ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОМІСТКОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРОТИПИЛОВИХ РЕСПІРАТОРІВ

С. І. Чеберячко¹, Ю. І. Чеберячко¹, Д. І. Радчук¹, Д. С. Пустовой^{1*}

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

*E-mail для листування: pustovoi.d.s@gmail.com

Отримано: 3 Березня 2020; Прийнято: 30 Березня 2020

Цитувати як: Чеберячко, С.І., Чеберячко, Ю.І., Радчук, Д.І., Пустовой, Д.С. (2020). Експериментальне дослідження пиломісткості фільтрувальних матеріалів для протипилових респіраторів. *Проблеми охорони праці в Україні*, 36(1), 12–17.

Метою цієї роботи є проведення експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей фільтрувальних матеріалів для виготовлення двошарових фільтрів підвищеної пиломісткості протипилових респіраторів для умов експлуатації вугільних шахт. Пиломісткість фільтрувальних матеріалів для виготовлення двошарових фільтрів визначали при концентрації пилу близько 400 мг/м³, до досягнення кінцевого перепаду тиску 500 Па (відповідно до вимог ДСТУ EN 143 для фільтрів 2-го класу захисту). Використовували фільтри «АФА ВП-10» діаметром 36 мм; лабораторні ваги «ВЛО 200»; електронний секундомір типу «HS43»; перепад тиску на фільтрувальних коробках контролювали за допомогою компенсаційного мікроманометру «МКВ 250». Встановлено, що для підвищення пиломісткості протипилових респіраторів їхні фільтри слід виконувати комбіновано з фільтрувальних матеріалів з різними фізико-хімічними властивостями для забезпечення рівномірного розподілу пилового осаду за товщиною фільтрувального шару. Доведено, що збільшення терміну захисної дії протипилових респіраторів може бути забезпечено шляхом використання ефекту автофільтрування, тобто коли осілий пиловий шар на поверхні фільтру самостійно затримує частинки пилу. Отримано залежність перепаду тиску на фільтрі протипилових респіраторів від зміни щільності упакування волокон з пилом, яка дозволяє визначити раціональні фізико-хімічні властивості матеріалів фільтрувальних шарів фільтра для забезпечення максимальної пиломісткості. Було виявлено, що найменше збільшення опору повітряному потоку багатошарового фільтра спостерігається при об'єднанні шарів фільтра з щільністю упакування волокон 30 і 60 г/см³ відповідно. Встановлені експериментальні залежності дозволяють знайти раціональне поєднання фільтрувальних шарів для забезпечення максимальної пиломісткості фільтра.

Ключові слова: протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, запиленість, фізико-хімічні властивості матеріалу.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF DUST POWER OF FILTERING MATERIALS FOR ANTI-DUST RESPIRATORS

S. Cheberiachko¹, Y. Cheberiachko¹, D. Radchuk¹, D. Pustovoi^{1*}

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Corresponding email: pustovoi.d.s@gmail.com

Received: 3 March 2020; Accepted: 30 March 2020

Cite as: Cheberiachko, S., Cheberiachko, Y., Radchuk, D., Pustovoi, D. (2020). Experimental research of dust power of filtering materials for anti-dust respirators. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 36(1), 12–17.

The purpose is to carry out experimental investigations of the physicochemical properties of filtering materials for the manufacture of two-layer filters of high dust capacity of dust respirators for operating conditions of coal mines. The dust capacity of filter materials for the manufacture of two-layer filters was determined at a dust concentration of about 400 mg/m³, with a final pressure drop of 500 Pa (according to the requirements of DSTU EN 143 for filters of the 2nd class of protection). "AFA VP-10" filters with a diameter of 36 mm were used; "VLO 200" laboratory scales; "HS43" electronic stopwatch; the pressure drop on the filter boxes was monitored using an "MKV 250" compensation micro manometer. It is established that in order to increase the dust capacity of dust filter respirators, their filter should be combined with filter materials with different physicochemical properties to ensure a uniform distribution of dust sediment over the thickness of the filter layer. It is proved that the increase in the duration of the protective action of dust suppressors is possible due to the effect of autofiltration, when the settled dust layer on the filter surface independently delays aerosol particles. The dependence of the differential pressure on the filter of the dust respirator on the change in the density of packing of fibres with dust is obtained, which allows determining the rational physicochemical properties of the materials of the filter layers of the filter for maximum dust intensity. It was found that the smallest increase in the air flow resistance of the multilayer filter was recorded by combining the filter layers with the fibre packing density of 30 and 60 g/cm³, respectively. The experimental dependences are established that will allow finding a rational combination of filter layers to ensure maximum dust capacity of the filter.

Keywords: anti-dust respirator, pressure drop, breathing resistance, dustiness, physical and chemical properties of the material.

1. Постановка проблеми.

Під час видобутку вугілля очисними комбайнами у гірничих виробках подекуди виділяється близько 1 г/м³ пилу [1]. При цьому для захисту працівників, як правило, використовуються фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання, оскільки інженерні засоби з пиловидалення: зрошення, пилозволочення, вентиляція в таких випадках не забезпечують зниження запиленості повітря робочої зони до безпечних рівнів. Однак, навіть використання фільтрувальних респіраторів в таких умовах пов'язане зі складнощами забезпечення необхідного терміну захисної дії. Це пояснюється

високою концентрацією пилу (≥ 500 мг/м³) та його «цементністю» через взаємодію з вологою, внаслідок чого відбувається швидке зростання опору дихання. Вихід із такої ситуації полягає у розробці багатошарових фільтрів з різною поверхневою щільністю фільтрувальних шарів, що забезпечить рівномірний розподіл пилового осаду за товщиною фільтра.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Загальновизнаний шлях розв'язання цієї проблеми – виготовлення фільтрів, використовуючи фільтрувальні матеріали з різною щільністю упакування волокон за

товщиною. Це дає змогу мінімізувати зростання перепаду тиску під час уловлювання пилу [2]. Якщо фільтр має однорідну товщину, то пиловий осад розподіляється нерівномірно. Найбільше пилу концентрується на зовнішньому шарі фільтра, унаслідок чого значно зменшується ресурс його використання. Змінюючи щільність упакування волокон фільтрувального матеріалу можна значно підвищити пиломісткість і термін експлуатації фільтра. Однак у методиках розрахунку багат шарових фільтрів умови їх експлуатації не враховуються [3–5]. Отже, постає завдання визначити основні фізико-хімічні властивості фільтрувальних матеріалів, з яких можна виготовити багат шарові фільтри з рівномірним розподілом пилового осаду.

Більшість науковців, досліджуючи фізико-хімічні властивості матеріалів, виходили тільки із зазначеної ефективності захисту, яку має забезпечити безпосередньо фільтрувальний респіратор. Наприклад, у роботі [3] автори з формул для оцінки перепаду тиску зразка фільтрувального матеріалу й коефіцієнта проникнення виділили спільну частину, яку назвали сумарною поверхнею волокон фільтрувального матеріалу, і встановили зв'язок між цими двома величинами. Це й дало змогу отримати раціональні параметри фільтрувального шару. Інші вчені розраховували оптимальний радіус двошарових фільтрів для встановлення механізму осідання пилових частинок на волокні, що дало змогу врахувати їх вплив на коефіцієнт проникнення та опір диханню [4, 5]. Також є праці, у яких розглядаються питання підвищення пиломісткості фільтрів за збереження необхідної ефективності фільтрації. Деякі

науковці пропонують змінювати щільність упакування волокон за товщиною фільтра [6], проте розрахунки ґрунтуються тільки на концентрації пилу в робочій зоні.

3. Постановка завдання та його вирішення.

Мета роботи – визначити фізико-хімічні властивості фільтрувальних матеріалів для виготовлення двошарових фільтрів підвищеної пиломісткості проти пилових респіраторів для умов експлуатації вугільних шахт.

3.1. Матеріали й методи дослідження.

Для експериментального дослідження були використані вісім різноманітних фільтрувальних матеріалів для виготовлення першого (далі – зовнішнього) фільтра (рисунк 1). Їх характеристики наведені в таблиці 1.

Рисунок 1 – Загальний вигляд зразків випробувальних фільтрувальних матеріалів для зовнішнього фільтрувального шару фільтра

Таблиця 1 – Характеристика матеріалу для зовнішніх фільтрів проти пилового респіратора

№ зразка	Матеріал	Поверхнева щільність, г/м ²	Діаметр волокна, мкм	Товщина, мм
Зразок № 1	Матеріал нетканый текстильный без покрытия на полимерной основе (Спанбонд) (ТУ У 17.5-33387508-002:2011)	90,0	2,5 – 12	5
Зразок № 2	Матеріал вуглецевий нетканый Карбопон В-Актив-200-65А	290,0	6 – 10	3
Зразок № 3	Полотно голкопробивное сорбционно-фильтрующее СФМ-ОП (ТУ У 33.1-01530125-016:2007)	400,0	15 – 20	4
Зразок № 4	Полотно неткане голкопробивное фильтрувальне арт. 13В239(200)Н6 (ТУ У 00.306644.108-2000)	200,0	8 – 10	4
Зразок № 5	Полотно неткане голкопробивное фильтрувальне арт. 126239(550)Н6 (ТУ У 00.306644.108-2000)	550,0	14 – 20	6
Зразок № 6	Полотно голкопробивное сорбционно-фильтрующее СФМ-ОП (ТУ У 33.1-01530125-016:2007)	400,0	22 – 35	5
Зразок № 7	SMS Неотекс Мед М20027-60-100-1600-1500 ТУ 2282-001-72716572-08	60,0	1 – 5	1
Зразок № 8	Матеріал нетканый текстильный без покрытия на полимерной основе (Спанбонд) (ТУ У 17.5-33387508-002:2011)	30,0	8 – 12	2

Зовнішній шар встановлювали перед основним другим гофрованим фільтром (далі – фінішний), який виготовлений з поліпропіленового матеріалу «Елефлен» (ТУ У 25513947.010-2000) із середнім діаметром волокон 2,5 мкм, товщиною фільтрувального шару 4 мм з поверхневою щільністю 60 г/м², що відповідає вимогам до другого класу захисту за ДСТУ EN 143:2002 (рисунк 2).

Імітування реального робочого процесу з наявністю пилу в повітрі робочої зони проведено на спеціально розробленому випробувальному стенді (рисунк 3).

Стенд працює наступним чином. Під тиском повітря від компресора потрапляє через фільтр попереднього очищення на стабілізатор. Кількість повітря регулюється вентилем і контролюється манометром, виходячи з перепаду тиску на каліброваній діафрагмі.

Рисунок 2 – Загальний вигляд фільтрувального патрона

Рисунок 3 – Загальний вигляд випробувального стенда

Для утворення пилу із заданим дисперсним складом (таблиця 2) у вібраційний генератор пилу подається від 2 до 10 $\text{дм}^3/\text{хв.}$ чистого повітря. Вібраційний генератор пилу являє собою сталевий стакан з випускним і випускним штуцерами, в який завантажують попередньо подрібнені куски вугілля загальною масою близько 100 г. У результаті вібрації камери відбувається інтенсивне самоподрібнення цих кусків до пилового стану. Для прискорення подрібнення передбачено завантаження в камеру генератора сталевих шарів діаметром 10...15 мм. Потім пилова суміш подається у випробувальну камеру зі встановленим у спеціальний адаптер фільтром (рисунок 4), який підключено до повітряної лінії з аспіратором, який забезпечує відбір повітря з витратою 30 $\text{дм}^3/\text{хв.}$ Перепад тиску на фільтрі під час накопичення пилового осаду контролюється за показниками мікроманометра через рівні проміжки часу.

Таблиця 2 – Дисперсний склад пилу у випробувальній камері

Режим роботи	Витрата повітря через генератор, $\text{дм}^3/\text{хв.}$	Масова частка частинок, %				Середній медіанний розмір, мкм
		< 5 мкм	5 – 10 мкм	10 – 30 мкм	більше 30 мкм	
№ 1	3	9	12	49	30	21
№ 2	5	8	11	48	33	22
№ 3	8	4	8	45	41	27
№ 4	10	3	5	30	62	36

Рисунок 4 – Вигляд випробувальної камери зсередини: 1 – фільтроутримувач; 2 – манометри; 3 – ротаметр; 4 – аспіратор

Концентрація пилу в камері складала 400 $\text{мг}/\text{м}^3$. Експеримент закінчували при досягненні кінцевого перепаду тиску на фільтрах 500 Па. Для визначення концентрації пилу використовували відбір на фільтри «АФА ВП-10» діаметром біля 36 мм зі швидкістю 2 $\text{дм}^3/\text{хв.}$; лабораторні ваги «ВЛО 200» та електронний секундомір типу «HS43». Перепад тиску на фільтрувальних коробках контролювали за допомогою компенсаційного мікроманометра «МКВ 250» та перераховували за формулою для нормальних умов [7]:

$$R = (n_i - n_0) \cdot K_1, \quad (1)$$

де n_i – відлік опору фільтрів за мікроманометром, Па;
 n_0 – початковий опір вимірювальної системи, Па; K_1 – поправковий коефіцієнт на температуру і атмосферний тиск.

3.2. Результати дослідження.

На рисунку 5 наведені графіки зміни перепаду тиску на фільтрах у часі (з урахуванням зразків).

З аналізу рисунку 5 бачимо, що у зразках 1, 3, 7 перепад тиску на першому етапі (який триває до 5–7 хв.) стрімко зростає як на зовнішньому фільтрі, так і на

фінішному фільтрі. Після цього настає фаза «стабілізації» показників, що характеризується утворенням пилового шару на поверхні зовнішнього фільтра. Через деякий час – фіксується стрімке зростання перепаду тиску, що свідчить про вичерпність ресурсу. Деяко інша картина у зразків 2, 4, 5. Відмінність полягає у тому, що зовнішній фільтр характеризується більшим опором повітряному потоку ніж фінішний. Зростання перепаду тиску відбувається спочатку повільно через осідання частинок пилу на волокнах за товщиною фільтрувального шару, а після заповнення пор фільтра починається стрімке зростання перепаду тиску, яке викликане утворенням шару пилу на поверхні фільтра. При цьому опір повітряному потоку основного фільтра майже не змінюється.

У зразку 8 (рисунок 5), після фази об'ємного фільтрування і стрімкого зростання опору на фазі поверхневого фільтрування протягом деякого часу перепад тиску на поверхні зовнішнього фільтра стабілізується. Це пояснюється утворенням, так званого, автофільтрувального шару пилу, який дозволив перерозподілити накопичення пилу між шарами фільтру. При цьому для заданих умов співвідношення поверхневої щільності укладання волокон між зовнішнім і фінішним фільтрами становило 1 : 2 – зовнішній 30 $\text{г}/\text{см}^2$, а фінішний 60 $\text{г}/\text{см}^2$.

Зразок 1 (матеріал № 1)

Зразок 2 (матеріал № 2)

Зразок 3 (матеріал № 3)

Зразок 4 (матеріал № 4)

Зразок 5 (матеріал № 5)

Зразок 6 (матеріал № 6)

Зразок 7 (матеріал № 7)

Зразок 8 (матеріал № 8)

Рисунок 5 – Зміна перепаду тиску на фільтрах при запиленні: 1 – зовнішній фільтр; 2 – фінішний фільтр

3.3. Обговорення результатів дослідження.

Аналіз отриманих експериментальних залежностей дозволяє зробити висновок щодо існування декількох фаз накопичення пилового осаду:

- об'ємна (у товщі фільтра), яка є досить короткою, характерна для фільтрувальних матеріалів із незначною щільністю упаковки волокон (зразок 5);
- поверхнева, коли частинки пилу осідають на поверхні фільтра, тим самим збільшуючи опір повітряному потоку, при цьому основний фільтр майже не працює, про що свідчить відсутність зміни перепаду тиску (зразок 2, 4) (рисунк 6);
- автофільтрувальна, коли утворений на поверхні зовнішнього фільтра шар пилу, дозволяє значно збільшити ресурс шляхом його перетворення у самостійну дотикову фільтрувальну поверхню (зразок 8); при цьому на цій фазі перепад тиску стабілізується на обох фільтрах.

Рисунок 6 – Вигляд заповнених фільтрів (зразок 4):
а – зовнішній; б – фінішний

Фазу автофільтрування складно забезпечити, оскільки вона є досить нестабільною і схильна до швидкого зникнення, навіть через збільшення швидкості фільтрування, яке може бути нестабільним у процесі праці. Дослідження показують, що вона значно скорочується в часі і може зовсім зникнути при витратах повітря більш ніж 150 л/хв. або збільшенні концентрації пилу. Очевидно це пов'язано з постійним руйнуванням утворених пилових агрегатів через збільшення інерційної складової швидкості аерозольної частинки [8]. З іншого боку, збільшення витрати повітря призводить до ущільнення пилового осаду, що також не сприяє утворенню пухкого автофільтрувального шару пилу. Так

при збільшенні швидкості фільтрування частинки пилу утворюють щільні й міцні агрегати, які поступово перебивають пори і тим самим збільшують опір повітряному потоку.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1. Встановлено, що для підвищення пиломісткості протипилових респіраторів їхні фільтри слід виконувати комбіновано з фільтрувальних матеріалів з різними фізико-хімічними властивостями для забезпечення рівномірного розподілу пилового осаду за товщиною фільтрувального шару. Доведено, що збільшення терміну захисної дії протипилових респіраторів може бути забезпечено шляхом використання ефекту автофільтрування, тобто коли пиловий шар, що осів на поверхні фільтра, самостійно затримує частинки пилу.

2. Визначено залежність перепаду тиску на фільтрі від зміни щільності упаковки волокон з пилом, яка дозволяє оцінити мінімальну щільність упаковки волокон для забезпечення максимальної пиломісткості. Для визначення зміни перепаду тиску при заповненні фільтрів потрібно розглядати фази: об'ємного накопичення у товщі фільтра, потім фазу поверхневого фільтрування та автофільтрування.

3. У результаті проведення експериментальних досліджень встановлено, що основне накопичення пилу на поліпропіленових фільтрах відбувається в верхньому шарі, тому для збільшення їх терміну служби і пиломісткості необхідно встановити зовнішній фільтр із грубих волокон з низькою щільністю їх упаковки. Встановлено, що при поєднанні основного і попереднього фільтрів з щільністю упаковки 30 і 60 г/см забезпечує найменший приріст опору.

Висловлення вдячності.

Автори вдячні керівництву Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за надання можливості проведення наукового дослідження.

Конфлікт інтересів.

У жодного з авторів немає потенційних конфліктів інтересів, пов'язаних з цим дослідженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang, J., Chen, D.R., Pui, D.Y. (2006). Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media. In *Nanotechnology and Occupational Health* (pp. 109–115). Springer, Dordrecht.
2. Richardson, A.W., Eshbaugh, J.P., Hofacre, K.C., Gardner, P.D. (2006). *Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates*. BATTELLE MEMORIAL INST COLUMBUS OH.
3. Boskovic, L., Agranovski, I. E., Braddock, R. D. (2007). Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres. *Journal of Aerosol Science*, 38(12), 1220–1229.
4. Kim, C.S., Bao, L., Okuyama, K., Shimada, M., Niinuma, H. (2006). Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles. *Journal of nanoparticle research*, 8(2), 215–221.
5. Janssen, L.L., Bidwell, J.O., Mullins, H.E., Nelson, T.J. (2003). Efficiency of degraded electret filters: Part I. Laboratory testing against NaCl and DOP before and after exposure to workplace aerosols. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 20, 71–80.
6. Janssen, L.L., Bidwell, J.O., Mullins, H.E., Nelson, T.J. (2003). Efficiency of degraded electret filters: Part II. Field testing against workplace aerosols. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 20, 81–90.
7. Chebryachko, S.I. (2002). Determinations of Parameters of Respirator Filter Depending upon the Properties of Filtering Materials. *Naukovy visnyk NHU*, 2, 71–74.
8. Голинько, В.І., Чеберячко, Ю.І., Чеберячко, С.І., Наумов, Н.Н. (2016). Средства защиты органов дыхания работников горнорудных предприятий. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (4), 111–116.

REFERENCES

1. Wang, J., Chen, D.R., Pui, D.Y. (2006). Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media. In *Nanotechnology and Occupational Health* (pp. 109–115). Springer, Dordrecht.
2. Richardson, A.W., Eshbaugh, J.P., Hofacre, K.C., Gardner, P.D. (2006). *Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates*. BATTELLE MEMORIAL INST COLUMBUS OH.
3. Boskovic, L., Agranovski, I. E., Braddock, R. D. (2007). Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres. *Journal of Aerosol Science*, 38(12), 1220–1229.
4. Kim, C.S., Bao, L., Okuyama, K., Shimada, M., Niinuma, H. (2006). Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles. *Journal of nanoparticle research*, 8(2), 215–221.

5. Janssen, L.L., Bidwell, J.O., Mullins, H.E., Nelson, T.J. (2003). Efficiency of degraded electret filters: Part I. Laboratory testing against NaCl and DOP before and after exposure to workplace aerosols. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 20, 71–80.
6. Janssen, L.L., Bidwell, J.O., Mullins, H.E., Nelson, T.J. (2003). Efficiency of degraded electret filters: Part II. Field testing against workplace aerosols. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 20, 81–90.
7. Cheberyachko, S.I. (2002). Determinations of Parameters of Respirator Filter Depending upon the Properties of Filtering Materials. *Naukovyy visnyk NHU*, 2, 71–74.
8. Golin'ko, V.I., Cheberyachko, YU.I., Cheberyachko, S.I., Naumov, N.N. (2016). Sredstva zashchity organov dykhaniya rabotnikov gornorudnykh predpriyatiy. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, (4), 111–116.

С. И. Чеберячко, Ю. И. Чеберячко, Д. И. Радчук, Д. С. Пустовой

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕЕМКОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОТИВОПЫЛЕВЫХ РЕСПИРАТОРОВ

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований физико-химических свойств фильтрующих материалов для изготовления двухслойных фильтров повышенной пылеемкости противопылевых респираторов для условий эксплуатации угольных шахт. Пылеемкость фильтрующих материалов для изготовления двухслойных фильтров определяли при концентрации пыли около 400 мг/м³, до достижения конечного перепада давления 500 Па (согласно требованиям ДСТУ EN 143 для фильтров 2-го класса защиты). Использовали фильтры «АФА ВП-10» диаметром 36 мм; лабораторные весы «ВЛО 200»; электронный секундомер типа «HS43»; перепад давления на фильтровальных коробках контролировали с помощью компенсационного микроманометра «МКВ 250». Установлено, что для повышения пылеемкости противопылевых респираторов их фильтры следует выполнять комбинированно из фильтрующих материалов с различными физико-химическими свойствами для обеспечения равномерного распределения пылевого осадка по толщине фильтрующего слоя. Доказано, что увеличение срока защитного действия противопылевых респираторов может быть обеспечено применением эффекта автофильтрации, то есть когда пылевой слой, осевший на поверхности фильтра, самостоятельно задерживает частички пыли. Получена зависимость перепада давления на фильтре противопылевого респиратора от изменения плотности упаковки волокон с пылью, позволяющая определить рациональные физико-химические свойства материалов фильтрующих слоев фильтра для обеспечения максимальной пылеемкости. Было установлено, что наименьшее увеличение сопротивления воздушному потоку многослойного фильтра наблюдается при объединении слоев фильтра с плотностью упаковки волокон 30 и 60 г/см³ соответственно. Установленные экспериментальные зависимости позволяют найти рациональное сочетание фильтрующих слоев для обеспечения максимальной пылеемкости фильтра.

Ключевые слова: противопылевой респиратор, перепад давления, сопротивление дыханию, запыленность, физико-химические свойства материала.