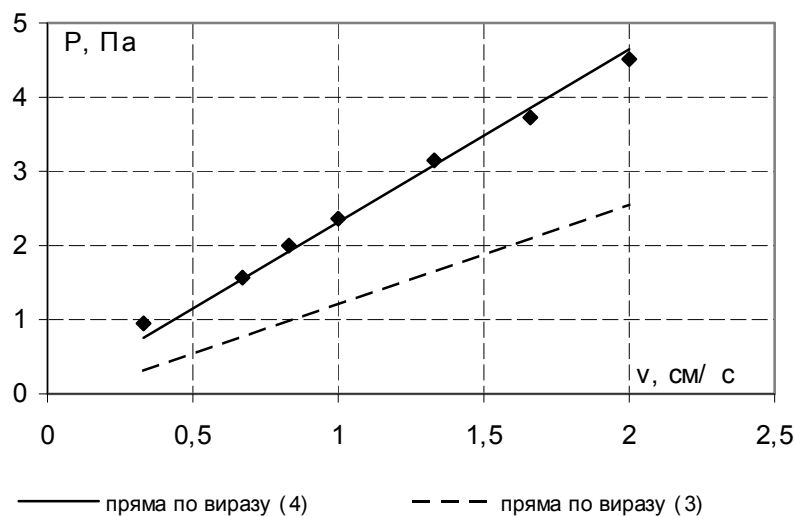


Рис. 3. Залежність опору від швидкості повітряного потоку

Таким чином, у результаті дослідження отримано вираз, за яким можливо розраховувати опір поліпропіленових матеріалів. Крім того, встановлено, що гідродинамічний радіус, відрізняється від середнього на 25 %, при цьому поправочний коефіцієнт дорівнює 1,5.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ужов В.Н, Мягков Б.И. Очистка промышленных газов фильтрами. – М.: Химия, 1970. – 321 с.
2. Ушакова Е.Н., Козлов В.И., Петрянов И.В. Гидродинамика фильтрующих материалов ФП// Коллоид. журн. – 1973. – № 1. – С. 99–104.
3. Огородников Б.И. Сопротивление волокнистых фильтров ФП в условиях течения газов со скольжением и в переходном режиме // Коллоид. журн. – 1976. – Т. 38. – № 1. – С. 183–187.
4. Разработка фильтрующего материала для средств индивидуальной защиты органов дыхания от промышленной пыли, технология производства и соответствующего оборудования: Отчет о НИР/МПК Фильтр. – № ГР 01950026594. – Горловка, 1996.

ЧЕБЕРЯЧКО Сергій Іванович – аспірант кафедри аерології та охорони праці Національної гірничої академії України.

Наукові інтереси:

– проблеми фільтруючих елементів респіраторів.

Тел. 45-99-96. E-mail aot@nmuu.dp.ua

Подано 25.09.2001

Чеберячко С.І. Дослідження опору повітряному потоку фільтруючих матеріалів з поліпропіленових волокон

Чеберячко С.И. Исследование сопротивления воздушному потоку фильтрующих материалов из полипропиленовых волокон

Cheberyachko S.I. Research of resistance to an air flow of filtering materials from polypropylene fibres

УДК 541.182.2:066.067.12

Исследование сопротивления воздушному потоку фильтрующих материалов из полипропиленовых волокон / С.И. Чеберячко

Рассмотрена теория расчета сопротивления полипропиленовых фильтрующих материалов. Согласно экспериментальным данным установлен поправочный коэффициент.

УДК 541.182.2:066.067.12

Research of resistance to an air flow of filtering materials from polypropylene fibres / S.I. Cheberyachko

The theory account of resistance of polypropylene filtering materials is considered. According to the experimental data for these materials the correction factor is installed.