УДК 614.894:331.45 **DOI 10.33042/2522-1809-2023-1-175-221-228**

С.І. Чеберячко[1], Ю.І. Чеберячко[1], Д.І. Радчук[1], О.В. Дерюгін[1], Д.Г. Клімов[1], О.П. Шароватова[2], В.В. Грідяєв[1]

[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна[1]
[2]Національний університет цивільного захисту України, Україна[2]

ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ: ІННОВАЦІЇ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

У результаті аналізу сучасних інноваційних конструкцій засобів індивідуального захисту органів дихання для забезпечення відповідного терміну захисної дії протигазових і протипилових фільтрів та уникнення як отруєнь працівників через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір фільтрувального респіратора, так і надмірного фізичного виснаження через зростання перепаду тиску понад нормовані речовини, рекомендовано оснащати фільтри спеціальними індикаторами для визначення забруднення повітря та величини перепаду тиску.

***Ключові слова**: ризик, засоби індивідуального захисту органів дихання, фільтрувальний респіратор*.

Постановка проблеми

Засоби індивідуального захисту органів дихання (далі - ЗІЗОД) є останнім бар'єром захисту працівників при виконанні виробничих завдань у шкідливих і небезпечних умовах. Тому до їх якості висувають доволі серйозні вимоги, щоб гарантувати відповідний рівень респіраторного захисту користувачів. Так, у Технічному регламенті використання ЗІЗОД, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 771, вказується на необхідність запровадження постійного контролю за внутрішньою системою якості виробництва та моніторингу, за відповідністю основних показників ЗІЗОД чинних стандартів. Однак, незважаючи на зроблені кроки, застосування якісних ЗІЗОД не гарантує стовідсоткового захисту працівників через помилки в їх виборі та їх експлуатації. Це питання потребує подальших досліджень, розробки й вдосконалення відповідних нормативних документів, зокрема ДСТУ EN 529:2006 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду і обслуговування», де розкрито процедуру їх вибору, особливості експлуатації, догляду та зберігання. По-перше, згаданий документ не дозволяє забезпечити відповідний вибір ЗІЗОД, оскільки вказаний номінальний коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів, визначений у лабораторних умовах, не можна використовувати для встановлення ступеню захисту працівників на робочому місці, що потребує додаткових досліджень. Існують багато різноманітних чинників, що можуть погіршити ефективність ЗІЗОД, які не враховуються при лабораторній перевірці, наприклад, щільність прилягання півмаски до обличчя. По-друге, у ДСТУ EN 529:2006 не зрозумілим є встановлення терміну захисної дії ЗІЗОД. Стандарт не вимагає від виробників розробляти фільтри з індикатором закінчення терміну захисної дії. Якщо для протиаерозольних фільтрів його можна визначити за утрудненням дихання, то для протигазових – за суб'єктивним відчуттям запаху, що є некоректним, адже у працівників різний органолептичний поріг. Також у стандарті не вказано, які шкідливі гази можна виявляти за запахом, а які категорично «неможна». Зазначені невідповідності часто призводять до помилок при експлуатації респіраторів, що погіршує рівень захисту користувачів і потребує принаймні конструктивних рішень у сучасних ЗІЗОД, які дозволили б уникнути згаданих колізій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав доволі значну кількість публікацій з інноваційних розробок ЗІЗОД, що, вочевидь, зумовлене появою пандемії коронавірусу та активним розвитком різноманітних конструкцій ЗІЗОД [1]. Однак, незважаючи на новизну конструктивних рішень, у представлених моделях відсутні будь-які засоби контролю за їх ефективністю. У той же час різні виробники ЗІЗОД постійно проводять дослідження із розміщення на протигазових фільтрувальних елементах різноманітних датчиків контролю терміну захисної дії [2-4]. Однак, в нашій країні, у зв'язку з відсутністю нормативних вимог щодо необхідності застосування подібних респіраторів, фільтри з

індикаторами практично не застосовуються, зокрема через їх дорожнечу по відношенню до звичайних конструкцій. Останнім часом зустрічається доволі багато публікацій з висвітлення питання вибору ЗІЗОД, особливо щодо оцінки професійних ризиків [5-7]. Однак у даних публікаціях відсутня інформація щодо необхідності підсилення контролю за ефективністю експлуатації ЗІЗОД, що дозволяє значно зменшити ризики, які пов'язані з помилками при виборі і використанні фільтрувальних респіраторів на виробництві. Доволі цікавими є публікації з опису ергономічних та експлуатаційних характеристик ЗІЗОД [8-10], де наводиться інформація щодо необхідності контролю за основними показниками під час застосування фільтрувальних респіраторів на робочих місцях. Однак, у статтях автори обмежуються тільки декларацією такої необхідності, а конкретні пропозиції, на жаль, не наводяться. Більшість закордонних досліджень стосується розробки ЗІЗОД на основі 3D моделювання з урахуванням антропометричних характеристик облич користувачів, для чого використовують технологію 3D сканування [11], побудови 3D дизайну півмаски фільтрувального респіратора за допомогою різноманітного програмного забезпечення [12], уніфікації конструкцій з різним функціональним призначенням, підбору відповідних матеріалів для виготовлення півмаски, наприклад, поліфункціональних хемосорбентів для уловлювання токсичних газів та парів [13]. Однак, у наведених підходах не передбачається оснащення розроблених моделей засобами контролю їх параметрів при експлуатації. Отже, підсумовуючи проведений аналіз, можна зробити висновок про відсутність рекомендацій щодо контролю зміни захисних та ергономічних властивостей фільтрувальних респіраторів у виробничих умовах.

Формулювання мети статті

Мета даного дослідження полягає в аналізі сучасних інноваційних конструкцій ЗІЗОД, які підвищують рівень захисту користувачів при їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення визначеної мети був використаний метод морфологічного аналізу, заснований на підборі можливих рішень з оцінки технологічності моделей ЗІЗОД (при наявності системи критеріїв) і прийнятті раціонального рішення щодо особливостей їх застосування у виробничих умовах, які дозволили б конкретизувати елементи, що формують відповідний рівень захисту конкретного працівника. Для цього було виявлено кілька морфологічних декомпозицій, які важливі для визначення актуальності різних конструкторських рішень щодо контролю за ефективністю використання ЗІЗОД на основі аналізу їх практичності застосування.

Отже, високий рівень захисту користувачів ЗІЗОД під час їх експлуатації забезпечується за допомогою контролю:

- за зміною ефективності фільтра під час їх застосування - тобто стає відомо, коли фільтр вичерпав свій ресурс і потребує заміни;

- за щільністю прилягання півмасок фільтрувальних респіраторів до обличчя користувача - сприяє визначенню утворення щілин між обличчям і півмаскою через сповзання чи ослаблення сили натягу стрічок наголів'я;

- своєчасним і постійним застосуванням фільтрувального респіратора - дозволяє визначити час ефективного захисту користувача для розрахунку експозиційної дози шкідливої речовини, що потрапила до легень (наприклад, розрахунок величини пилового навантаження).

Зазначені вимоги щодо контролю за ефективністю експлуатації ЗІЗОД здебільшого вирішуються додаванням до їх конструкції різноманітних індикаторів, які дозволяють отримувати дані в реальному часі.

Найпершим такий підхід був використаний для контролю за терміном захисної дії протигазових фільтрів, оскільки реакція людини на запах шкідливої речовини у підмасковому просторі індивідуальна і може залежати від різних обставин. Вважається, що поріг сприйняття запаху у 95 % людей знаходиться в межах від 16 до 1/16 від «середнього» значення, тоді як у 2,5 % він перевищує середнє значення більш ніж у 16 разів. Наприклад, якщо люди реагують на запах хлороформу при концентрації ≈ 1 ГДК, частина з них ніяк не відреагує при сильному її перевищенні. Тому виробниками були запропоновані конструкції фільтрів зі спеціальними датчиками (ДІВФ). Промисловістю освоєні активні індикатори, які стежать за забрудненістю повітря, і подають візуальний та/або звуковий сигнал (рис. 1), а також пасивні, які працюють на основі зміни забарвлення спеціальних поглиначів в міру насичення коробки шкідливим газом (рис. 2). Застосування фільтрів з індикацією значно зменшує рівень ризику отруєння користувача небезпечною концентрацією шкідливого газу, що могла потрапити до легень.

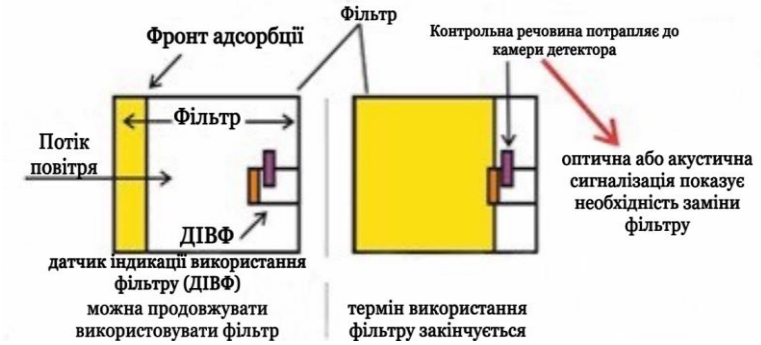

Рис. 1. Схема функціонування активного індикатора для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів [14]

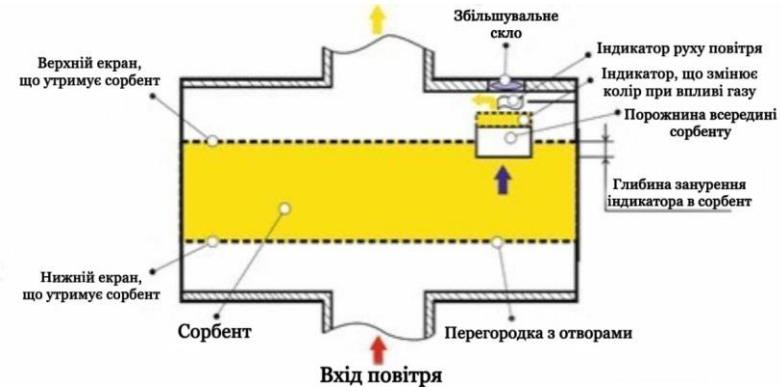

Рис. 2. Схема функціонування пасивного індикатора для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів [15]

Останнім часом з'явились конструкції й протипилових фільтрів з контролем перепаду тиску, що дозволяє при встановлені граничної величини опору повітряному потоку, яка є прийнятною для користувача, тобто не викликає додаткових значних фізичних зусиль при процесі дихання, визначити термін захисної дії при накопиченні пилового осаду на фільтрувальній поверхні (рис. 3).

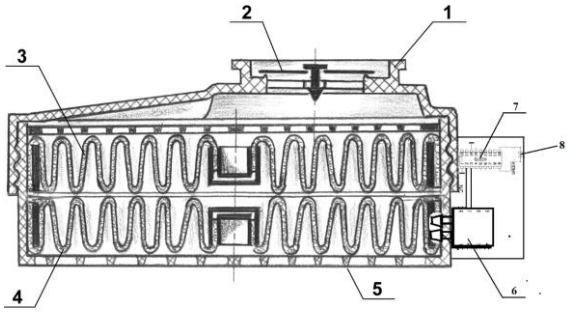

Рис. 3. Схема протипилового фільтру з датчиком тиску для визначення терміну захисної дії через встановлення граничної величини опору повітряному потоку: 1 - захисний екран, 2 - корпус, 3 - форфільтр, 4 - перегородка, 5 - абсолютний фільтр, 6 - кільцева прокладка, 7 - блок вимірювання тиску, 8 - датчик тиску, 9 - блок управління, 10 - індикатору тиску [16]

Контроль щільності прилягання півмаски до обличчя користувача також можна забезпечити за допомогою датчика контролю перепаду тиску у підмасковому просторі фільтрувального респіратора (рис. 4)

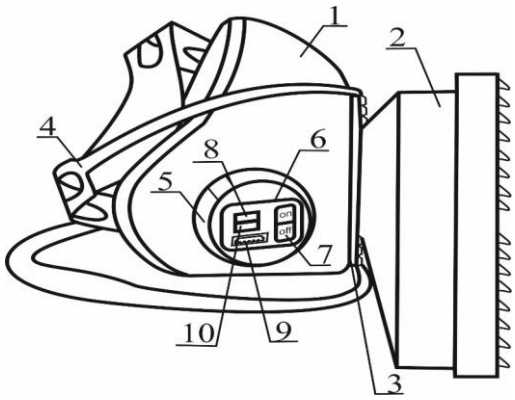

Рис. 4. Схема протипилового респіратора з датчиком перепаду тиску для контролю щільності прилягання півмаски до обличчя: 1 – півмаска, 2 - фільтрувальна коробка, 3 - спеціальний кріпильний гарнітур, 4 - наголів'я, 5 - клапан видихання, 6 - датчик тиску, 7 – тумблер, 8 - індикатори [17]

Датчик тиску має входи, що одночасно з'єднані з підмасковим простором та атмосферним повітрям, а його вихід з'єднано з входом блоку управління та обробки інформації, який передає дані до блоку сигналізації. У блоці управління та обробки інформації містяться дані про мінімально і максимально можливий початковий опір диханню фільтрів респіратора. При фіксації меншого значення перепаду тиску, ймовірно, півмаска одягнена неправильно або вона сповзла і з'явились підсмоктування за смугою обтюрації, що потребує відповідних коригувальних дій. При перевищенні граничного опору диханню фільтрами під час експлуатації респіратора також буде подано сигнал про необхідність заміни фільтрів.

Ще одним підходом до контролю щільності прилягання півмаски до обличчя є застосування пасивного індикатора, який дозволяє візуалізувати місця нещільного прилягання півмаски через зміну кольору (рис. 5). Для цього обтюратор виконується з перфарованими отворами, які заповнені з внутрішньої та зовнішньої сторони плівкою темного латексу, на зовнішньому шарі якого міститься достатньо однорідний термохроматичний пігмент, який після прогрівання, за рахунок теплообміну від поверхні шкіри обличчя користувача, змінить своє забарвлення. При цьому місця, де фіксуються щілини, матимуть інше кольорове забарвлення, оскільки гірше прогріються.

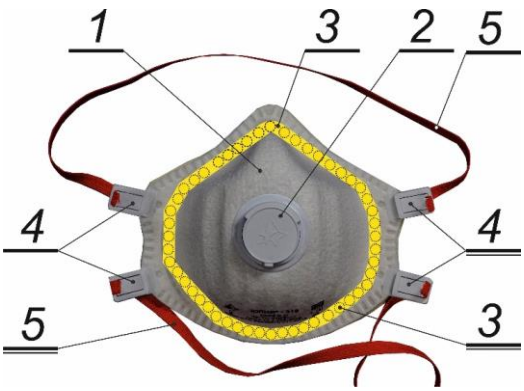

Рис. 5. Загальний вигляд фільтрувального респіратора з ефектом візуалізації місць нещільного прилягання обтюратора півмаски до обличчя користувача: 1- півмаска, 2 - клапан видихання, 3 - обтюратор з плівкою темного латексу, 4 - притискний елемент, 5 - кріпильна гарнітура [18]

Для підвищення захисної ефективності фільтрувального респіратора, за рахунок постійного контролю сили натягу еластомерних стрічок фільтрувального респіратора з метою забезпечення її величини у діапазоні від 4 до 6 Н, для щільного прилягання до обличчя півмаски з одного боку і не перевищення межі комфортного використання з іншого можна оснастити наголів'я спеціальною вставкою з щілиною, в якій розміщена різнокольорова пластина з пружинкою, що закріплена на півмасці (рис. 6). У залежності від прикладеного зусилля пружинка розтягується і дозволяє контролювати силу натягу, орієнтуючись на зміну кольору, яку видно через щілину спеціальної вставки. Червоний колір вказує про силу натягу більше 7 Н, яка призводить до утворення намінів на обличчі користувача через надмірний натяг. У цьому випадку недостатня величина розтягування пружинки або зношення сили натягу погіршать щільність прилягання півмаски до обличчя користувача та зменшать захисні властивості. Зелений колір вказує на оптимальну величину, яка знаходиться у діапазоні 5-6 Н, тобто при цій силі можливо забезпечити необхідну щільність прилягання півмаски до обличчя користувача без утворення негативних наслідків.

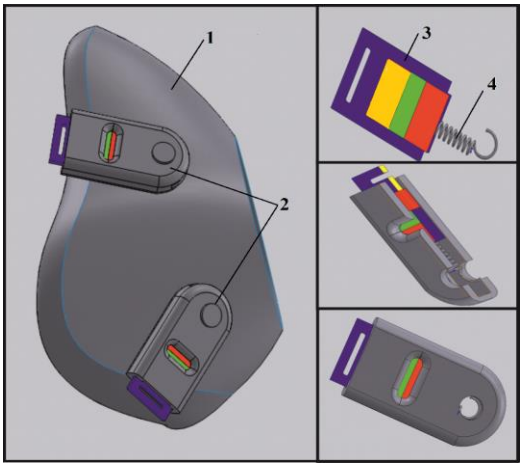

Рис. 6. Схема півмаски респіратора зі спеціальною вставкою для контролю сили натягу СН:
1 - півмаска; 2 - спеціальні вставки для кріплення наголів'я; 3 - різнокольорова пластина; 4 – пружина [19]

Для вирішення задачі постійного контролю сили натягу також респіратор можна оснастити блоком індикації сили натягу еластомерних стрічок (рис. 7, 8). Фільтрувальний респіратор розміщують на обличчі, закріплюючи його за допомогою еластомерних стрічок наголів'я (6) з розміщеним блоком візуалізації (7). Після розміщення респіратора на обличчі користувача на блоці візуалізації за допомогою зміни кольорів та звукової сигналізації можна визначити величину сили натягу. Принцип роботи блоку базується на зміні електричного опору під час розтягування спеціального гнучкого датчика, який з'єднано за типовою схемою розділювача напруги з додаванням до неї змінного резистору, де через контролер

проводиться оцінка сигналу та видається відповідний результат через світлові і звукові індикатори.

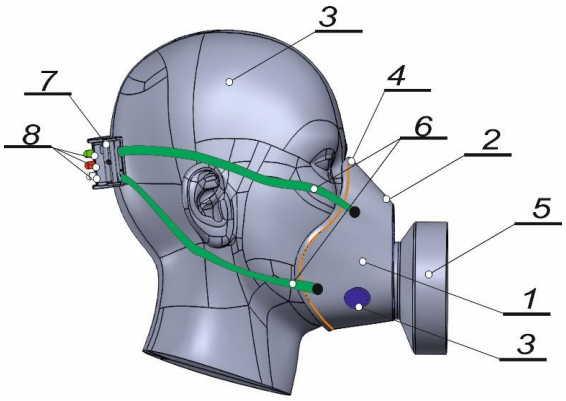

Рис. 7. Загальний вигляд фільтрувального респіратора з блоком візуалізації сили натягу еластомерних стрічок наголів'я: 1, 2 - еластомірна півмаска, 3 - вмонтовані клапани видиху/вдиху, 4 - обтюратор, 5 - патрон з фільтрами, 6 - еластомерні стрічки наголів'я, 7 - блок візуалізації сили натягу

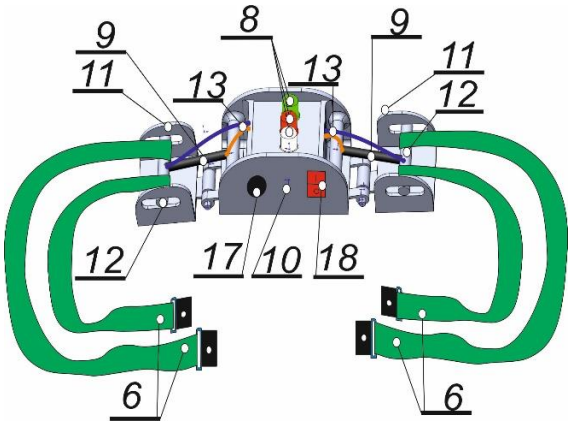

Рис. 8. Блок візуалізації сили натягу (7 на рис. 7): 8 - світлові індикатори, 9 - датчик, 10 - корпус, 11 - храповий механізм, 12 - кріплення для стрічок, 13 - шлейф, 14 - контролер arduino, 15 – контролер, 16 - акумуляторна батарея, 17 - звукова сигналізація, 18 - кнопка ввімкнення/вимкнення

Висновки

У підсумку проведеної роботи зазначимо, що роботодавець несе повну відповідальність за правильний вибір ЗІЗОД та їх експлуатацію, а також за правильне і своєчасне їх використання на робочому місці. Однак, забезпечити відповідний рівень захисту працівників без постійного контролю за виконанням встановлених вимог щодо застосування респіраторів доволі складно через небажання/невміння працівників. Це потребує пошуку нових підходів щодо підсилення переконаності працівників у необхідності застосування ЗІЗОД і використання більш ефективних ЗІЗОД з можливістю моніторингу їх роботи та показників.

Як зазначалося вище, на здатність ЗІЗОД захистити працівника впливає потрапляння невідфільтрованого повітря крізь зазори між маскою і обличчям та своєчасність його використання в забрудненій атмосфері. На жаль, при розробці ДСТУ EN 529 не були зазначені очікувані коефіцієнти захисту для всіх видів ЗІЗОД. Тож, існує високий ризик потрапляння до працівників неефективних захисних пристроїв. Більше того, через відсутність перевірок ізолювальних властивостей при підборі маски (півмаски) для працівників деяка їх частина отримає респіратори з неналежним захистом. Такий підхід зумовлює безвідповідальне ставлення до використання ЗІЗОД і втрату довіри до їх захисних властивостей. Проблему можна було б вирішити, використовуючи конкретний стандарт США 29 CFR 1910.134, або внести відповідні правки у існуючий ДСТУ EN 529. Однак, поки цього не відбулось і надійність захисту працівників за допомогою справних ЗІЗОД може виявитися недостатньою, виникає потреба в удосконалені їх існуючих моделей.

Не вирішена проблема й правильного вибору ЗІЗОД з урахуванням їх прийнятності для працівників (умови праці і виконувана робота). Якщо для захисних властивостей можна використовувати чіткі і науково обґрунтовані вказівки стандарту США, то питання вибору ЗІЗОД для різних видів робіт і умов там також повноцінно не вирішене, оскільки наявні лише окремі загальні вказівки, а їх виконання не є обов'язковим для роботодавця юридично.

Отже:

- для забезпечення відповідного терміну захисної дії протигазових і протипилових фільтрів та уникнення як отруєнь працівників через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір фільтрувального респіратора, так і надмірного фізичного виснаження через зростання перепаду тиску понад нормовані речовини, рекомендується оснащати фільтри спеціальними індикаторами для визначення забруднення повітря та величини перепаду тиску;

- для підвищення надійності захисту працівників рекомендується оснащення фільтрувальних респіраторів функціями оперативного контролю опору диханню, розміщення наголів'я для контролю виникнення можливих зазорів за смугою обтюрації при виконанні різних виробничих операцій та встановлення реального терміну захисної дії фільтрів.

Автори висловлюють подяку адміністрації Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка» за можливість проведення досліджень.

Література

1. Чеберячко С.І. Розрахунок захисної ефективності фільтрувальних півмасок для захисту від вірусів методом комп'ютерного моделювання. / С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, О.О. Яворська, О.В. Дрюгін, М.М. Наумов, О.В. Станіславчук // Modern Engineering and Innovative Technologies, 20(2), 2022. 68-89. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-20-02-022.

2. De Camp, D.S., Costantino, J. & Black, J.E. (2004). Estimating Organic Vapor Cartridge Service Life (PDF). Kennedy Circle Brooks City-Base: Air Force Institute for Operational Health Risk Analysis Directorate. p. 53. Archived (PDF) from the original on October 5, 2019. Retrieved 9 November 2019.

3. Karwacki, C.J., Peterson, G. & Maxwell, A. (2006). «Filtration Technology". Chemical Biological Individual Protection Conference, 2006. Charleston, South Carolina.

4. Ziegler, G.M., Hauthal, W. & Koser, H. (2003). Entwicklung von Indikatoren zur Anzeige des Gebrauchsdauer-Endes von Gasfiltern (Machbarkeitsstudie). Forschung Fb 997 (1 ed.). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. ISBN 978-3-86509-041-6. (In German)

5. Long, Y., Hu. T., Liu, L., Chen, R., Guo, Q., Yang, L., Cheng, Y., Huang, J. & Du, L. (2020). Effectiveness of N 95 respirators versus surgical masks against influenza: A systematic review and meta-analysis. Journal of Evidence-Based Medicine, 13(2), 93-101. DOI: 10.1111/jebm.12381.

6. Loeb, M., Dafoe, N., Mahony, J., John, M., Sarabia, A., Glavin, V., Webby, R., Smieja, M., Earn, D.J.D., Chong, S., Webb, A. & Walter, S.D. (2009). Surgical mask vs N 95 respirator for preventing influenza among health care workers: a randomized trial. JAMA, 302(17), 1865-1871. DOI:10.1001/jama.2009.1466.

7. MacIntyre, C.R., Wang, Q., Seale, H., Yang, P., Shi, W., Gao, Z., Rahman, B., Zhang, Y., Wang, X., Newall, A.T., Heywood, A. & Dwyer, D.E. (2013). A randomized clinical trial of three options for N95 respirators and medical masks in health workers. American journal of respiratory and critical care medicine, 187(9), 960-966. DOI: 10.1164/rccm.201207-1164OC.

8. Radonovich, L.J., Simberkoff, M.S., Bessesen, M.T., Brown, A.C., Cummings, D.A.T., Gaydos, C.A., Los, J.G., Krosche, A.E., Gibert, C.L., Gorse, G.J., Nyquist, A.-C., Reich, N.G., Rodriguez-Barradas, M.C., Price, C.S. & Perl, T.M. (2019). N 95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. JAMA, 322(9), 824-33. DOI:10.1001/jama.2019.11645.

9. MacIntyre, C.R., Cauchemez, S., Dwyer, D.E., Seale, H., Cheung, P., Browne, G., Fasher, M., Wood, J., Gao, Z., Booy, R. & Ferguson, N. (2009). Face mask use and control of respiratory virus transmission in households. Emerging infectious diseases, 15(2), 233-241. DOI: 10.3201/eid1502.081167.

10. Jefferson, T., Del Mar, C.B., Dooley, L., Ferroni, E., Al-Ansary, L.A., Bawazeer, G.A., Van Driel, M.L., Jones, M.A., Thorning, S., Beller, E.M., Clark, J., Hoffmann, T.C., Glasziou, P.P. & Conly, J.M. (2011). Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses. Cochrane database of systematic reviews, 7, DOI: 10.1002/14651858.CD006207.pub5.

11. Smith, J.D., MacDougall, C.C., Johnstone, J., Copes, R.A., Schwartz, B. & Garber, G. (2016). Effectiveness of N 95 respirators versus surgical masks in protecting health care workers from acute respiratory infection: a systematic review and meta-analysis. Canadian Medical Association Journal, 188(8), 567-574. DOI: 10.1503/cmaj.150835.

12. Gutierrez, A.M.J., Galang, M.D., Seva, R.R., Lu, M.C. & Ty, D.R.S. (2014). Designing an improved respirator for automotive painters. International Journal of Industrial Ergonomics, 44, 131-139. DOI: 10.1016/j.ergon.2013.11.004.

13. Cai, M., Li, H., Shen, S., Wang, Y. & Yang, Q. (2017). Customized design and 3D printing of face seal for an N 95 Filtering Facepiece Respirator. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 15(3), 226-234, DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598.

14. Freidank, M., Coym, J. & Schubert, A. (1989) Warning device to indicate the state of gases exhaustion of a gas filter retaining dangerous gases, Auergesellschaft GMBH, Patent No. US4873970.

15. Bernard, P., Caron, S., St. Pierre, M. & Lara, J. (2002) End-of-service indicator including porous waveguide for respirator cartridge, Institut National D'Optique, Quebec, Patent No. US6375725.

16. Cheberyachko, S., Cheberyachko, Y., Naumov, M. & Deryugin, O. (2022). Development of an algorithm for effective design of respirator half-masks and encapsulated particle filters. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2(28), 1145-1159. DOI: 10.1080/10803548.2020.1869429.

17. Bazaluk, O., Ennan, A., Cheberiachko, S., Deryugin, O., Cheberiachko, Y., Saik, P., Lozynskyi, V. & Knysh, I. (2021). Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter. Applied Sciences, 11, 3157. DOI: 10.3390/app11073157.

18. Bazaluk, O., Cheberyachko, S., Cheberyachko, Y., Deryugin, O., Lozynskyi, V., Knysh, I., Saik, P. & Naumov, M. (2021). Development of a dust respirator by improving the half mask frame design. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18, 5482. DOI: 10.3390/ijerph18105482.

19. Патент України на корисну модель UA 140878, МПК A62B 7/00 Протипиловий респіратор / Климов Д.Г., Голінько В.І., Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В. – № u201909406; заявл. 15.08.2019; опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5.

References

1. Cheberiachko, S.I., Cheberiachko, Yu.I., Yavorska, O.O., Deriuhin, O.V., Naumov, M.M., Stanislavchuk, O.V. (2022). Rozrakhunok zakhysnoi efektyvnosti filtruvalnykh pivmasok dlia zakhystu vid virusiv metodom kompiuternoho modeliuvannia. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 20(2), 68-89. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-20-02-022.

2. De Camp, D.S., Costantino, J. & Black, J.E. (2004). Estimating Organic Vapor Cartridge Service Life (PDF). Kennedy Circle Brooks City-Base: Air Force Institute for Operational Health Risk Analysis Directorate. p. 53. Archived (PDF) from the original on October 5, 2019. Retrieved 9 November 2019.

3. Karwacki, C.J., Peterson, G. & Maxwell, A. (2006). "Filtration Technology". Chemical Biological Individual Protection Conference, 2006. Charleston, South Carolina.

4. Ziegler, G.M., Hauthal, W. & Koser, H. (2003). Entwicklung von Indikatoren zur Anzeige des Gebrauchsdauer-Endes von Gasfiltern (Machbarkeitsstudie). Forschung Fb 997 (1 ed.). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. ISBN 978-3-86509-041-6. (In German)

5. Long, Y., Hu. T., Liu, L., Chen, R., Guo, Q., Yang, L., Cheng, Y., Huang, J. & Du, L. (2020). Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks against influenza: A systematic review and meta-analysis. *Journal of*

Evidence-Based Medicine, 13(2), 93-101. DOI: 10.1111/jebm.12381.
6. Loeb, M., Dafoe, N., Mahony, J., John, M., Sarabia, A., Glavin, V., Webby, R., Smieja, M., Earn, D.J.D., Chong, S., Webb, A. & Walter, S.D. (2009). Surgical mask vs N95 respirator for preventing influenza among health care workers: a randomized trial. *JAMA*, 302(17), 1865-1871. DOI:10.1001/jama.2009.1466.
7. MacIntyre, C.R., Wang, Q., Seale, H., Yang, P., Shi, W., Gao, Z., Rahman, B., Zhang, Y., Wang, X., Newall, A.T., Heywood, A. & Dwyer, D.E. (2013). A randomized clinical trial of three options for N95 respirators and medical masks in health workers. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 187(9), 960-966. DOI: 10.1164/rccm.201207-1164OC.
8. Radonovich, L.J., Simberkoff, M.S., Bessesen, M.T., Brown, A.C., Cummings, D.A.T., Gaydos, C.A., Los, J.G., Krosche, A.E., Gibert, C.L., Gorse, G.J., Nyquist, A.-C., Reich, N.G., Rodriguez-Barradas, M.C., Price, C.S. & Perl, T.M. (2019). N95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. *JAMA*, 322(9), 824-33. DOI:10.1001/jama.2019.11645.
9. MacIntyre, C.R., Cauchemez, S., Dwyer, D.E., Seale, H., Cheung, P., Browne, G., Fasher, M., Wood, J., Gao, Z., Booy, R. & Ferguson, N. (2009). Face mask use and control of respiratory virus transmission in households. *Emerging infectious diseases*, 15(2), 233-241. DOI: 10.3201/eid1502.081167.
10. Jefferson, T., Del Mar, C.B., Dooley, L., Ferroni, E., Al-Ansary, L.A., Bawazeer, G.A., Van Driel, M.L., Jones, M.A., Thorning, S., Beller, E.M., Clark, J., Hoffmann, T.C., Glasziou, P.P. & Conly, J.M. (2011). Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses. Cochrane database of systematic reviews, 7, DOI: 10.1002/14651858.CD006207.pub5.
11. Smith, J.D., MacDougall, C.C., Johnstone, J., Copes, R.A., Schwartz, B. & Garber, G. (2016). Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks in protecting health care workers from acute respiratory infection: a systematic review and meta-analysis. *Canadian Medical Association Journal*, 188(8), 567-574. DOI: 10.1503/cmaj.150835.
12. Gutierrez, A.M.J., Galang, M.D., Seva, R.R., Lu, M.C. & Ty, D.R.S. (2014). Designing an improved respirator for automotive painters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 131-139. DOI: 10.1016/j.ergon.2013.11.004.
13. Cai, M., Li, H., Shen, S., Wang, Y. & Yang, Q. (2017). Customized design and 3D printing of face seal for an N95 Filtering Facepiece Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(3), 226-234, DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598.
14. Freidank, M., Coym, J. & Schubert, A. (1989) Warning device to indicate the state of gases exhaustion of a gas filter retaining dangerous gases, Auergesellschaft GMBH, Patent No. US4873970.
15. Bernard, P., Caron, S., St. Pierre, M. & Lara, J. (2002) End-of-service indicator including porous waveguide for respirator cartridge, Institut National D'Optique, Quebec, Patent No. US6375725.
16. Cheberyachko, S., Cheberyachko, Y., Naumov, M. & Deryugin, O. (2022). Development of an algorithm for effective design of respirator half-masks and encapsulated particle filters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2(28), 1145-1159. DOI: 10.1080/10803548.2020.1869429.
17. Bazaluk, O., Ennan, A., Cheberiachko, S., Deryugin, O., Cheberiachko, Y., Saik, P., Lozynskyi, V. & Knysh, I. (2021). Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter. *Applied Sciences*, 11, 3157. DOI: 10.3390/app11073157.
18 Bazaluk, O., Cheberyachko, S., Cheberyachko, Y., Deryugin, O., Lozynskyi, V., Knysh, I., Saik, P. & Naumov, M. (2021). Development of a dust respirator by improving the half mask frame design. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 5482. DOI: 10.3390/ijerph18105482.
19. Patent Ukrainy na korysnu model UA 140878, MPK A62B 7/00 Protypylovyi respirator / Klymov D.H., Holinko V.I., Cheberiachko S.I., Cheberiachko Yu.I., Deriuhin O.V. – № u201909406; zaiavl. 15.08.2019; opubl. 10.03.2020, Biul. № 5.

Рецензент: д-р. техн. наук, с. н. с. В.М. Стрілець, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: ЧЕБЕРЯЧКО Сергій Іванович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - sicheb@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5866-4393

Автор: ЧЕБЕРЯЧКО Юрій Іванович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - cheberiachkoyi@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7307-1553

Автор: РАДЧУК Дмитро Ігорович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - radchuk.d.i@nmu.one
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8034-541X

Автор: ДЕРЮГІН Олег Валентинович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - oleg.kot@meta.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2456-7664

Автор: КЛІМОВ Даниіл Геннадійович
аспірант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - stalker.klimov@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3817-9697

Автор*:* ШАРОВАТОВА Олена Павлівна
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - sharovatova.elen@ukr.net
ID ORCID: http://orsid.org/0000-0002-2736-2189

Автор: ГРІДЯЄВ Володимир Васильович
аспірант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - Vladimir493@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7767-4490

INDIVIDUAL RESPIRATORY PROTECTION EQUIPMENT: INNOVATIONS TO REDUCE THE RISK OF OCCUPATIONAL DISEASES

S. Cheberyachko[1], Yu. Cheberyachko[1], D. Radchuk[1], O. Deryugin[1], D. Klimov[1], O. Sharovatova[2], V. Gridiaiev[1]
[1]Dnipro University of Technology, Ukraine
[2]National university of civil defence of Ukraine, Ukraine

Individual respiratory protective equipment (PPE) is the last barrier to protect workers when performing production tasks in harmful and dangerous working conditions. The article analyzes modern innovative designs of personal respiratory protective equipment, which increase the level of protection of users during their operation. The method of morphological analysis is applied. This method based on the selection of possible solutions for assessing the manufacturability of PPE models (if there is a system of criteria) and making a rational decision regarding the features of their application in production conditions. As a result, it was established that in order to ensure the appropriate duration of the protective action of gas and dust filters and to avoid both poisoning of workers due to the ingress of harmful aerosols into the sub-mask space of the filter respirator, and excessive physical exhaustion due to the increase in pressure drop above the standard substances, it is recommended to equip the filters with special indicators for determining air pollution and pressure drop values. It was determined that in order to increase the reliability of the protection of workers, it is necessary to equip filter respirators with the functions of operational control of breathing resistance, place a headrest to control the occurrence of possible gaps behind the obturation band when performing various production operations, and establish the real term of the protective effect of the filters. The practical value of the work is innovative solutions to improve the designs of existing filter respirators, which will allow control over technological parameters during operation. In particular, the density along the obturation strip and the magnitude of the tension force of the respirator headgear. Recommendations are also given for controlling the term of the protective action of gas filters, since determining the specified indicators based on the organoleptic abilities of the user is dangerous for health.

Keywords: *risk, means of individual protection of respiratory organs, filtering respirator.*