

УДК 614.894.3:622.872

DOI: 10.20535/1810-0546.2017.2.99551

С.І. Чеберячко\*, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, Д.І. Радчук  
Національний гірничий університет, Дніпро, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ КОРОБОК

**Background.** Filtering respirators are widely used in various industries to protect workers from dust, so studies aimed at improving ergonomic parameters of personal respiratory protection are relevant.

**Objective.** The aim of the paper is the filter box design influence on respirator breathing resistance.

**Methods.** The distribution of the air flow rate and the pressure drop across the filter was determined in accordance with the requirements of the DSTU EN 143: 2002. To do this, in the back wall of the filter box housing 5 mm holes were drilled, in which every 10 mm a Pitot tube was installed, connected to an electronic manometer Testo 512.

**Results.** It is established that the designs of filter boxes affect the pressure drop of the respirator, due to the failure to use a significant surface of the filters (the formation of dead zones in which air does not move) what affects the efficiency of their performance.

**Conclusions.** The designs of filter boxes for modern respirators require appropriate modification to reduce the resistance to breathing, to increase the duration of protection and dust load, due to uniform flow around the filter surface by air flow throughout the area.

**Keywords:** respirator; filter; filter box; pressure drop.

### Вступ

Ситуація стосовно професійних захворювань в Україні є досить складною. В умовах, що не відповідають санітарним нормам, працює близько 70 % шахтарів. Найбільш шкідливі виробничі фактори на робочих місцях гірників — це вугільно-породний пил, шум, вібрація, несприятливий мікроклімат. Більше половини профзахворювань мають пилову етіологію, тобто являють собою пневмоконіози різного типу і ступеня тяжкості. Крім того, збільшилася кількість випадків професійного раку легень через тривалий вплив пилу на робочих місцях. Це потребує відповідних рішень для зменшення профзахворювань. Одним із них є використання ефективних засобів індивідуального захисту органів дихання.

Для забезпечення високоякісного протипилового захисту треба намагатись використовувати респиратори з низьким опором диханню, які характеризуються незначним впливом на функціональний стан працівників. Інакше їх не будуть використовувати протягом усієї робочої зміни. Найбільше цей показник залежить від властивостей фільтрувальних елементів. У зв'язку з цим до останніх висувають особливі вимоги. Зокрема, початковий опір фільтрів 2-го класу в нормальних умовах з витратою повітря  $95 \text{ дм}^3/\text{хв}$  не повинен перевищувати максимального значення у 240 Па, а кінцевий за концен-

трації пилу  $500 \text{ мг}/\text{м}^3$  — не більше 500 Па; також фільтри мають бути компактною форми.

Ця вимога може бути виконана за достатньо низької швидкості фільтрації — менше одного сантиметра за секунду за допомогою збільшення площі фільтрувальної поверхні фільтра. Практика показує, що у фільтрувальних коробках швидкість фільтрування значно залежить від її конструкції і вимагає пошуку відповідних рішень для зменшення опору дихання фільтрів.

За останні роки проведений значний обсяг досліджень, присвячених вивченню ефективності різних фільтрувальних елементів. Так, у роботах учених [1–5] були дослідженні властивості уловлювання фільтрами наночастинок. Результатом стали рекомендації щодо покращення структури фільтрів, забезпечення необхідного діаметра і щільності упакування волокон. Іншими дослідниками були встановлені особливості роботи різних механізмів уловлювання аерозольних частинок [6]. Це дало змогу отримати рекомендації щодо розмірів площі фільтрів, за яких найкраще будуть затримуватись ті чи інші частинки. Існують дослідження з оцінки впливу вологості повітря на ефективність фільтрів [7]. Також у серії праць [8, 9] наведені результати з перевірки захисних властивостей фільтрів після впливу різних негативних факторів: іонізуючого опромінення, обробки їх ізопропанолом та різними промисловими аерозолями. Автори визначили, що у більшості ви-

\*corresponding author: cheberiachkoyi@ukr.net

падків сучасні фільтри, які пройшли сертифікаційні випробування, є досить надійними та зберігають свою ефективність протягом встановленого виробником гарантійного строку.

Однак нам не траплялись дослідження з оцінки впливу конструкції фільтрувальних коробок на ефективність респіраторів. Навіть у роботах з дослідження залежності перепаду тиску в засобах індивідуального захисту органів дихання від витрати повітря, його вологості, температури не вказувалось, яка частка припадає на фільтр, а яка – на фільтрувальну коробку. Відповідь на це запитання є важливою, оскільки дасть змогу розв'язати задачу, пов'язану зі зменшенням опору дихання [7].

### Постановка задачі

Метою роботи є дослідження впливу конструкції фільтрувальної коробки на опір диханню респіратора. Особливо цікавить питання з оцінки впливу розміщення вихідного отвору фільтрувальної коробки на розподіл повітряних потоків і утворення так званих “мертвих” зон, які збільшують опір диханню респіратора.

### Матеріали і методи дослідження

Для дослідження були використанні два типи поширених фільтрувальних коробок до відомого респіратора РПА (рис. 1). Основна відмінність полягає у конструкції задньої стінки корпусу та розміщенні вихідного отвору з клапаном вдихання. Усі коробки оснащувались однаковими поліпропіленовими гофрованими фільтрами, які відповідали другому класу захисту за ДСТУ EN 143:2002 (опір повітряному потоку  $70 \pm 3$  Па при  $95 \text{ дм}^3/\text{хв}$ ).

У лабораторних умовах визначали розподіл швидкості повітряного потоку і перепаду тиску на фільтрі згідно з вимогами ДСТУ EN 143:2002. Для цього в задній стінці корпусу фільтрувальної коробки просвердлили отвори розміром 5 мм, в які через кожні 10 мм (рис. 2) встановлювалась трубка Піто, під'єднана до електронного манометра Testo 512 (рис. 3). Манометр дає змогу одночасно визначати швидкість потоку в діапазоні від 0 до 10 м/с і перепад тиску від 0 до 200 Па. Для забезпечення контролю заданої витрати повітря використовували ротаметр із похибкою 2,5%. Під'єднання (затискання) фільтрувальних коробок до мережі зі стислим повітрям виконали через спеціальну насадку.

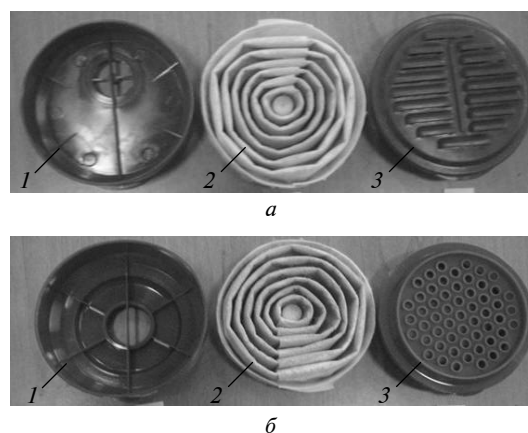


Рис. 1. Конструкції фільтрувальних коробок до респіратора РПА: а – тип 1, б – тип 2; 1 – корпус коробки, 2 – фільтрувальний елемент, 3 – кришка коробки з елементом кріплення фільтра



Рис. 2. Фільтрувальна коробка з отворами для визначення перепаду тиску



Рис. 3. Вигляд установки для встановлення перепаду тиску на фільтрувальній коробці

**Результати**

У результаті проведеного дослідження були отримані розподіли перепаду тиску та швидкості повітряного потоку за фільтром при переміщенні трубки Піто через кожні 10 мм за діаметром задньої стінки фільтрувальної коробки (рис. 4, 5).

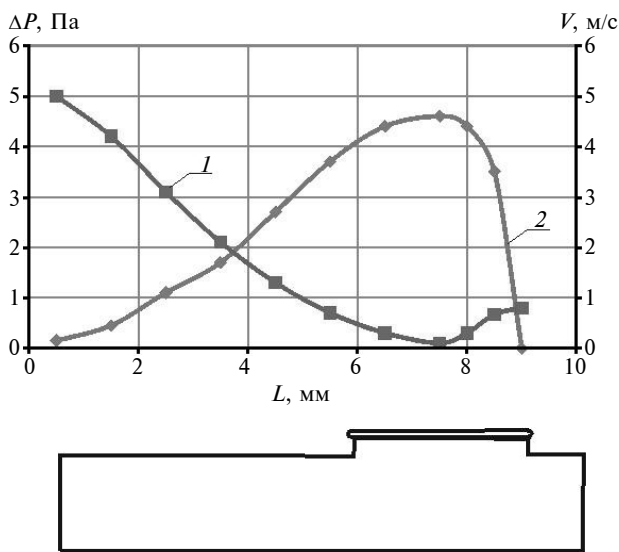


Рис. 4. Розподіл перепаду тиску і швидкості повітряного потоку поза фільтром, встановленим у фільтрувальну коробку типу 1: 1 – зміна перепаду тиску по діаметру фільтрувальної коробки; 2 – зміна швидкості потоку повітря по діаметру фільтрувальної коробки

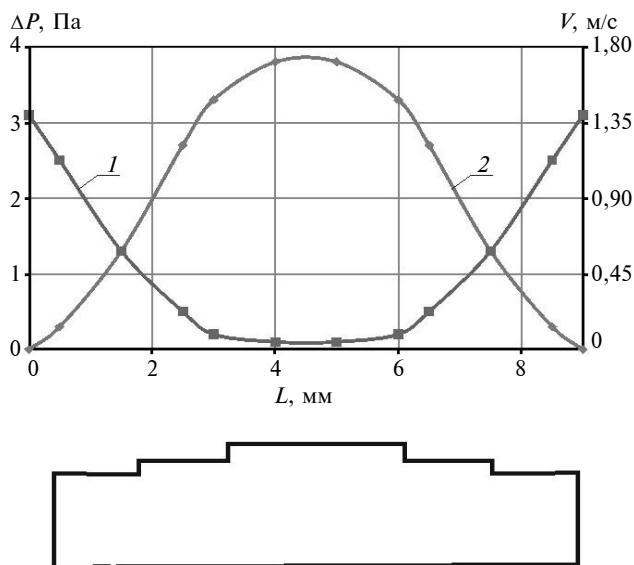


Рис. 5. Розподіл перепаду тиску і швидкості повітряного потоку поза фільтром, встановленим у фільтрувальну коробку типу 2: 1 – зміна перепаду тиску по діаметру фільтрувальної коробки; 2 – зміна швидкості потоку повітря по діаметру фільтрувальної коробки

Аналіз отриманих даних показав, що у фільтрувальних коробок із центральним отвором додатковий сумарний опір повітряному потоку майже у два рази менший, ніж у коробки зі зміщеним вихідним отвором (див. таблицю). Це пояснюється зменшенням площі “мертвої” зони, де майже відсутній рух повітря. При цьому для досягнення вихідного отвору коробки струменем повітря, який стикнеться із задньою стінкою, необхідно буде подолати опір декількох гофр, розмішених на його шляху. І чим далі струмінь від вихідного отвору, тим більший опір йому необхідно подолати (див. рис. 4).

*Таблиця.* Результати вимірювання перепаду тиску на фільтрувальних коробках

Тип	Витрата повітря, дм <sup>3</sup> /хв	Загальний перепад тиску на коробці з фільтром, Па	Додатковий перепад тиску через конструкцію коробки, Па	Швидкість руху повітряного потоку на виході з коробки, м/с
1*	30	23	16	1,5
2	30	15	8	1,3

\*Для типу 1 вихідний отвір на задній стінці фільтрувальної коробки зміщений відносно центра.

У коробки з центральним вихідним отвором це явище менше виражене, і крайнім струменям повітря потрібно подолати меншу відстань до виходу, що видно з рис. 5. Однак різке звуження потоку призводить до появи втрат тиску на удар. При цьому виникає викривлення траєкторії повітряного потоку, внаслідок чого він продовжує за інерцією рух до середини отвору. Це викликає скорочення площі струменя, що позначається на роботі тільки тієї частини фільтра, яка розміщена навпроти вихідного отвору.

**Висновки**

Встановлено, що існуючі конструкції фільтрувальних коробок впливають на перепад тиску респіратору через невикористання значної поверхні фільтрів (утворення мертвих зон, у яких повітря не рухається) і тим самим збільшують опір диханню.

Конструкції фільтрувальних коробок до сучасних респіраторів потребують відповідного доопрацювання з метою зменшення опору диханню, збільшення строку захисної дії та пи-

ломісткості за рахунок рівномірного обтікання поверхні фільтра повітряним потоком за всією площею.

Перспективою подальших досліджень є пошук конструктивних рішень фільтрувальних

коробок респіраторів, які забезпечать роботу всієї поверхні фільтра, що збільшить строк зачисної дії респіратора та зменшить його початковий опір диханню.

### Список літератури

1. Wang J., Chen D., Pui D. Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media // *J. Nanopart. Res.* – 2007. – 9. – P. 109–115.
2. Richardson A.W., Eshbough J.P., Hofacre K.C. Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates: Rapport d'etude du Chemical Biological Center d'Edgewood ECBC-CR- 085, 2006.
3. Evaluation of exhalation valves / Yu-Mei Kuo, Chane-Yu Lai, Chin-Chien Chen et al. // *Ann. Occup. Hyg.* – 2005. – 49, № 7. – P. 563–568.
4. Che-Ming Yang, Sheng-Hsiu Huang, Chih-Chieh Chen. Dynamic respirator exhalation valve test apparatus // *Conference Occupational Hygiene* – 2011, April 5–7, 2011, Holiday Inn, Stratford upon Avon, UK. – P. 19–20.
5. Horvath I., Hunt J., Baranes P.J. Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions // *Eur. Respir. J.* – 2005. – 26. – P. 523–548.
6. Boskovic L., Agranovski I.E., Braddock R.D. Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres // *J. Aerosol Sci.* – 2007. – 38. – P. 1220–1229.
7. Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles / C. Kim, L. Bao, K. Okuyama et al. // *J. Nanopart. Res.* – 2006. – 8. – P. 215–21.
8. Efficiency of degraded electret filters: Part I – Laboratory testing against NaCl and DOP before and after exposure to workplace aerosols / L.L. Janssen, J.O. Bidwell, H.E. Mullins, T.J. Nelson // *J. Int. Soc. Resp. Prot.* – 2003. – 20. – P. 71–80.
9. Средства защиты органов дыхания работников горнорудных предприятий / В.И. Голинько, Ю.И. Чеберячко, С.И. Чеберячко, Н.Н. Наумов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2016. – № 4. – С. 111–116.

### References

- [1] J. Wang *et al.*, “Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media”, *J. Nanopart. Res.*, vol. 9, pp. 109–115, 2007. doi: 10.1007/s11051-006-9155-9
- [2] A.W. Richardson *et al.*, “Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates”, U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center Report for Contract No. SP0700-00-D-3180, Task No. 335, ECBC-CR-085, 2006.
- [3] Yu-Mei Kuo *et al.*, “Evaluation of exhalation”, *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 49, no. 7, pp. 563–568, 2005. doi: 10.1093/annhyg/mei003
- [4] Che-Ming Yang *et al.*, “Dynamic respirator exhalation valve test apparatus”, in *Proc. Conf. Occupational Hygiene*, April, 5–7, 2011, Holiday Inn, Stratford-upon-Avon, UK, pp. 19–20.
- [5] I. Horvath *et al.*, “Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions”, *Eur. Respir. J.*, vol. 26, pp. 523–548, 2005. doi: 10.1183/09031936.05.00029705
- [6] L. Boskovic *et al.*, “Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres”, *J. Aerosol Sci.*, vol. 38, pp. 1220–1229, 2007. doi: 10.1016/j.jaerosci.2007.09.003
- [7] C.S. Kim *et al.*, “Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles”, *J. Nanopart. Res.*, vol. 8, pp. 215–221, 2006. doi: 10.1007/s11051-005-9017-x
- [8] L.L. Janssen *et al.*, “Efficiency of degraded electret filters: Part I – Laboratory testing against NaCl and DOP before and after exposure to workplace aerosols”, *J. Int. Soc. Resp. Prot.*, vol. 20, pp. 71–80, 2003.
- [9] V.I. Golinko *et al.*, “Protection means of respiratory organs of mining enterprise workers”, *Metallurgicheskaja i Gornorudnaja Promyshlennost'*, no. 4, pp. 111–116, 2016 (in Russian).

С.І. Чеберячко, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, Д.І. Радчук

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ КОРОБОК

**Проблематика.** Фільтрувальні респіратори широко застосовуються в різних галузях виробництва для захисту працівників від пилу, тому дослідження, спрямовані на покращення ергономічних параметрів засобів індивідуального захисту органів дихання, є актуальними.

**Мета досліджень.** Дослідження впливу конструкції фільтрувальної коробки на опір диханню респіратора.

**Методика реалізації.** Розподіл швидкості повітряного потоку і перепаду тиску на фільтрі визначали відповідно до вимог ДСТУ EN 143:2002. Для цього в задній стінці корпусу фільтрувальної коробки просвердлили отвори розміром 5 мм, у які через кожні 10 мм встановлювалась трубка Піто, під'єднана до електронного манометра Testo 512.

**Результати досліджень.** Встановлено, що існуючі конструкції фільтрувальних коробок впливають на перепад тиску респіратору через невикористання значної поверхні фільтрів (утворення мертвих зон, у яких повітря не рухається), що позначається на ефективності їх роботи.

**Висновки.** Конструкції фільтрувальних коробок до сучасних респіраторів потребують відповідного доопрацювання з метою зменшення опору диханню, збільшення строку захисної дії та пиломісткості за рахунок рівномірного обтікання поверхні фільтра повітряним потоком за всією площею.

**Ключові слова:** респіратор; фільтр; фільтрувальна коробка; перепад тиску.

С.И. Чеберячко, В.Ю. Фрундин, Ю.И. Чеберячко, Д.И. Радчук

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ КОРОБОК

**Проблематика.** Фильтровальные респираторы широко применяются в различных отраслях производства для защиты работников от пыли, поэтому исследования, направленные на улучшение эргономических параметров средств индивидуальной защиты органов дыхания, актуальны.

**Цель исследований.** Исследование влияния конструкции фильтровальной коробки на сопротивление дыханию респиратора.

**Методика реализации.** Распределение скорости воздушного потока и перепада давления на фильтре определяли в соответствии с требованиями ДСТУ EN 143: 2002. Для этого в задней стенке корпуса фильтровальной коробки просверлили отверстия размером 5 мм, в которые через каждые 10 мм устанавливалась трубка Пито, подключенная к электронному манометру Testo 512.

**Результаты исследований.** Установлено, что существующие конструкции фильтровальных коробок влияют на перепад давления респиратора из-за неиспользования значительной поверхности фильтров (образование мертвых зон, в которых воздух не движется), что сказывается на эффективности их работы.

**Выводы.** Конструкции фильтровальных коробок к современным респираторам требуют соответствующей доработки с целью уменьшения сопротивления дыханию, увеличения срока защитного действия и пылеемкости за счет равномерного обтекания поверхности фильтра воздушным потоком по всей площади.

**Ключевые слова:** респиратор; фильтр; фильтровальная коробка; перепад давления.

Рекомендована Радою  
приладобудівного факультету  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції  
10 лютого 2017 року