

УДК 614.849

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-17>

РОЗРОБКА СКОМБІНОВАНОГО ФІЛЬТРУ З ІНДИКАЦІЄЮ ЗАКІНЧЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ДЛЯ ПРОТИГАЗУ

Радчук Дмитро Ігорович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-8034-541X
SCOPUS-AUTHOR ID: 55320621400

Чеберячко Сергій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3281-7157
SCOPUS-AUTHOR ID: 55217741400

Чеберячко Юрій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7307-1553
SCOPUS-AUTHOR ID: 55217741300

Наумов Микола Миколайович,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-9748-2506
SCOPUS-AUTHOR ID: 55320645800

Мета полягає в удосконаленні конструкції скомбінованих фільтрів для протигазу з індикацією закінчення часу захисної дії.

Методи. Визначення часу захисної дії виконувалось стандартним методом оцінювання поглинальної здатності фільтрів згідно з ДСТУ EN 14387:2021. Як тестові гази використовували аміак та сірководень. Тестування фільтрів проводилось етапами по 10 хвилин за раз, загальний час випробування фільтру додавався до загального значення. Визначення проникання газу через фільтр проводилось комбінованим способом з використанням газоаналізаторів та нюху випробувачів-експертів.

Результати. Проведено аналіз літературних джерел щодо вимог із застосування систем попередження користувачів фільтрів про закінчення часу захисної дії. Встановлено, що найбільш прийнятним методом є використання індикаторів. Удосконалено конструкцію скомбінованого фільтра за допомогою розміщення в передостанньому шарі активованого вугілля по центру руху повітряного потоку розчинної хлоридно-натрієвої капсули з ароматичною речовиною. Визначено, що час захисної дії скомбінованих фільтрів із хлоридно-натрієвою капсулою з ароматичною речовиною відрізняється до 20% від розрахункового, що дозволить зберегти здоров'я користувача завдяки ранній діагностиці закінчення адсорбційної ємності фільтра. Побудовано графіки залежності часу захисної дії скомбінованих фільтрів від концентрації шкідливої речовини в повітрі, які отримані теоретичним шляхом та апроксимацією даних згідно з отриманими експериментальними результатами. Розроблено рекомендації для користувачів фільтрів щодо зменшення ризиків отруєння шкідливими речовинами та підвищення ефективності використання засобів індивідуального захисту органів дихання.

Новизна полягає у визначенні адсорбційного ресурсу скомбінованого фільтру через руйнацію структури хлоридно-натрієвої оболонки капсули, яка містить ароматичні вуглеводи.

Цінність полягає у визначенні терміну захисної дії скомбінованих фільтрів завдяки появі різкого безпечного запаху в підмасковому просторі через попередню руйнацію хлоридно-натрієвої оболонки капсули, яка розташована в конструкції фільтра.

Ключові слова: адсорбція, скомбінований фільтр, капсула, ароматична речовина, час захисної дії.

Radchuk Dmytro, Cheberiyachko Serhii, Cheberiyachko Yurii, Naumov Mykola. Development of a combined filter with end of service life indicator for respirator

The purpose of article is to improve the design of combined filters for gas masks with the end of the service life indication.

Methods. Determination of the breakthrough time was carried out by the standard method for evaluating the absorption capacity of the gas and combined filters according to DSTU EN 14387:2021. Ammonia and hydrogen sulfide were used as test gases. The filters were tested in several stages of 10 minutes at a time, the total filter test time was added to the total value. Determination of gas penetration through the filter was carried out by a combined method using gas analyzers and the sense of smell of expert testers.

The results. An analysis of literary sources was carried out regarding the requirements for the application of systems for warning filters users about the expiration of the breakthrough time. It was established that the most acceptable method is the indicators using. The design of the combined filter has been improved by placing a soluble sodium chloride capsule with an aromatic substance in the penultimate layer of activated carbon in the center of the air flow. It was determined that the breakthrough time of combined filters with sodium chloride capsule with an aromatic substance differs by up to 20% from the calculated one, which will save the health of the user due to early diagnosis of the end of the adsorption capacity of the filter. Graphs of the time dependence of the protective effect of the combined filters on the concentration of the harmful substance in the air, which were obtained theoretically and by approximation of the data according to the obtained experimental results, were constructed. Recommendations have been developed for filter users to reduce the risks of poisoning by harmful substances and increase the effectiveness of the personal respiratory protection equipment using.

The novelty consists in determining the adsorption resource of the combined filter through the destruction of the structure of the chloride-sodium shell of the capsule, which contains aromatic carbohydrates.

The value lies in determining the breakthrough time of the combined filters due to the appearance of a sharp safe smell in the under-mask space due to the previous destruction of the chloride-sodium shell of the capsule, which is located in the filter structure.

Key words: adsorption, combined filter, capsule, aromatic substance, breakthrough time.

Актуальність. Загальновідома конструкція скомбінованого фільтру складається з корпусу з вхідним і вихідним отвором, на якому розміщено клапан вдихання, всередині якого розташовано шар активованого вугілля та високоефективний протипиловий фільтр (рис. 1) [1]. До недоліків цієї конструкції відносять відсутність системи індикації закінчення строку експлуатації та неможливість установити час захисної дії у виробничих умовах, що може призвести до вдихання користувачем отруйної концентрації шкідливих речовин. Тому для використання таких скомбінованих фільтрів виробники розробляють графіки їх заміни залежно від концентрації шкідливої речовини в повітрі робочої зони. Такі графіки є приблизними та не охоплюють усіх можливих варіантів розвитку подій і змін концентрації речовини протягом робочої зміни [2; 3]. Однак реальні умови експлуатації відрізняються від розрахункових, що потребує проводити уточнення в реальних умовах експлуатації, що призводить до помилок. Тому часто час захисної дії такого скомбінованого фільтра встановлюється безпосередньо користувачем на основі органолептичного відчуття шкідливої речовини в підмасковому просторі, коли користувач уже починає відчувати на запах або на смак шкідливу речовину. Настання такої ситуації є неприпустимим, оскільки людина може почати отруюватись, крім того, їй буде потрібен час для виходу із забрудненої зони на чисте повітря [4]. Разом із тим існує значна кількість

різноманітних газів без запаху, що унеможлиблює визначення безпечного терміну їх експлуатації. Крім того, в кожній людині різний поріг відчуття запахів, що може призвести до отруєння користувачів.



Рис. 1. Конструкція скомбінованого фільтра [5]

За останні роки з'явилися конструкції скомбінованих фільтрів із пасивними й активними індикаторами часу захисної дії (рис. 2). Пасивний індикатор являє собою хімічний датчик із тонкої ламінованої пластинки, котра має одну прозору зовнішню бічну стінку, через яку можна спостерігати зміну кольору від потрапляння шкідливої речовини. Активні індикатори використовують хімрезистори та напівпровідникові датчики, які вмикають світлову або звукову сигналізацію в разі спрацювання [6].



Рис. 2. Конструкції індикаторів строку захисної дії [7]

Недоліком таких систем індикації являється її розміщення на стінках корпусу фільтра, що потребує знімання протигазу чи скомбінованого фільтра для оцінювання рівня зміни кольору. Крім того, бічне розміщення призводить до значної похибки вимірювання часу захисної дії, оскільки найбільший об'єм забруднювальних речовин проходить через центральну частину фільтрувального шару і значно менше – на периферії, де розташовано датчик. Через це виникає актуальне завдання з удосконалення конструкції скомбінованих фільтрів для протигазу з індикацією закінчення строку служби.

Аналіз літературних джерел. Зараз для проектування нових півмасок широко використовують сучасні інформаційні технології з побудови цифрових моделей голови, півмаски, клапанної системи та конструкції наголів'я. При цьому найбільш уживаним є послідовне виконання декількох кроків [7; 8]: дослідження антропометричних характеристик обличчя працівників за допомогою 3D-сканування [8; 9]; побудова цифрових моделей голови користувачів із визначеними координатами ключових параметрів, за якими будується цифрова поверхня півмасок, наприклад із використанням NURBS – поверхонь чи B-сплайнів [10; 11]; підбір відповідного пакету фільтрувальних матеріалів для виготовлення півмаски [12]. З огляду на те, що з кожним роком підвищуються вимоги до захисту працівників, виникає необхідність у постійному вдосконаленні зазначеної процедури проектування півмасок із метою скорочення часу їх виготовлення, підвищення якості та захисних властивостей через урахування зміни антропометричних параметрів користувачів, необхідності посилення контролю за терміном захисної дії, особливо протигазових фільтрів, з урахуванням умов праці та кліматичних параметрів, покращення комфортності носіння через зменшення навантаження на користувачів, забезпечення мінімального тиску на обличчя користувачів [13; 14]. Тому під час розроблення нових конструкцій фільтрувальних

респіраторів важливо забезпечити швидке оброблення значного об'єму статистичних даних антропометричних параметрів обличчя з метою побудови аутентичної цифрової моделі голови, яка б дозволяла враховувати в цифровому зображенні зміни рис обличчя працівників за віком, статтю і національністю; якісну побудову 3D-каркаса поверхні півмаски, який дозволяє враховувати зміну індивідуальних рис людини; швидку перевірку технічних показників респіраторів як на етапі розроблення, так і на етапі виготовлення проектного зразка за допомогою відповідних математичних моделей; розрахунок часу захисної дії з урахуванням різних кліматичних і експлуатаційних параметрів експлуатації, розрахунок параметрів новітніх фільтрувальних матеріалів з індикацією їхніх властивостей та захисної ефективності респіраторів, що дозволить ще на етапі проектування провести оцінювання захисних властивостей респіраторів з урахуванням як функціональних, так і експлуатаційних параметрів.

Конструкція фільтра респіратора відіграє значну роль у формуванні ергономічних характеристик засобу індивідуального захисту. Саме параметри фільтра впливають на шлях руху чистого повітря, що надходить до користувача респіратора, тому створюється опір диханню, пилоємність фільтра, габарити, що будуть впливати на площу поля зору користувача тощо.

Конструктивно можна виділити фільтри циліндричної та пласкої форми. Фільтри циліндричної форми характеризуються наявністю центрально розміщеного вихідного отвору для руху повітряного потоку в напрямі до обличчя користувача, переважно гофрованого одношарового фільтрувального елемента циліндричної форми та висотою не менше 25 мм. Перевагами таких фільтрів є рівномірність руху повітряного потоку через фільтр, велика пилоємність та низький відсоток неробочої частини фільтра, проте недоліками є дещо високий опір диханню та зменшення площі поля користувача.

Фільтри пласкої форми переважно характеризуються зміщенням відносно центру вихідного отвору для руху повітряного потоку, пласким багат шаровим фільтрувальним елементом та невеликою висотою (до 20 мм) у порівнянні до циліндричних фільтрів. Перевагами таких фільтрів є низький опір диханню, велика пилоємність та більша площа поля зору в порівнянні з фільтрами циліндричної форми. Проте недоліками такої конструкції фільтрів є нерівномірність руху повітряного потоку через нього та присутність частин фільтра, який починає

працювати пізніше за інші шари, що призводить до швидшого проникання шкідливої речовини через фільтр [15; 16].

Конструктивні параметри фільтрів досліджувались у наукових роботах [17; 18], зокрема виконувався пошук оптимальних співвідношень між усіма елементами фільтрів. Дослідження виконувалися шляхом комп'ютерного моделювання з використанням VR-технологій і подальшим експериментальним підтвердженням розрахованих даних. Установлено, що оптимальним співвідношенням між вихідним каналом та висотою плаского типу фільтру є 1,3 до 1, що зменшує навантаження на дихальну систему користувача, тоді як дослідження для фільтрів циліндричної форми є відкритими для пошуків.

Мета роботи – удосконалення конструкції скомбінованих фільтрів для протигазу з індикацією закінчення строку служби.

Методика. Захисні властивості скомбінованих фільтрів ФРПА-С А1В1Е1К1 Р1 перевірялись на 12 зразках, 6 фільтрів з яких випробувались із використанням як тестової речовини газу аміак NH_3 та 6 фільтрів з використанням як тестової речовини газу сірководень H_2S . Гази аміак та сірководень було вибрано через можливість для людини визначити їх присутність нюхом. У 3 випробуваних фільтрах з 6 за однією тест-речовиною було встановлено хлоридно-натрієві капсули з ароматичною речовиною, в інших трьох її не було.

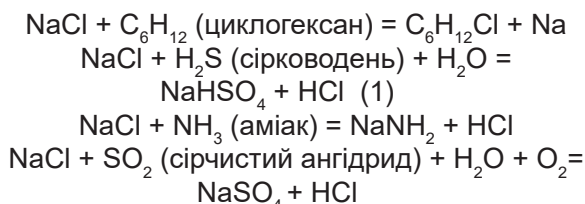
Оцінювання проникнення шкідливої речовини через фільтр проводилось комбінованим способом – насамперед фільтри насичувались газом у випробувальній камері з реєструванням даних газоаналізатором АНТ-3М, а потім їх наявність визначалась за допомогою випробувачів-експертів нюхом. Випробувачами-експертами були двоє спеціалістів випробувальної лабораторії ТОВ «СТАНДАРТ КАПІТАЛ ІНВЕСТ».

Тестування у випробувальній камері проводились таким чином. У випробувальну камеру стенду з визначення поглинальної здатності подавався один тестовий газ. Концентрація газу визначалась газоаналізатором Дозор-С-М-4 з реєструванням у програмному забезпеченні виробника, що є встановленим на персональному комп'ютері, та коригувалась системою вентилів плавного регулювання голкового типу. Концентрація у випробувальній камері газу аміак NH_3 становила 630–770 мг/м³, а для газу сірководень H_2S – 1260–1540 мг/м³, витрата повітря через фільтри – 15 л/хв, що відповідає вимогам EN 14387:2021 для фільтрів 1-го класу захисту. Надалі відрегульована, стабільна в часі концентрація газу, що подавалась до випробувальної

камері, відводилась триходовим краном у вентиляційну мережу для відведення. Камера провітрювалась чистим повітрям із лінії стисненого повітря, відкривалась і в ній на прийнятне для фільтра кріплення встановлювався випробуваний скомбінований фільтр ФРПА-С, камера герметично закривалась. Потім триходовим краном тестову суміш із відомою концентрацією повертали в камеру та починали випробування фільтра. Концентрація поза фільтром контролювалась газоаналізатором АНТ-3М. Час випробування фільтра визначався програмою випробувань, яка залежала від типу тестового газу, та не перевищував 10 хв. за одне випробування. Час тестування контролювався електронним секундоміром HS-43 з точністю до 1 с. Загальний час випробувань кожного з фільтрів додавався до загального часу випробування цього фільтра.

Після проходження тестового газу через фільтр у випробувальній камері останній знімався з прийнятної для закріплення фільтра насадки та передавався випробувачам-експертам для встановлення факту проникнення тестового газу через фільтр. За нормальних умов випробувань та відповідної якості фільтрів останні повинні мати запах тестового газу лише з боку припливу повітря, а у вихідного отвору в напрямку руху повітря до обличчя користувача запаху не має бути. У разі спрацювання розчинної капсули випробувачі-експерти мали відчутти запах ароматизованої речовини. Якщо випробувачі-експерти не відчували жодного із запахів, фільтри повертались на визначений програмою тестування час у випробувальну камеру для подальшого проходження через них тестового газу.

Результати дослідження. Пропонується в конструкції скомбінованих фільтрів, у шарі активованого вугілля розмістити розчинну хлоридно-натрієву капсулу з ароматичною речовиною (рис. 3). Вважається, що забруднене повітря потрапляє в корпус скомбінованого фільтра (1) через жалюзі (3), проходить через високоефективний протипиловий фільтр (5), де очищується від твердих аерозольних частинок. Потім потрапляє до шару активованого вугілля, де вступає в реакцію з активними речовинами, нейтралізується та затримується в порах вугілля. Активоване вугілля, яке повністю вичерпало свій сорбційний ресурс, призводить до руйнації структури хлоридно-натрієвої оболонки капсули шляхом деструкції на хімічні сполуки, що не є шкідливими для організму людини. Наприклад, розглянемо уловлювання для різних речовин:



Під час деструкції оболонки індикатора відбувається виділення ароматичних складників у вдихуване повітря, що відчуває користувач і розуміє, що час захисної дії фільтра закінчується і виникає необхідність його заміни.

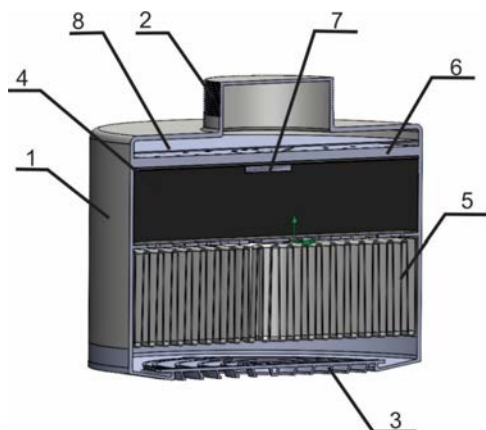


Рис. 3. Конструкція вдосконаленого комбінованого фільтра із системою індикації строку служби: комбінований фільтр (1); випускний отвір з різьбленням (2); вхідний отвір із жалюзі (3); фільтрувальні шари (4, 5); полімерні вставки-обмежувачі (6); хлоридно-натрієва капсула з ароматичною речовиною (7); шар фільтрувального матеріалу (8)

У таблиці 1 наведено порівняльні результати з визначення часу захисної дії комбінованих фільтрів із хлоридно-натрієвою капсулою, який визначено експертом, газоаналізатором у лабораторних умовах і розрахунковим шляхом за формулою [19]

$$t_{1\%} = C_0^{-1} V_l^{-1} W_e \rho_e \left(H_f - \frac{V_l}{k_v} \ln \left(\frac{C_0 - C}{C} \right) \right), \quad (2)$$

де W_e – сорбційна ємність активованого вугілля, г/г, C_0 – концентрація шкідливої речовини, г/см³, V_l – витрата повітря, що проходить крізь активоване вугілля, см³/хв, г/г C_0 – концентрація шкідливої речовини, г/см³, V_l – витрата повітря, що проходить крізь активоване вугілля, см³/хв, ρ_e – щільність упакування гранул активованого вугілля, г/см³, H_f – маса активованого вугілля, г; k_v – коефіцієнт швидкості адсорбції, хв.⁻¹, C – концентрація проникнення, що визначена для певної речовини, г/см³.

Бачимо, що присутність капсули в конструкції комбінованого фільтра дозволяє попередити появу шкідливої речовини в підмасковому просторі користувача та завчасно виконати заміну фільтрів на нові. Капсула зменшує до 5% об'єм активованого вугілля, що залучається до процесу фільтрування шкідливого газу, тому загальний час захисної дії фільтрів із капсулою дещо менший, ніж у фільтрів без неї. На рисунках 4 та 5 показано графіки залежності часу захисної дії від концентрації у випробувальній камері для різних шкідливих речовин, які розраховані теоретично з використанням формули (2) та отримані практично з використанням апроксимації даних.

Таблиця 1

Результати випробувань комбінованих фільтрів із використанням різних тестових газів

Номер фільтра та наявність капсули	Час появи запаху, визначений випробувачем-експертом, хв.	Час появи проникнення газу через фільтр, визначений газоаналізатором, хв.	Теоретично розрахований час захисної дії фільтрів, хв.
газ аміак NH ₃			
1 (присутня)	140	152	181
2 (присутня)	135	141	181
3 (присутня)	140	148	181
4 (відсутня)	-	159	189
5 (відсутня)	-	157	189
6 (відсутня)	-	161	189
газ сірководень H ₂ S			
1 (присутня)	55	59	84
2 (присутня)	55	62	84
3 (присутня)	55	63	84
4 (відсутня)	-	71	90
5 (відсутня)	-	68	90
6 (відсутня)	-	68	90

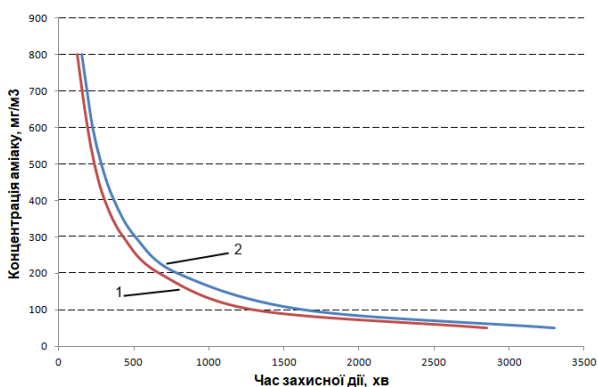


Рис. 4. Графік залежності часу захисної дії скomboваного фільтра концентрації шкідливої речовини (аміаку):
1 – час, отриманий за газоаналізатором,
2 – теоретично розрахований час

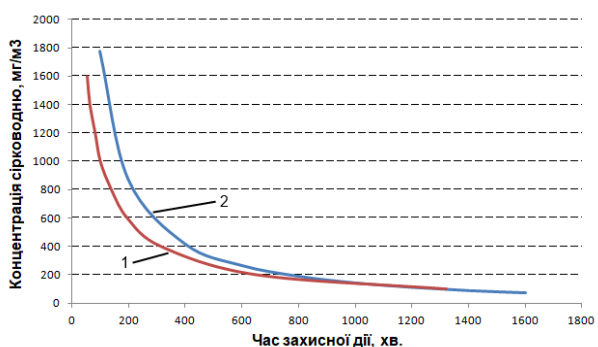


Рис. 5. Графік залежності часу захисної дії скomboваного фільтра концентрації шкідливої речовини (сірководень):
1 – час, отриманий за газоаналізатором,
2 – теоретично розрахований час

Фактично отриманий час захисної дії фільтрів із капсулою є меншим до 20% від розрахованого, що пояснюється конструктивними особливостями фільтра, які не залучають увесь наявний у фільтрі об'єм активного вугілля до процесу фільтрації. Також відмінності у фактичних даних можуть бути пояснені коливаннями технічних характеристик активного вугілля, що використовується у фільтрах, та, можливо, розподілом частинок вугілля в коробці й рухом повітряних мас через нього.

Обговорення результатів. Особливу увагу роботодавцям та користувачам фільтрів необхідно приділити визначенню часу їх захисної дії, оскільки цей параметр є ключовим для забезпечення ефективного захисту органів дихання та запобігання отруєння користувачів фільтрів. Для протипилового фільтра час захисної дії здебільшого визначається опором диханню, тоді

як для скomboваного фільтра він залежить від багатьох параметрів. Насамперед до цих факторів належать кількість та хімічний склад забруднювальних речовин, їх концентрації, умови застосування (об'ємна витрата повітря через фільтр, температура і вологість повітря). Крім того, важливими є характеристики самого фільтра, зокрема його конструкція, об'єм та властивості сорбенту у вигляді гранул, який зазвичай міститься в корпусі фільтрувальної коробки. Процес очищення повітря відбувається завдяки тому, що молекули шкідливої речовини стикаються з поверхнею сорбенту і «прилипають» до неї, утворюючи міцний зв'язок, завдяки додаванню спеціальних хімічних елементів. Проте зі збільшенням часу експлуатації фільтра сорбент поступово насичується забруднювальними речовинами і втрачає здатність ефективно поглинати нові домішки, що призводить до потрапляння небезпечних речовин у більш глибокі шари сорбенту. При цьому концентрація шкідливих речовин в очищеному повітрі, який потрапляє через фільтр у підмасковий простір респиратора або протигазу, поступово буде збільшуватись і через деякий час перевищить гранично допустиму концентрацію (ГДК). Отже, заміна протигазового фільтра повинна проводитися не пізніше цього моменту.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.04-07 «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання», затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 28 грудня 2007 р. № 331, та рекомендацій вітчизняних розробників основним критерієм необхідності заміни фільтра є наявність запаху шкідливої речовини в підмасковому просторі. Однак дослідження показали, що використання суб'єктивної реакції органів чуття на появу запаху під маскою є ненадійним способом, адже в частини газів відсутній запах за концентрацій, які значно перевищують гранично допустимі значення.

Реакція кожної людини на запах індивідуальна, вона може залежати від різних обставин і факторів, як-от здоров'я, концентрація на виконуваний роботі, напруженість і монотонність праці, рівень втоми. Дослідження показали, що поріг сприйняття запахів у 95% людей може значно коливатися в межах від 16 до 1/16 відносно загального «середнього» значення. Це означає, що у 2,5% користувачів він перевищує середнє значення більш ніж у 16 разів. Тобто, якщо в середньому люди реагують на запах хлороформу за концентрації близько 1 ГДК, то частина з них ніяк не відреагує в разі сильного

її перевищення. Також виявилось, що сприйняття залежить ще й від того, скільки уваги приділяється роботі, від стану здоров'я (простудні захворювання, наявність травм, алергія тощо), а також розуміння того, коли саме фільтр більше не забезпечує захист. На початкових стадіях людина може реагувати на запах за низьких концентрацій у 1000 разів меншої ГДК, але в процесі поступового її підвищення реакція слабшає і людина вже не буде реагувати на небезпечне перевищення, виникає ефект звикання. Крім того, за тривалого стажу роботи в забрудненій атмосфері, через вплив газоподібних речовин у разі невеликої концентрації може відбутися послаблення чутливості до цих речовин. Це може призвести до того, що небезпечне перевищення концентрації залишається непоміченим [20; 21].

У США та Європі ще в 1970-х роках визнали, що використання суб'єктивної реакції працівника на запах для визначення часу захисної дії протигазового фільтра є ненадійним способом. Згодом цей метод було повністю заборонено, оскільки наукові дослідження запропонували більш точні та безпечні підходи. Замість цього були розроблені методи розрахунку захисної дії фільтрів за допомогою комп'ютерних програм і впроваджені індикатори, як активні, так і пасивні. Пасивні індикатори працюють на основі зміни кольору спеціальних поглиначів у міру насичення сорбенту шкідливими газами, що дозволяє точно визначити момент, коли фільтр уже не виконує свою захисну функцію. Активні ж індикатори в режимі реального часу відслідковують концентрацію речовини та, за появи перевищення ГДК, подають світлову, звукову або комбіновану сигналізацію користувачеві про необхідність заміни фільтра [22; 23]. Використання альтернативних варіантів контролювання часу захисної дії фільтрів є малодослідженим напрямом діяльності, хоча в цій сфері вже можна знайти різноманітні цікаві пропозиції для впровадження, що є запатентованими.

Сучасне законодавство, зокрема в США, вимагає, щоб роботодавці замінювали фільтри або за визначеним графіком, або на підставі показників індикаторів. Графік заміни фільтрів складається на основі результатів

лабораторних випробувань тієї марки та типу скомбінованих фільтрів, що використовуються на підприємстві, з метою моделювання реальних виробничих умов. Випробування враховують такі параметри, як хімічний склад повітря, концентрація забруднювачів, температура та вологість повітря, що дозволяє створити максимально точні рекомендації щодо часу захисної дії фільтрів.

Крім того, виробники зобов'язані розраховувати та надавати за потреби розрахунок ризиків, пов'язаних із потенційними невідповідностями компонентів респіраторів, а також рекомендації щодо усунення цих проблем. Цей підхід забезпечує комплексний захист і мінімізує ризики для здоров'я працівників, особливо в умовах підвищеної небезпеки, де своєчасна заміна фільтра може бути критичною для збереження життя і здоров'я.

Крім технічних аспектів, одним із найважливіших факторів успішного захисту від небезпечних та шкідливих чинників є належне навчання персоналу. Працівники повинні бути навчені правильному використанню засобів індивідуального захисту органів дихання, включно з правильним підбором, користуванням, установленням і заміною фільтрів. Неправильне або несвоєчасне використання респіраторів може призвести до того, що навіть найсучасніші респіратори не забезпечать належного рівня захисту.

Також роботодавці зобов'язані забезпечити не тільки належну технічну підтримку та розрахунок часу захисної дії фільтрів, але й постійне навчання та перевірку знань працівників щодо використання засобів захисту для збереження їхнього здоров'я.

Висновки.

Удосконалено конструкцію скомбінованого фільтра через розміщення в передостанньому шарі активованого вугілля по центру руху повітряного потоку розчинної хлоридно-натрієвої капсули з ароматичною речовиною.

Визначено, що термін захисної дії скомбінованих фільтрів із хлоридно-натрієвою капсулою з ароматичною речовиною відрізняється до 20% від розрахункового, що дозволить зберегти здоров'я користувача завдяки ранній діагностиці закінчення сорбційної ємності фільтра.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Протигазовий фільтр : пат. 28733 Україна : А62В 23/00. № u 2007 07199 ; заявл. 26.06.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21. 3 с.
2. NIOSH [1996]. NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 96-101. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-101/default.html> (дата звернення: 29.08.2024).

3. Аналіз ефективності існуючих способів визначення часу захисної дії протигазових фільтрів. *Науковий вісник ДонНТУ*/Д.І.Радчук та ін. 2023. №2 (11). С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-2-11-128-137> (дата звернення: 29.08.2024).
4. Wang Y., Wang B. & Wang, R. Current Status of Detection Technologies for Indoor Hazardous Air Pollutants and Particulate Matter. *Aerosol Air Qual.* 2023. Res. 23, 230193. URL: <https://doi.org/10.4209/aqr.230193> (date of access 29.08.2024).
5. Rakyoungh J., Kim Sh.H., Kwangjun K., Kihyun K., Myungkyu P., Ireh S. et al. Advanced cartridge design for a gas respiratory protection system using experiments, CFD simulation and virtual reality. *Journal of Cleaner Production.* 2023. Vol. 426. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139101> (date of access: 29.08.2024).
6. Moon S.M., Lee S., Min H., Park S., Yoon S., Choi, J. H. et al. Design and Integration of a Gas Sensor Module that Indicates the End of Service Life of a Gas Mask Canister. *Adv. Mater. Technol.* 2022. No 7, 2100711. URL: <https://doi.org/10.1002/admt.202100711> (date of access: 29.08.2024).
7. Janvier, F. (2017). Effect of Mixtures Optimization of Parameters Used in Predictive Models for Respirator Cartridge Service Life for Toxic Organic Vapors. *Extended abstract of Doctor's thesis.* Montreal (Canada): Université de Montréal. P. 37.
8. Konda A., Prakash A., Moss G.A., Schmoldt M., Grant G.D. & Guha, S. Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS Nano.* 2020. Vol. 14. P. 6339-6347. URL: <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03252> (date of access: 29.08.2024).
9. Zhuang Z., Bradtmiller B., & Shaffer R.E. New respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2007. Vol 4. P. 647–659. URL: <https://doi.org/10.1080/15459620701497538> (date of access: 29.08.2024).
10. Groce D., Guffey S., & Viscusi D.J. Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit. *Journal of the International Society for Respiratory Protection.* 2010. № 27(1), P. 1–15.
11. Cai M., Li H., Shen S., Wang Yu & Yang, Q. Customized design and 3D printing of face seal for an N95 Filtering Facepiece Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2017. No 15(3). P. 226–234. DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598 (date of access: 29.08.2024).
12. Verma S., Dhanak M., & Frankenfield J. Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets. *Phys. Fluids.* 2020. Vol. 32, 061708. URL: <http://dx.doi.org/10.1063/5.0016018> (date of access: 29.08.2024).
13. Zangmeister C. D., Radney J.G., Vicenzi E.P. & Weaver J.L. Filtration efficiencies of nanoscale aerosol by cloth mask materials used to slow the spread of SARS CoV-2. *ACS Nano.* 2020. Vol. 14. P. 9188-9200. URL: <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c05025> (date of access: 29.08.2024).
14. Zhao M., Liao L., Xiao W., Yu X., Wang H., Wang Q. et al. Household materials selection for homemade cloth face coverings and their filtration efficiency enhancement with triboelectric charging. *Nano Lett.* 2020. Vol. 20. P. 5544-5552. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c02211> (date of access: 29.08.2024).
15. Zhang H., Zhang J., Hu Z., Quan L., Shi L., Chen J. et al. Waist-wearable wireless respiration sensor based on triboelectric effect. *Nano Energy.* 2019. Vol. 59. P. 75-83. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.063> (date of access: 29.08.2024).
16. Jennifer A. M., Gutierrez A., Galang M. D., Seva R. R., Lu M. C. & Ty, D.R.S. Designing an improved respirator for automotive painters. *International Journal of Industrial Ergonomics.* 2014. No 44(1). P. 131-139. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.004> (date of access: 29.08.2024).
17. Radchuk D., Cheberichko Yu., Naumov M., & Cheberichko S. Research of influence of the gas filter design parameters on the protective term of respirators. *Social Development and Security.* 2024. Vol. 14(3). P. 180-194. URL: <https://www.paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/689> (date of access: 29.08.2024).
18. Si F., Lian P., Yang D., Han G., Hao S. & Ye P. 3D Numerical Simulation of Aerodynamic Characteristics of a Gas Filter. *Journal of Applied Mathematics and Physics.* 2019. Vol. 7. P. 1920–1928. DOI: 10.4236/jamp.2019.78132 (date of access: 29.08.2024).
19. Jeon R., Kim S.H., Ko K., Kwon K., Park M., Seo I. et al. Advanced cartridge design for a gas respiratory protection system using experiments, CFD simulation and virtual reality. *Journal of Cleaner Production.* 2023. Vol. 426, 139101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139101> (date of access: 29.08.2024).
20. Barnard J.E., Scott S., Tennison S., Smith M.W., Harral M.W., Burrows A.D. et al. Design and optimisation of a multifunctional monolithic filter for fire escape masks. *Chemical Engineering Journal.* 2022. Vol. 430(2), 132775. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132775> (date of access: 29.08.2024).

21. Bessac B.F., & Jordt S.E. Sensory detection and responses to toxic gases: mechanisms, health effects, and countermeasures. *Proc Am Thorac Soc*. 2010. Vol. 7(4). P. 269-277. DOI: 10.1513/pats.201001-004SM (date of access: 29.08.2024).

22. Aqueveque P., Cortés M., Gómez B., Osorio R., Pastene F., Radrihan L. et al. Embedded Electronic Sensor for Monitoring of Breathing Activity, Fitting and Filter Clogging in Reusable Industrial Respirators. *Biosensors*. 2022. Vol. 12, 991. DOI: 10.3390/bios12110991 (date of access: 29.08.2024).

23. Checky M., Frankel K., Goddard D., Johnson E., Thomas J., Zelinsky M. et al. Evaluation of a Passive Optical Based End of Service Life Indicator (ESLI) for Organic Vapor Respirator Cartridges. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2015. Vol. 13. P. 1-30. DOI: 10.1080/15459624.2015.1091956 (date of access: 29.08.2024).

REFERENCES:

1. Protyhazovyi filtr [Gas filter]: pat 28733 Ukraine: A62V 23/00. № u2007 07199; zaiavl. 26.06.2007 ; opubl. 25.12.2007, Biul. №21. 3p. [in Ukrainian].

2. NIOSH [1996]. NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 96–101. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-101/default.html>.

3. Radchuk, D. I., Cheberiyachko, S. I., Cheberiyachko, Yu. I., & Deriuhin, O. V. (2023). Analiz efektyvnosti isnuichykh sposobiv vyznachennia chasu zakhysnoi dii proty hazovykh filtriv [Analysis of the existing methods effectiveness of determining the time of the gas filters protective efficiency]. *Scientific Bulletin of Donetsk National Technical University*, №2 (11), 128-137. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-2-11-128-137>. [in Ukrainian].

4. Wang, Y., Wang, B. & Wang, R. (2023). Current Status of Detection Technologies for Indoor Hazardous Air Pollutants and Particulate Matter. *Aerosol Air Qual.*, Res. 23, 230193. <https://doi.org/10.4209/aaqr.230193> (date of access 29.08.2024).

5. Rakyong, J., Kim, Sh. H., Kwangjun, K., Kihyun, K., Myungkyu, P., Ireh, S., et al. (2023). Advanced cartridge design for a gas respiratory protection system using experiments, CFD simulation and virtual reality. *Journal of Cleaner Production*, V. 426. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139101> (date of access 29.08.2024).

6. Moon, S. M., Lee, S., Min, H., Park, S., Yoon, S., Choi, J. H., et al. (2022). Design and Integration of a Gas Sensor Module that Indicates the End of Service Life of a Gas Mask Canister. *Adv. Mater. Technol.*, 7, 2100711. <https://doi.org/10.1002/admt.202100711> (date of access 29.08.2024).

7. Janvier, F. (2017). Effect of Mixtures Optimization of Parameters Used in Predictive Models for Respirator Cartridge Service Life for Toxic Organic Vapors. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Montreal (Canada): Université de Montréal. P. 37.

8. Konda, A., Prakash, A., Moss, G. A., Schmoldt, M., Grant, G. D. & Guha, S. (2020). Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS Nano*, 14, 6339-6347. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03252> (date of access 29.08.2024).

9. Zhuang, Z., Bradtmiller, B. & Shaffer, R.E. (2007). New respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 4, 647–659. <https://doi.org/10.1080/15459620701497538> (date of access 29.08.2024).

10. Groce, D., Guffey, S., & Viscusi, D. J. (2010). Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, № 27(1), P. 1–15.

11. Cai, M., Li, H., Shen, S., Wang, Yu & 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 (date of access 29.08.2024).

12. Verma, S., Dhanak, M., & Frankenfield, J. (2020). Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets, *Phys. Fluids*, 32, 061708. <http://dx.doi.org/10.1063/5.0016018> (date of access 29.08.2024).

13. Zangmeister, C. D., Radney, J. G., Vicenzi, E. P. & Weaver, J. L. (2020). Filtration efficiencies of nanoscale aerosol by cloth mask materials used to slow the spread of SARS CoV-2, *ACS Nano*, 14, 9188-9200. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c05025> (date of access 29.08.2024).

14. Zhao, M., Liao, L., Xiao, W., Yu, X., Wang, H., Wang, Q., et al. (2020). Household materials selection for homemade cloth face coverings and their filtration efficiency enhancement with triboelectric charging, *Nano Lett.*, 20, 5544-5552. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c02211> (date of access 29.08.2024).

15. Zhang, H., Zhang, J., Hu, Z., Quan, L., Shi, L., Chen, J., et al. (2019). Waist-wearable wireless respiration sensor based on triboelectric effect, *Nano Energy*, 59, 75-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.063> (date of access 29.08.2024).
16. Jennifer, A. M., Gutierrez, A., 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(1), 131–139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.004> (date of access 29.08.2024).
17. Radchuk, D., Cheberiachko, Y., Naumov, M., & Cheberiachko, S. (2024). Research of influence of the gas filter design parameters on the protective term of respirators, *Social Development and Security*, 14(3), 180-194. Retrieved from <https://www.paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/689> (date of access 29.08.2024).
18. Si, F., Lian, P., Yang, D., Han, G., Hao, S. and Ye, P. (2019) 3D Numerical Simulation of Aerodynamic Characteristics of a Gas Filter. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 7, 1920-1928. doi: 10.4236/jamp.2019.78132 (date of access 29.08.2024).
19. Jeon, R., Kim, S. H., Ko, K., Kwon, K., Park, M., Seo, I., et al. (2023). Advanced cartridge design for a gas respiratory protection system using experiments, CFD simulation and virtual reality, *Journal of Cleaner Production*, 426, 139101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139101> (date of access 29.08.2024).
20. Barnard, J. E., Scott, S., Tennison, S., Smith, M. W., Harral, M. W., Burrows, A. D., et al. (2022). Design and optimisation of a multifunctional monolithic filter for fire escape masks, *Chemical Engineering Journal*, 430(2), 132775. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132775> (date of access 29.08.2024).
21. Bessac, B.F, & Jordt, S.E. (2010). Sensory detection and responses to toxic gases: mechanisms, health effects, and countermeasures, *Proc Am Thorac Soc*, 7(4), 269-277. doi: 10.1513/pats.201001-004SM (date of access 29.08.2024).
22. Aqueveque, P., Cortés, M., Gómez, B., Osorio, R., Pastene, F., Radrihan, L., et al. (2022). Embedded Electronic Sensor for Monitoring of Breathing Activity, Fitting and Filter Clogging in Reusable Industrial Respirators, *Biosensors*, 12, 991. doi: 10.3390/bios12110991 (date of access 29.08.2024).
23. Checky, M., Frankel, K., Goddard, D., Johnson, E., Thomas, J., Zelinsky, M., et al. (2015). Evaluation of a Passive Optical Based End of Service Life Indicator (ESLI) for Organic Vapor Respirator Cartridges. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13, 1–30. doi: 10.1080/15459624.2015.1091956 (date of access 29.08.2024).