



В. І. Голінько /д. т. н./, С. І. Чеберячко /д. т. н./,  
А. В. Чиркин, Ю. І. Чеберячко /к. т. н./,  
М. М. Наумов /к. т. н./

ДВНЗ «Національний гірничий університет»,  
м. Дніпро, Україна  
e-mail: cheberiachkoyi@ukr.net

## Аналіз методів визначення терміну захисної дії проти газових фільтрів

V. I. Golinko, /Dr. Sci. (Tech.)/,  
S. I. Cheberyachko /Dr. Sci. (Tech.)/,  
A. V. Chirkin, Yu. I. Cheberyachko /Cand. Sci.  
(Tech.)/, M. M. Naumov /Cand. Sci. (Tech.)/

State Higher Educational Institution «National  
Mining University», Dnipro, Ukraine  
e-mail: cheberiachkoyi@ukr.net

## Analysis of methods for determining the term of protective action of gas masks

**Мета.** Визначити адекватний метод для визначення терміну захисної дії проти газових фільтрів у виробничих умовах.

**Методи.** Для досліджень використовували елементи системного аналізу, а розрахунки здійснено з використанням аналітичного методу кінетики адсорбції.

**Результати.** Описано сучасні принципи організації захисту робітників від газоподібних повітряних забруднень за допомогою засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), використовуваних в промислово розвинених країнах. Показано недосконалість чинного законодавства та невідповідність рекомендацій виробників і постачальників науково обґрунтованим вимогам до заміни протигазових фільтрів і вибору ЗІЗОД достатньої ефективності. Даються рекомендації щодо гармонізації національного санітарно-гігієнічного законодавства із західними. Встановлено, що найкращим способом оцінки терміну захисної дії фільтрувальних протигазових є розрахунковий або за допомогою комп'ютерних програм, розміщених на сайті американського інституту охорони праці NIOSH.

**Практична значущість.** Визначено процедуру розрахунку терміну захисної дії проти газового фільтра. (Л. 4. Табл. 2. Бібліогр.: 22 назв.)

**Ключові слова:** ЗІЗОД, протигазові фільтри, термін служби фільтра, коефіцієнт захисту.

**Актуальність.** Знизити забрудненість повітря робочої зони можна різними способами. Наприклад, герметизацією обладнання, вентиляцією виробничого приміщення та ін. Однак у разі їх недостатньої ефективності для збереження здоров'я робітників потрібне застосування засобів індивідуального захисту органів дихання. Найчастіше для зменшення дії шкідливих забруднень, що перебувають у газоподібному стані, використовують відносно легкі і недорогі фільтрувальні респіратори.

**Виділення невирішеної проблеми.** Чинне в Україні законодавство містить ряд вимог до роботодавця, спрямованих на запобігання розвитку хронічних профзахворювань і гострих отруєнь у працюючих у шкідливих умовах. Наприклад, НПАОП 0.00-8.11-12 наказ № 627 від 22.03.2012 «Про затвердження вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин», в якому вказуються нормовані показники концентрації хімічних речовин і граничнодопустимі середньозмінна концентрація у повітрі робочої зони працівни-

ка. Також відзначається, що суб'єкт господарювання повинен вжити заходів для виключення або зведення до мінімуму шкідливого впливу хімічних речовин, в тому числі і шляхом забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту згідно з Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженим наказом Держгірпромнагляду України від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/1 5137 (із змінами), «Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв (частина 1)», затвердженими наказом Держгірпромнагляду України від 07 вересня 2004 року № 194, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 26 жовтня 2004 року за № 1362/9961. Відповідно до цього положення роботодавець повинен забезпечити працівників тільки засобами індивідуального захисту, які мають позитивний ви-

сненок державної санітарно-епідеміологічної експертизи, сертифікат відповідності чи свідоцтво про визнання відповідності та задовольняють вимоги Технічного регламенту засобів індивідуального захисту, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27.08.2008 N 761 (761-2008-п). У стандарті наголошується, що для протигазових і газопилозахисних фільтрувальних ЗІЗОД час захисної дії означає термін часу від початку роботи пристрою до початку перевищення у підмасковому просторі нормованої величини концентрації контрольної шкідливої речовини (при випробуваннях у лабораторних умовах) або при появі запаху газу чи пари при застосуванні. Відзначимо, перевірка терміну захисної дії протигазових фільтрів відбувається за ДСТУ EN 14387:2006 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові і фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004, IDT)» (надано чинності за наказом Держспоживстандартом від 29 червня 2006 р. № 179 від 1.10.2007 р.), де вказується час захисної дії за умови заданої конкретної концентрації шкідливої речовини при визначеній витраті, вологості і температурі повітря. Наприклад, за хлором він складає 20 хв при концентрації  $C_0 = 3,0$  мг/л. При цьому в примітках ДСТУ EN 14387:2006 наголошується, що визначені терміни жодному разі не можна використовувати для розрахунку часу експлуатації у реальних умовах. У той же час є низка документів, які прямо беруть за основу наведені показники захисної дії у ДСТУ EN 14387:2006. Так, у СОУ МНС 75.2-00013528-002:2010 у пункті 6.1.1.24 вказуються терміни захисної дії фільтрів з посиланням на зазначений вище стандарт. Крім того, у «Положенні про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом...» зазначається, що роботодавець зобов'язаний забезпечити відповідно до інструкції з експлуатації ЗІЗ, яка розробляється, виходячи з вимог ДСТУ EN 14387:2006. Отже, виникає актуальне завдання з визначення безпечного терміну захисної дії протигазових фільтрів.

**Аналіз публікацій.** У нашій країні, ще за часів СРСР, рекомендувалося використовувати об'єктивні способи визначення необхідності заміни деяких фільтрів, але здебільшого все опиралося на особисте сприйняття працівника [2]. В інструкції із застосування промислових фільтрувальних протигазів (1970 р.) рекомендувалося відразу залишати робоче місце і змінювати фільтри при появі запаху під лицьовою частиною. Пізніше було видано каталог [3], де в таблицях вказувалися терміни служби всіх стандартних протигазних коробок і змінних фільтрів респіраторів при різних концентраціях до

60 найбільш поширених шкідливих речовин. Це дозволило хоча б частково позбутися необхідності особистого контролю [4]. Брак наукових розробок (зарубіжних та вітчизняних) не дозволив тоді повністю відмовитися від простих способів визначення терміну захисної дії, а поліпшенню ситуації в нашій країні завадили ще економічні та інші проблеми 1990-х років.

Сучасні публікації вітчизняних авторів в основному або просто ігнорують ризик загрози здоров'ю при недостатньо своєчасній заміні «сертифікованих» фільтрів, або відверто пропонують продовжувати використання реакції робітника на проникання шкідливої речовини під маску [5-8]. Також подібна інформація розміщується на сайтах виробників [9].

Однак рекомендації цих авторів суттєво відрізняються від науково обґрунтованих вимог нормативних документів європейських країн (CFR 1910.134; DIN EN 527-2005), в яких заборонено використовувати суб'єктивну реакцію органів почуттів для заміни фільтрів.

**Мета публікації.** Визначити адекватний метод для з'ясування терміну захисної дії протигазових фільтрів у виробничих умовах.

**Основний матеріал.** Значимо, що час безпечної експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання залежить багатьох чинників, зокрема від хімічного складу (суміші) повітряних забруднень, їх концентрацій, умов застосування (витрата повітря, його температура і вологість) і від властивостей фільтра (його форма, кількість і властивості сорбенту) [10]. Найбільш важливим елементом, який визначає строк служби респіратора, є протигазовий фільтр. У ньому використовується спеціальний сорбент, який розміщується в корпусі фільтрувальної коробки у вигляді гранул. Молекули шкідливої речовини стикаються з поверхнею сорбенту і «прилипають» до неї, утворюючи міцний зв'язок, за рахунок добавок спеціальних хімічних елементів. У міру насичення сорбент поступово втрачає здатність поглинати 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 респіратора або протигазу, поступово буде збільшуватись і через деякий час перевищить гранично допустимую концентрацію (ГДК). Отже, заміна протигазового фільтра має проводитися не пізніше цього моменту. Відзначимо, що за певних умов вже вловлені молекули шкідливих речовин можуть частково звільнитися (при нестійкому зв'язку із сорбентом) і потрапляти в повітря, що проходить через фільтр (десорбція).

Відповідно до НПАОП 0.00-1.04-07 та рекомендацій вітчизняних розробників основним критерієм необхідності заміни фільтра є запах шкідливої речовини у підмасковому просторі. Однак аналіз проведених досліджень показав, що використання суб'єктивної реакції органів чуття на появу запаху під маскою є не надійним способом – у частини газів відсутній запах при концентраціях, які значно перевищують гранично допустимі значення. Наприклад, за даними довідника ЗМ за вибором ЗІЗОД (2008) концентрація, при якій люди (в середньому) відчувають присутність діоксиду хлору, перевищує ГДК у 90 разів, а у пентаборана – у 190 разів. При меншій концентрації перевищення ГДК суб'єктивна реакція органів чуттів може збільшити «термін служби» фільтрів до нескінченності. Так зі 600 шкідливих речовин більше 60 не мають попереджувальних властивостей, а для 110 він зовсім не встановлений. Тому у США з 1996 р. у стандарті з охорони праці, який регулює порядок вибору і організації застосування ЗІЗОД, від роботодавця вимагають використовувати більш надійні способи ([11] п. 1910.134 (d) (3) (B)), а аналогічний стандарт ЄС з деякою затримкою також вимагає використовувати більш надійні способи ([12], п. А. 2.4.3).

Реакція людини на запах індивідуальна і може залежати від різних обставин. За даними [13], в групі людей поріг сприйняття запаху у

95 % перебуває в межах від 16 до 1/16 від «середнього» значення. Тоді у 2,5 % він перевищує середнє значення більш ніж у 16 разів. Тобто якщо в середньому люди реагують на запах хлороформу при концентрації  $\approx 1$  ГДК, частина з них ніяк не відреагує при сильному її перевищенні. Також виявилось, що сприйняття залежить ще і від того, скільки уваги приділяється роботі, від стану здоров'я (застудні захворювання тощо). Деякі речовини при поступовому збільшенні концентрації (як і відбувається при насиченні сорбенту) викликають «звикання»: якщо на запах сірководню люди реагують при концентрації в 1000 разів меншій ГДК, то при поступовому її збільшенні вони вже не будуть реагувати на небезпечне перевищення. Крім того, при тривалому стажі роботи в забрудненій атмосфері, через вплив газоподібних речовин при невеликій концентрації, може відбутися послаблення чутливості до цих речовин.

У цілому в США і Європі і раніше (в 1970-ті роки) вважали використання особистої реакції робочого для визначення терміну служби будь-якого протигазового фільтра ненадійним способом. Пізніше і зовсім заборонили користуватися цим способом, тому що були запропоновані більш надійні способи: розрахунок захисної дії за допомогою комп'ютерних програм (рис. 1), використання індикаторів – активних та пасивних (End of Service Life Indicator ESLI; у

The screenshot shows the 'Калькулятор для расчета ожидаемого срока службы картриджа' (Calculator for calculating the expected service life of the cartridge) interface. It features a progress bar with steps 1 through 5 and 'Результаты'. The main form includes fields for 'Загрязняющее вещество' (Contaminant), 'Концентрация' (Concentration), and 'ППЗ (Дополнительно)' (PPE (Optional)). There are radio buttons for units 'ppm' and 'mg/m3'. A search button 'Добавить химический реагент' (Add chemical reagent) is present, along with a message 'Не удалось найти химический реагент? Обратитесь сюда.' (Could not find chemical reagent? Contact here). On the right, there is a table with columns: 'Загрязняющее вещество', 'Концентрация', 'ППЗ', and 'газовый фильтр'. Below the table is a note: 'Примечание. Предельная концентрация эффективной работы (ПКЭР) рассчитывается путем умножения назначенных коэффициентов защищенности (указанных в EN 529) на местное предельное пороговое значение (ПКЭР = НКЗ x ППЗ). Поэтому рассчитанное значение ПКЭР может быть разным и зависит от страны. Во всех случаях, когда такие данные для соответствующих стран отсутствуют, при расчетах следует отдавать приоритет самому низкому значению.' (Note. The maximum effective working concentration (PKER) is calculated by multiplying the assigned protection coefficients (indicated in EN 529) by the local maximum threshold value (PKER = NKZ x PPE). Therefore, the calculated PKER value may be different and depends on the country. In all cases, when such data for the corresponding countries are missing, priority should be given to the lowest value during calculations.)

Рис. 1. Вигляд програми компанії MSA для розрахунку терміну захисної дії (текстові блоки русифіковані)

активних – світлова або звукова сигналізація, а у пасивних (рис. 2, 3) – зміна забарвлення спеціальних поглиначів у міру насичення коробки шкідливим газом). Зараз американський роботодавець зобов'язаний замінювати фільтри або за розкладом, що складається на основі визначення терміну служби з урахуванням конкретних умов використання або за показаннями індикаторів.

Складання розкладу відбувається за результатами теоретичних обчислень, які побудовані на рівняннях кінетики хімічної реакції. Наприклад, одним із розповсюджених є рівняння Уїлєра-Джонса [14]:

$$t_b = \frac{W_e \rho_\theta}{C_0} \left[ \frac{H_f}{V_l} - \frac{1}{k_v} \ln \left( \frac{C_0 - C}{C} \right) \right], \quad (1)$$

де  $W$  – вага активованого вугілля, г;  $\rho_\theta$  – щільність упакування активованого вугілля, г/м<sup>3</sup>;  $W_e$  – сорбційна ємність, при початковій концентрації  $C_0$ , моль/(г вугілля);  $C$  – концентрація газу, яка просочилася крізь фільтр, г/м<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрація газу в навколишньому середовищі, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – витрата повітря, дм<sup>3</sup>/хв;  $k_v$  – коефіцієнт швидкості адсорбції, 1/хв.

Це рівняння здебільшого використовують спільно з формулою Дубініна-Радушкевича для розрахунку сорбційної ємності для заданої органічної сполуки, коли уловлювання проходить за допомогою звичайного механізму адсорбції:

$$W_e = W_0 d_l \exp \left[ - \left( \frac{RT}{\beta E_0} \right)^2 \left( \ln \left( \frac{p_s}{p} \right) \right)^2 \right], \quad (2)$$

де  $W_0$  – об'єм мікропор вугілля, м<sup>3</sup>/г;  $E_0$  – базова енергія адсорбції, кДж/моль;  $d_l$  – щільність адсорбенту, г/м<sup>3</sup>;  $p_s$  – тиск парів при температурі  $T$ , К, які знаходяться в неадсорбованому стані, Па;  $R$  – універсальна газова постійна (8,314×10<sup>-3</sup> кДж/(моль·К));  $\beta$  – коефіцієнт афінності.

Відзначимо, що для отримання сорбційної ємності  $W_e$  (г/г вугілля) в кожному окремому по-



**Рис. 2. ESLI індикатори строку захисної дії**

єднанні газ/вугілля необхідно проводити експериментальні вимірювання у відповідних умовах (концентрація, витрата повітря і вологість).

Коефіцієнт швидкості адсорбції органічних сполук при їх уловлюванні активованим вугіллям  $k_v$  досить добре визначений в працях Лодеріка [15]. Він залежить від лінійної швидкості фільтрації  $V_l$  (см/с) і діаметра гранул активованого вугілля  $d_p$  (см):

$$k_v = 48\beta^{0,33} V_l^{0,75} d_p^{-1,5}, \quad (3)$$

Коефіцієнт афінності (спорідненості) залежить від молярної поляризації  $P_e$  (см<sup>3</sup>/моль):

$$\beta = 0,086 P_e^{0,75}. \quad (4)$$

Враховуючи, що витрату повітря можна виразити через швидкість фільтрації і площу поперечного перерізу, а час проникнення залежить від товщини сорбенту, то формулу 1 можна перетворити до вигляду:

$$t_{1\%} = C_0^{-1} V_l^{-1} W_e \rho_\theta \left( H_f - \frac{V_l}{k_v} \ln \left( \frac{C_0 - C}{C} \right) \right). \quad (5)$$

За формулою (5) було розраховано термін захисної дії для найбільш поширених шкідливих газів і відповідних фільтрувальних коробок



**Рис. 3. Пасивні індикатори строку захисної дії**

марки A1B1E1, що випускаються фірмою MSA до півмаски Advantage 201. При цьому температуру і вологість повітря було прийнято 20 °С, 75 %, а витрату повітря – 30 дм<sup>3</sup>/хв. Величини сорбційної ємності для активованого вугілля марки ASC-TEDA наведено в табл. 1. Для порівняння термін захисної дії було розраховано і за допомогою відповідної комп'ютерної програми, яка розміщена на сайті цієї компанії. Також час захисної дії було перевірено і в лабораторних умовах [16]. Результат зведено до табл. 1.

Аналіз отриманих результатів говорить, що розрахований за формулою і за програмою термін захисної дії менший за експериментальний, що у нашому випадку є гарним результатом і дозволить працівнику уникнути отруєння.

Однак не завжди можна для оцінки терміну захисної дії використовувати дані, наведені у каталогах виробників, часто наведені в них значення терміну захисної дії є завищеними і потребують перевірки виходячи із заданих умов експлуатації. У табл. 2 наведено порівняння рекомендованих термінів захисної дії протигазових коробок, які взяті з каталогу відомого російського відкритого акціонерного товариства «Хімкомінвест» [8], з розрахованими за формулою (5).

Аналіз опублікованих результатів досліджень використання ЗІЗОД у більш ніж 40 тис. організацій [1] показав, що заміна фільтрів за допомогою обчислення строку служби ускладнюється непередбачуваними умовами роботи. Це зумов-

лено тим, що отриманий період експлуатації фільтрів залежить від точності вихідних даних, при цьому нестача інформації приводить до помилок.

Новим серед індикаторів є розроблений фірмою 3М, пасивний індикатор ESLI, призначений для захисту від органічних парів [16]. Конструктивно він являє собою смужку з прозорого матеріалу, розташовану на бічній стороні коробки, яка поступово змінює колір у міру просування забрудненого повітря через шар сорбенту. Зміна забарвлення відбувається через потрапляння шкідливої речовини на спеціальну плівку, яка «набухає», тобто збільшується у товщині, чим впливає на інтерференцію відбитого світла. Відзначимо, що дослідження у сфері активних індикаторів мають позитивний результат, але через побоювання виробників, що роботодавець не буде на них витрачатися (через ціни і відсутність достатньо жорстких вимог закону), вони зараз виготовляються для дуже невеликого числа шкідливих речовин. Крім того, використання індикаторів не забезпечує надійного захисту працюючих, оскільки виникає необхідність знімання півмаски для контролю зміни кольору. Тому з 1990-х в США були сформульовані вимоги до протигазових коробок, що дозволили сертифікувати фільтри із спеціальними датчиками (рис. 4), які вказували про наближення кінця терміну служби в конкретних умовах використання. Зокрема такий пристрій повинен спрацьовувати при закінченні 80 ±10%

Таблиця 1

Термін служби газових фільтрів

Шкідливий газ	Концентрація в повітрі робочої зони, ppm	Проникнена концентрація через фільтр, ppm	Термін служби (хв), визначений		
			за програмою	за формулою	експериментально
Гептан	85	42,5	1077	1190	1271±12
	1000		95	109	111±4
Діізобутилкетон	20	10	4720	4998	5303±58
	1200		68	102	99±1
Нітротолуол	20	10	5120	4906	5197±97
	1000		115	141	140±3
Тетрахлоретилен	25	12,5	4434	4476	4986±339
	500		247	294	277±2
Бутилацетат	150	75	805	828	869±10
	1700		64	79	75±2

Таблиця 2

Порівняння термінів захисної дії протигазових коробок

Шкідливий газ	Протигазова коробка	Концентрація шкідливої речовини, мг/м <sup>3</sup>	Термін служби (хв), визначений	
			за формулою	за каталогом [8]
Бензол	ПФМ-1	25000	29	50
Сірчаний ангідрид		8600	32	45



Рис. 4. Перспективний респіратор з датчиками, заглибленими в сорбент, що сигналізують про наближення закінчення терміну служби фільтра (NIOSH)

від терміну служби ([17] п. 84.255), щоб робочий встиг покинути небезпечне місце для заміни фільтрів. Здебільшого вони складаються із системи датчик – підсилювач – звукова / світлова сигналізація. Компанія MSA і Scott виготовляє засоби для захисту тільки від хлору і ртуті.

У Росії зроблено спробу виготовити проти-газну коробку з прозорим корпусом і сорбентом, який міняв би колір при його насиченні кислими газами (рис. 3 зліва), але недостатня зацікавленість роботодавця та інформованість, а також реклама про «високоякісні» і «сертифіковані» звичайні фільтри зробили подібні розробки комерційно не вигідними. У нашій країні ведуться поодинокі дослідження з розробки пасивних індикаторів з визначення терміну захисної дії фільтрів за допомогою зміни забарвлення сорбенту від кількості уловленої шкідливої речовини. У рамках фундаментальних досліджень, проведених Фізико-хімічним інститутом захисту навколишнього середовища і людини, було розроблено декілька фільтрувальних півмасок марок, в яких використовуються імпрегновані волокнисті хемосорбенти респіраторного призначення з індикацією «спрацьовування» поглинальної ємності, для захисту від хлору, сірководню і аміаку [18], тобто у цих півмасок матеріал насичений поглиначем або виготовлений з волокон, здатних поглинати шкідливі гази.

Такі півмаски пропонується використовувати не тільки для захисту від аерозолів при перевищенні 1 ГДК<sub>рз</sub>, але і перевищенні концентрації газів понад 1 ПДК<sub>рз</sub> [4]. Це не може відповідати сучасній практиці організації застосування ЗІЗОД розвинених країнах. Термін служби таких фільтрувальних півмасок не може бути обчислений з використанням програмного забезпечення виробників. Причина полягає в тому, що маса сорбенту такого ЗІЗОД (~ кілька грамів) на порядок менше маси у змінних фільтрів еласто-

мерних півмасок (~60 грамів і більше), вага фільтру обмежена 300 грамами, що значно скорочує строк служби.

Інша потенційна небезпека при застосуванні протигазових фільтрів виникає при їх неодноразовому використанні. Це звичайна практика для фільтрів з великою кількістю сорбенту. Навіть у «Нормах безплатної видачі спеціального одягу...» термін використання для протигазів не вказаний, а стоїть відмітка «черговий», тобто передбачене багаторазове його використання відповідно до вказівок виробника. Звичайно, велика ємність значно збільшує термін служби фільтрів і знижує ризик отруєння при своєчасній їх заміні – при першому застосуванні. Однак через слабкий зв'язок між молекулами уловленої шкідливої речовини та сорбенту під час зберігання невикористаного фільтра вони можуть продовжувати подальшу хімічну реакцію, потрапляючи в повітря і мігруючи в напрямку меншої концентрації – до отвору для виходу очищеного повітря. Експерименти і математичне моделювання показали: повторне використання фільтрів у незабрудненій атмосфері може привести до вдихання раніше уловлених шкідливих речовин при концентрації, що перевищує 1 ПДК. Здатність парів органічних з'єднань з низькою температурою кипіння швидко мігрувати спонукала надалі розробити спеціальний стандарт, що вимагає перевіряти можливість десорбції, і вимоги до окремого класу фільтрів, що включають заборону на повторне їх використання. Однак ці вимоги недосконалі, в них не враховуються тривалість і термін зберігання, а також здатність мігрувати в інших речовинах [6].

Інший фактор, що негативно впливає на термін служби, – зволоження сорбенту, що видихається (зволоження може значно скоротити термін служби). Експерименти показали, що в

найгіршому випадку (при негативних температурах) можливе покриття волокон фільтра (і, відповідно, часток сорбенту) льодом, а це може зробити захист від газів неможливим.

Для захисту від газоподібних шкідливих речовин при перевищенні ПДК слід використовувати еластомерні маски зі змінними фільтрами, що містять значну кількість сорбенту, захищеного від контакту з повітрям, що видихається клапаном вдиху, як це і робиться в розвинених країнах. Крім того, при середньому терміні служби ~1–2 години [22] використання дорогих одноразових протигазаерозольних фільтрувальних півмасок не вигідне.

При лабораторних випробуваннях протигазові фільтри перевіряються при концентрації декількох шкідливих речовин 0,1–1,0 % за обсягом (на стенді), в тому числі фільтри третього класу захисту – 0,8–1,0 % [19]. Виконання таких рекомендацій для речовин з відносно невеликою молекулярною масою і маленькими ГДК може привести до помилок у застосуванні при дуже великій кратності перевищення ГДК. Наприклад, у речовин другого класу небезпеки акрилонітрилу й хлороформу (середньозмінені ГДК 0,5 і 5 мг/м<sup>3</sup> [0,2304 і 1,025 об'ємної частини на мільйон ppm] відповідно) концентрації 0,8 % відповідає перевищення ГДК в ~34 700 і ~7800 разів. При наявності ризику просочування невідфільтрованого повітря через зазори між повнолицевою маскою з панорамним склом і обличчям (до 9 % у виробничих умовах [20] і до 4 % [21] – в лабораторних) виконання подібних рекомендацій може створити загрозу не тільки для здоров'я, але і для життя.

**Висновки.** В умовах відсутності державного регулювання та навчання фахівців з охорони праці, вибір і організація застосування ЗІЗОД, зокрема фільтрувальних протигазових респіраторів, пов'язані з додатковим потенційним ризиком професійних захворювань і гострих отруєнь через несвоєчасну їх заміну; використання ЗІЗОД при надмірно більшій кратності перевищення ПДК; при неодноразовому використанні для захисту від летючих речовин. Така небезпека має шанс зрости при виконанні рекомендацій авторів, не обґрунтованих результатами наукових досліджень і не узгоджених з практикою застосування фільтруючих ЗІЗОД у розвинених країнах.

Для встановлення безпечного терміну захисної дії протигазових коробок можна скористатися спеціальними комп'ютерними програмами, які наведені на сайтах виробників або американського інституту охорони праці NIOSH.

Потрібна розробка відповідних нормативних документів, якими регламентується порядок за-

стосування такого досить складного технічного пристрою, як ЗІЗОД, враховуючи і сучасний рівень науки, і передовий західний досвід, і думку всіх зацікавлених сторін (фахівців з профзахворювань і охорони праці, представників профспілок та ін.), а не тільки інтереси продавців і виробників (які не враховують вимоги до безпеки робочих); підготовка механізму контролю за виконанням вимог та необхідних навчальних посібників.

### Бібліографічний список / References

- Standard 42 CFR Part 84 «Respiratory Protective Devices».  
Standard 42 CFR Part 84 “Respiratory Protective Devices” (in English).
- Трумпайтц Я. І. Індивідуальні засоби захисту органів дихання (альбом) / Я. І. Трумпайтц, О. М. Афанасьева. – Л.: Профиздат, 1962.  
Trumpaytsy Ya. I., Afanas'yeva O. M. (1962). *Individilnoe zasobirovanie orhaniv dykhannya* [Individual respiratory protection]. Leningrad, Profyzdat (in Russian).
- Шкрабо М. Л. Промислові протигази і респіратори. Каталог / М. Л. Шкрабо та ін.; Відділення НИИТЭХИМ. – Черкаси, 1982.  
Shkrabo M. L. *Promislovi protigazi i respiratori* [Cardiology]. Viddilennyya NIITEKHIM. Cherkasi, 1982 (in Russian).
- Васильев Е. В., Гизатуллин Ш. Ф., Спельникова М. И. Проблема выбора и использования противогазоаэрозольных фильтрующих полумасок / Е. В. Васильев, Ш. Ф. Гизатуллин, М. И. Спельникова // Справочник специалиста по охране труда. – 2014. – № 12. – С. 51–55.  
Vasiliev E. V., Gizatullin Sh. F., Spelnikova M. I. (2014) *Problema vybora i ispol'zovaniya protivogazoerazol'nykh fil'truyushchikh polumasok* [The problem of the choice and use of anti-gas-aerosol filtering half-masks]. Handbook of the specialist in occupational safety. Vol. 12, pp. 51-55 (in Russian).
- Каминский С. Л. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Выбор. Применение. Режимы труда / С. Л. Каминский, А. В. Коробейникова. – СПб., 1999. – 399 с.  
Kaminsky S. L., Korobeinikova A. V. (1999) *Sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya. Vyor. Primeneniye. Rezhimy truda* [Personal respiratory protection. The choice. Application. Modes of Labor.]. St. Petersburg. 399 p. (in Russian).
- Чеснокова М. В. Практические вопросы контроля качества и эффективности СИЗОД / М. В. Чеснокова // Справочник специалиста по охране труда. – 2014. – № 1. – С. 45–53.  
Chesnokov M. V. (2014) *Praktycheskiye voprosy kontrolya kachestva i éffektivnosti SYZOD* [Practical

issues of quality and efficiency monitoring]. Handbook of the specialist in occupational safety. Vol. 1, pp. 45-53 (in Russian).

7. Каминский С. Л. Рекомендации по выбору и применению средств индивидуальной защиты органов дыхания / С. Л. Каминский, А. Рогожин // Гражданская защита. – 2009. – № 8.

Kaminsky S. L., Korobeinikova A. V. (2009). *Rekomendatsii po vyboru i primeneniyu sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya* [Recommendations for the selection and use of personal respiratory protective equipment]. Civil protection. Vol. 8 (in Russian).

8. Промышленные средства индивидуальной защиты органов дыхания и кожи. Каталог. – 1997. – 76 с.

*Promyshlennyye sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya i kozhi* [Industrial means of individual protection of the respiratory system and skin]. Catalog (1997), 76 p. (in Russian).

9. Средства индивидуальной защиты. Каталог фирмы 3М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/ru\\_KZ/PPE\\_SafetySolutions\\_EU/Safety/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/ru_KZ/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/)

Individual protection means. Company catalog 3M. Mode access: [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_KZ/PPE\\_SafetySolutions\\_EU/Safety/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_KZ/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/)

10. Капцев В. А. Невесомый порог. Проблемы использования противогазных СИЗ органов дыхания / В. А. Капцев, А. В. Чиркин // Безопасность и охрана труда. – Нижний Новгород: БИОТа, 2015. – № 1. – С. 59–63.

Kaptsev V. A., Chirkin A. V., (2015) *Nevesomyy porog. Problemy ispol'zovaniya protivogaznykh SIZ organov dykhaniya* [Weightless threshold. Problems with the use of respiratory protective equipment for respiratory organs]. Safety and labor protection. Nizhny Novgorod, BIOT, vol. 1. pp. 59-63 (in Russian).

11. Crutchfield C. D. Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit / C. D. Crutchfield et al. // Applied Occupational and Environmental Hygiene. – 1999. – Vol. 14(12). – P. 827–837.

Crutchfield C. D. (1999) “Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit”. Applied Occupational and Environmental Hygiene. Vol. 14(12), pp. 827-837.

12. DIN EN 529-2005 «Atemschutzgeräte – Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung – Leitfaden».

DIN EN 529-2005 (2005) “Atemschutzgeräte – Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung – Leitfaden”.

13. Bollindger N. et al. NIOSH Respirator Selection Logic. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-100.

Bollindger N. (2005) NIOSH Respirator Selection Logic. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-100 (in English).

14. Wood G. O. Quantification and application of skew of breakthrough curves for gases and vapors eluting from activated carbon beds. Carbon 40:1883–1890 (2002).

Wood G. O. (2002) Quantification and application of skew of breakthrough curves for gases and vapors eluting from activated carbon beds. Carbon 40:1883-1890 (in English).

15. Lodewyckx P. Use of X-ray microtomography to visualise dynamic adsorption of organic vapour and water vapour on activated carbon / P. Lodewyckx, S. Blacher, A. Leonard // Adsorption 12. – 2006. – P. 19–26.

Lodewyckx P., Blacher S. and Leonard A. (2006) Use of X-ray microtomography to visualise dynamic adsorption of organic vapour and water vapour on activated carbon. Adsorption 12: pp. 19-26 (in English).

16. Melissa Checky Evaluation of a passive optical based end of service life indicator (ESLI) for organic vapor respirator cartridges / Melissa Checky et al. // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. – 2016. – Vol. 13(2). – P. 112–120.

Melissa Checky (2016) “Evaluation of a passive optical based end of service life indicator (ESLI) for organic vapor respirator cartridges”. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. Vol. 13(2), pp. 112-120 (in English).

17. New Research and Development on End-of-Service-Life Systems for Air Purifying Respirators. Presentation conference J. L. Snyder & L. A. Greenawald at the conference “International Society for Respiratory Protection” Prague (21–24.09.2014).

J. L. Snyder & L. A. (2014) Greenawald New Research and Development on End-of-Service-Life Systems for Air Purifying Respirators. Presentation conference J. L. Snyder & L. A. Greenawald at the conference “International Society for Respiratory Protection” Prague (in English).

18. Патент на корисну модель UA101221, МПК (2015.01), B01D39/00, B01D39/16 (2006.01), заявл. 14.04.2015р., опубл. 25.08.2015р., Бюл. № 16.; авторы: Еннан А. А., Хома Р. Є., Длубовський Р. М., Наумчак В. А., Абрамова Н. М.

Ennan A. A., Khoma R. Ye., Dlubovskiy R. M., Naumchak V. A., Abramova N. M. (2006) *Patent na corsna model* [Patent for utility model] UA101221, IPC (2015.01), B01D39/00, B01D39/16 (2006.01), the announcement 14/04/2015., Publ. 08/25/2015., Bul. № 16.

19. ДСТУ EN 14387:2006 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри проти-газові і фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004, IDT) (надано



чинності за наказом Держспоживчстандартом від 29 червня 2006 р. № 179 від 1.10.2007 р.).

EN ISO 14387 (2006) *Zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya. Fil'try protykhazovi i fil'try skombinovani. Vymohy, vyprobuvannya, markuvannya* [Means of individual protection bodies breathing filters. Filters antigas and combined Filters. Requirements, trials, labeling] (EN 14387: 2004, IDT).

20. Tannahill S. N., Willey R. J. and Jackson M. H. Workplace Protection Factors of HSE Approved Negative Pressure Full-Facepiece Dust Respirators During Asbestos Stripping: Preliminary Findings / S. N. Tannahill, R. J. Willey and M. H. Jackson // The Annals of Occupational Hygiene. – 1990. – Vol. 34 (6). – P. 541-552.

Tannahill S. N., Willey R. J. and Jackson M. H. (1990) "Workplace Protection Factors of HSE Approved Negative Pressure Full-Facepiece Dust Respirators During Asbestos Stripping: Preliminary Findings". The Annals of Occupational Hygiene. Vol. 34 (6), pp. 541-552 (in English).

21. Crutchfield C. D. Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit / C. D. Crutchfield et al. // Applied Occupational and Environmental Hygiene. – 1999. – Vol. 14 (12). – P. 827-837.

Crutchfield C. D. (1999) Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit // Applied Occupational and Environmental Hygiene. Vol. 14 (12), pp. 827-837 (in English).

22. Rozzi T. Pilot Study of Aromatic Hydrocarbon Adsorption Characteristics of Disposable Filtering Facepiece Respirators that Contain Activated Carbon / T. Rozzi, J. Snyder, D. Novak // Journal

of Occupational and Environmental Hygiene. – 2012. – Vol. 9 (11). – P. 624-629.

Rozzi T., Snyder J., Novak D. (2012) "Pilot Study of Aromatic Hydrocarbon Adsorption Characteristics of Disposable Filtering Facepiece Respirators that Contain Activated Carbon". Journal of Occupational and Environmental Hygiene. Vol. 9 (11), p. 624-629 (in English).

**Purpose.** Determine the adequate method for determining the period of protective action of gas masks in the production conditions.

**Methodology.** For research, elements of system analysis were used, and calculations were made using the analytical method of kinetics of adsorption.

**Findings.** The modern principles of the organization of protection of workers from gaseous air pollution by means of personal protection of respiratory organs (ZIZOD) used in industrialized countries are described. The imperfection of the current legislation and the non-compliance of the recommendations of producers and suppliers with the scientifically substantiated requirements for replacement of gas mask filters and the choice of a safety and security alarm system are shown to be sufficiently effective. Recommendations on harmonization of national sanitary and hygiene legislation with the western ones are given. It is established that the best way to assess the term of protective action of filter masks is to calculate or use computer programs posted on the site of the American Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH).

**Practical value.** The procedure for calculating the time of a protective gas-mask filter has been determined.

**Key words:** PRP, gas-mask filters, filter service life, protection factor

Поступила 08.04.2017

