

УДК 614.894.3

Чеберячко С.І., д-р техн. наук, професор,
Столбченко О.В., канд. техн. наук, доцент,
Чеберячко Ю.І., канд. техн. наук, доцент,
Гуца В.О., магістр
 (Державний ВНЗ «НГУ»)

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ПРОТИАЕРОЗОЛЬНИХ ПІВМАСОК

Чеберячко С.И., д-р техн. наук, професор,
Столбченко Е.В., канд. техн. наук, доцент,
Чеберячко Ю.И., канд. техн. наук, доцент,
Гуца В.О., магістр
 (Государственное ВУЗ «НГУ»)

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПРОТИВОАЭРОЗОЛЬНЫХ МАСОК

Cheberyachko S.I., D.Sc.(Tech.), Professor,
Stolbchenko O.V., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Cheberyachko Yu. I., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Hushcha V.O. M.S. (Tech.)
 (State HEI «NMU»)

CONSTRUCTIVE PECULIARITIES OF MODERN FILTERING ANTI-AEROSOL MASKS

Анотація. Метою роботи є узагальнення сучасних тенденцій розвитку конструкцій фільтрувальних півмасок для забезпечення високого рівня захисту працівників.

Визначено, що основними показниками півмасок, від яких залежить їх ефективність, є надійне ізолювання органів дихання, високоякісне очищення повітря і своєчасне використання півмасок. Визначено, що основними показниками півмасок, від яких залежить їх ефективність, є надійне ізолювання органів дихання, високоякісне очищення повітря і своєчасне використання півмасок. Встановлено, що основними причинами погіршення їх захисних властивостей є нещільності за смугою обтюраторії та низький термін захисної дії фільтрів. Запропоновано, конструкції складових елементів фільтрувальних респіраторів, які підвищують ступінь захисту працівників. Використання надувного обтюратора, дискових клапанів товщиною 0,4 мм, суцільної смуги наголів'я в цілому зменшить коефіцієнт проникнення півмасок до 80 %. Збільшення терміну захисної дії респіраторів до 60 % можливий за рахунок використання форфільтрів попереднього очищення.

Наведена інформація буде корисною при прийнятті рішення, щодо вибору ефективного респіратора.

Ключові слова: респіратор, коефіцієнт захисту, ЗІЗОД, професійні захворювання, аерозольний фільтр, пиломісткість.

Актуальність. В Україні найбільш поширеними професійними захворюваннями за даними Фонду соціального страхування від тимчасової втрати працездатності є захворювання органів дихання, причина яких – дія різних промислових аерозолів. Це призводить до необхідності розробки з використанням інноваційних підходів нових і удосконалення існуючих протиаерозольних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) з метою використання в різних галузях промисловості та АПК, при умові достатнього вмісту кисню (не менше 17 %) і обмеженим відомим вмістом шкідливих речовин.

Постановка проблеми. Використання сучасних технічних засобів колективного захисту (вентиляції; місцевих відсмоктувачів, вбудованих у комбайн; повітряних душів; дистанційного керування комбайном та ін.) дозволяє знизити запиленість у зоні дихання практично до допустимої величини. У перспективі перехід на такі технології необхідний і неминучий. На жаль, поліпшення умов праці станеться не відразу і не повсюдно, оскільки впровадження новітніх і ефективних засобів колективного захисту потребує значних витрат на реконструкцію гірничого обладнання та технології видобутку. Тому на даному етапі важливо покращити захист працівників при використанні респіраторів застосуванням сучасних високоефективних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

Мета роботи. Проаналізувати сучасні тенденції у розвитку конструкцій фільтрувальних півмасок для забезпечення високого рівня захисту.

Основний матеріал. Вирішення поставленої задачі вбачаємо у забезпеченні надійного ізолювання півмаскою органів дихання від потрапляння аерозольних часток, забезпечення очищення повітря у фільтрах до значень, відповідних вимогам НД та своєчасному використанню респіраторів протягом всієї зміни або коли кількість шкідливих домішок перевищує гранично допустимі значення.

Надійне ізолювання органів дихання від шкідливого навколишнього середовища досягається у півмасках, лицева частина яких виконана з повітропроникного фільтруючого матеріалу, завдяки використанню смуги обтюраторії зі змінною геометрією [1], яка може видозмінюватись враховуючи антропометричні відмінності обличчя (рис. 1) або повітронепроникного матеріалу, наприклад силікону, який добре може повторювати контури обличчя (рис. 2).



а) респіратор типу «Сніжок»; б) типоряд респіраторів «Еол»; в) респіратор «Хібіни»

Рисунок 1 – Приклади ЗІЗОД зі змінною геометрією смуги обтюраторії

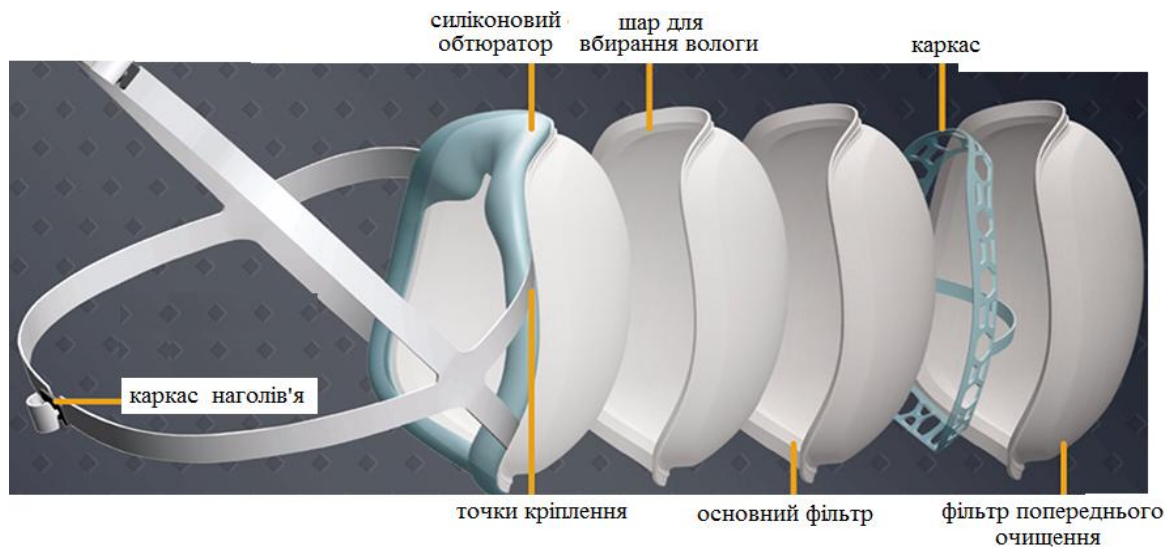


Рисунок 2 – Приклади ЗІЗОД з спеціальним ущільнювачем за смугою обтюрації респіратор SoftSeal Masks фірми Sierra Safety

Слабким місцем обтюратора вважається зона перенісся, де і фіксується найбільша кількість підсмоктувань нефільтрованого повітря табл. 1. Тому зусилля виробників направлені на вивчення змін антропометричних параметрів обличчя, зумовлених віком, умовами праці, національністю та інших. Це дозволяє побудувати найбільш прийнятний контур ущільнювача півмаски з використанням сучасних 3d-технологій.

Таблиця 1 - Розподіл місць просочування аерозолі за смугою обтюратора [2]

Підгрупа, що перевірялась	Кількість учасників у яких було зафіксовано підсмоктування
Підсмоктування тільки біля носа	58
Підсмоктування біля носа і підборіддя	24
Підсмоктування тільки за щоками	15
Підсмоктування біля носа і щік	26
Підсмоктування тільки у підборіддя	7

У випадку півмасок з еластомерною лицевою частиною, надійність ізолювання залежить, від конструкції обтюратора та матеріалу з якого він виготовлений. Відомі наступні ущільнювачі між півмаскою і обличчям single-skin respirator seal (звичайна одиночна складка; буває пласкою (flat) та внутрішньою (inner fla)), airbag (надувний обтюратор), reflex (гнучка U-подібна складка, забезпечує дві смуги торкання) і double-bladed respirator seal (гофрований обтюратор з двома смужками торкання до обличчя) (рис. 3). Найкраща з них остання (рис. 4), але подібна конструкція значно зменшує внутрішній простір півмаски і тому використовується тільки в особливих випадках, наприклад у військових протигазах.



1 – одиночна складка; 2 –повітряний обтюратор; 3 – гнучкий и подібний обтюратор; 4 –гофрований обтюратор

Рисунок 3 – Конструкції обтюраторів

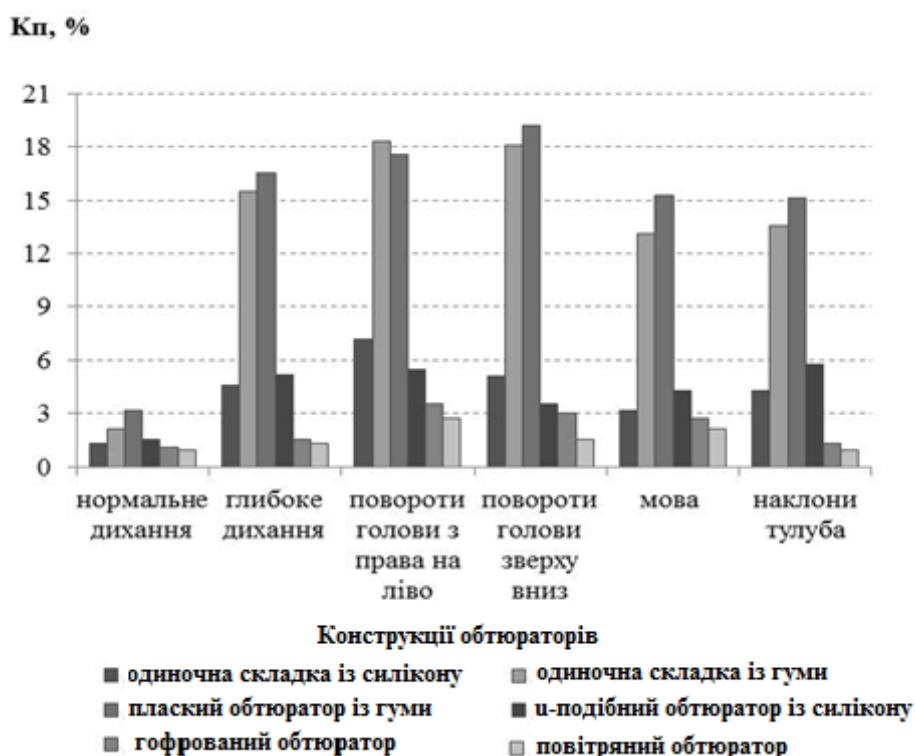
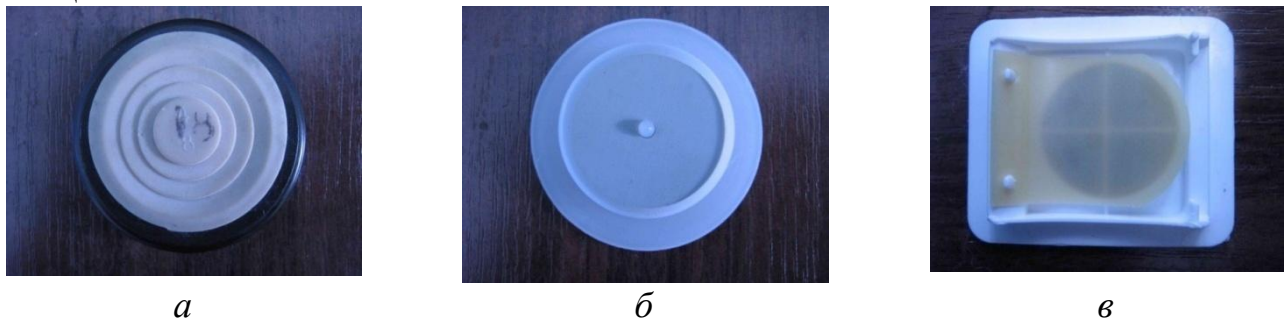


Рисунок 4 – Коефіцієнт проникнення респіраторів з різними обтюраторами [3]

У фільтруючих ЗІЗОД проникання аерозолів можливе, також, за рахунок конструкцій вузлів клапанів вдиху і видиху. Вони вирішують важливу задачу – зменшують наявність вологи у підмасковому просторі і забезпечують його вентиляцію. Однак через недосконалість конструкцій вузла клапана вдиху і видиху або його складових частин, можливе забруднення сідловини значно погіршуються ізолювальні властивості півмасок. Надійною конструкцією клапану видиху вважається грибкова (рис. 5). Однак виробники сьогодні використовують більш прості дискові клапани. Їх ефективність залежить від правильно підбраного матеріалу його товщини, зокрема і від комбінації між жорсткістю і еластичністю. Важливо так підібрати ці параметри, щоб клапан швидко спрацював при зміні фази дихання (рис. 6).

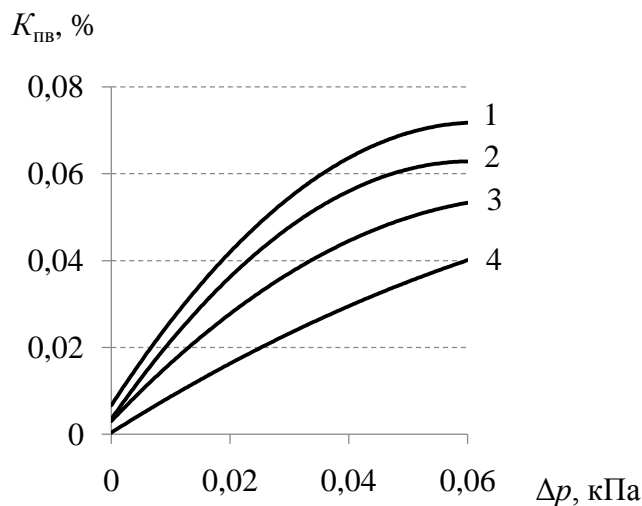
У фільтруючих ЗІЗОД проникання аерозолів можливе, також, за рахунок

конструкцій вузлів клапанів вдиху і видиху. Вони вирішують важливу задачу – зменшують наявність вологи у підмасковому просторі і забезпечують його вентиляцію.



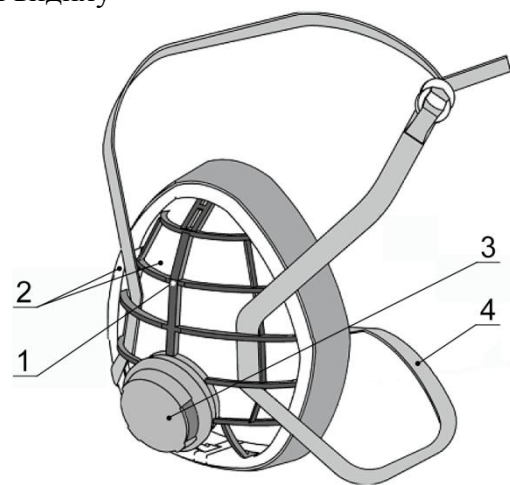
a – грибоквий; *б* – дисковий; *в* – пелюстковий

Рисунок 5 – Клапани видиху



1 – дисковий (товщина 0,5); 2 – пелюстковий;
3 – грибоквий; 4 – дисковий ребриста форма (товщина 0,4)

Рисунок 6 - Залежність коефіцієнта підсмоктування ($K_{пв}$) від величини перепаду тиску (Δp) [4]



1 – корпус,
2 - обтюратор, 3 - клапанний вузол,
4 - наголів'я з еластичної стрічки регульованої довжини

Рисунок 7 – Півмаска Мрія

Однак через недосконалість конструкцій вузла клапана вдиху і видиху або його складових частин, можливе забруднення сідловини значно погіршуються ізолювальні властивості півмасок. Надійною конструкцією клапану видиху вважається грибоква (рис. 5). Однак виробники сьогодні використовують більш прості дискові клапани. Їх ефективність залежить від правильно підбраного матеріалу його товщини, зокрема і від комбінації між жорсткістю і еластичністю. Важливо так підібрати ці параметри, щоб клапан швидко спрацював при зміні фази дихання (рис. 6). Проблемним місцем практично кожного респіраатора, як вказано вище, є область перенісся, де фіксується майже 60 % всіх підсмоктувань за смугою обтюраторії [4]. Для вирішення цієї задачі у фільтрувальних півмасок використовують носовий затискач. Проблемою для виробників є вибір еластичного матеріалу для його виготовлення та розрахунок розмірів і вибір форми. Він в більшості випадків являє собою пластинку з алюмінію, що може

повторювати форму перенісся і тримати її певний час. Це здорожує півмаску і сприяє погіршенню герметичності після кількох разового одягання ЗІЗОД. Задачу можна вирішити за допомогою виготовлення спеціального каркасу, де буде передбачена можливість ущільнення проблемної ділянки зміною його геометрії та обтюратора, наприклад, у півмаски Мрія (рис. 7).



Рисунок 7 - Звуження в області перенісся півмаски Profile 40



Рисунок 8 - Півмаска з гофрованою ділянкою на переніссі „Combitox Nova”

У еластомерних півмасок – задача вирішується декількома шляхами. Найпростіший – це звуження обтюратора; складніший – виготовлення гофрованої ділянки обтюратора в цій області (рис. 8, 9).



1 – корпус лицевої частини; 2 – головний гарнітур швидкого припасування;
3 – вузол клапана видиху

Рисунок 9 - Півмаска фільтрувальна з головним гарнітуром швидкого припасування (модифікація 1)

Важливим елементом забезпечення високих ізолювальних властивостей є наголів'я, яке відповідає за фіксацію півмаски на голові користувача та рівномірний розподіл зусиль за смугою обтюратора [5]. Існує чимало їх конструкцій, але частіше всього використовуються еластичні стрічки. Проблема, вирішенням якої сьогодні займаються провідні виробники, це пошук матеріалу, який забезпечував би достатні притисні зусилля після декількох разів знімання - одягання ЗІЗОД. Одним із перспективних напрямів є також відмова від використання стрічок, складність використання яких полягає ще й у визначенні їх місця кріплення, для забезпечення рівномірного притискання півмаски. Так кріплення півмаски забезпечується за допомогою головного гарнітуру швидкого припасування з двох суцільних широких смуг, які кріпляться на голові (рис. 9).

Порівняльні дослідження з визначення коефіцієнта підсмоктування півмасок з різними типами наголів'я підтвердили вказаний вище висновок (рис. 10).

Ще однією важливою задачею є продовження терміну використання ЗІЗОД. Рішення вбачається у використанні форфільтрів в комплекті зі змінними протиаерозольними високоефективними фільтрами. Хоча використання фільтрів попереднього очищення є досить поширеним у сучасних респіраторів. Більшість з яких виготовляють багат шаровими. Автори вбачають вирішення даної проблеми у використанні спеціальних матеріалів для використання ефекту автофільтрування, який значно збільшить термін захисної дії захисних пристроїв. При дії форфільта в режимі автофільтрації аеродисперсних частинок абсолютний (основний) фільтр не «спрацьовується». Його зміна здійснюється, коли опір диханню (сумарний опір форфільтра та абсолютного фільтра досягає критичної величини (>100 Па). Користувач в цьому разі відчуває утруднення при диханні (табл. 2) [6].

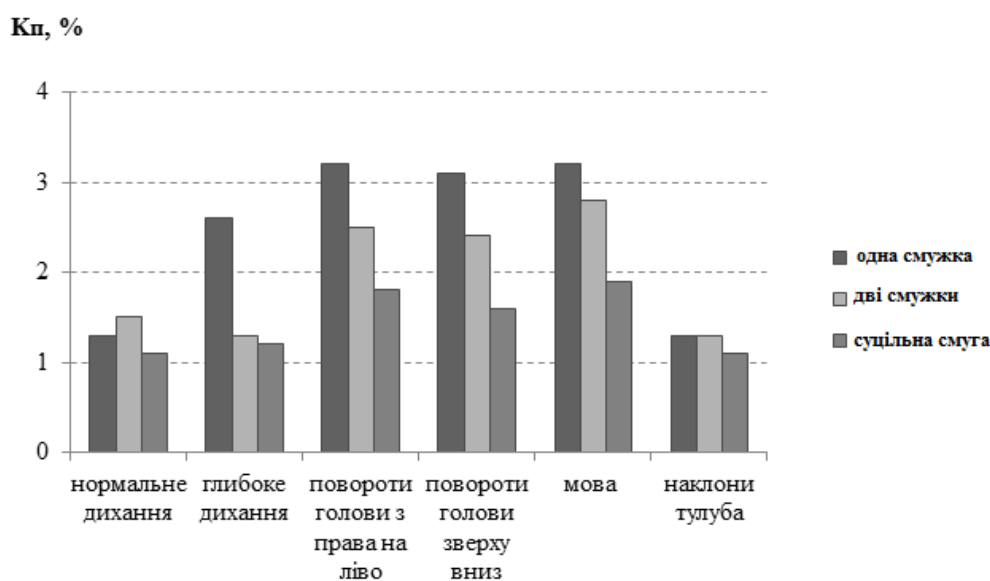


Рисунок 10 – Коефіцієнт проникнення півмаски Сніжок з різним наголів'ям

Таблиця 2 - Характеристика фільтрувальних півмасок під час запилення

Показники	Фільтрувальна півмаска	
	з форфільтром	звичайна
Початковий перепад тиску, Па при витраті повітря 95 дм ³ /хв.	86	72
Кінцевий перепад тиску, Па при витраті повітря 95 дм ³ /хв., для півмасок 2 класу	500	
Пиломісткість, г, при витраті повітря 95 дм ³ /хв., з концентрацією пилу у випробувальній камері 500 мг/м ³	7,7	3,2
Час запилення, хв., до досягнення критичного опору дихання	164	68

Висновок. Якість сучасного респіратору залежить від трьох складових, якості фільтра, надійної герметизації між обличчям і півмаскою і своєчасним його використанням протягом всієї зміни. Сьогодні промисловістю освоєно виготовлення високоефективних фільтрувальних елементів, для збільшення терміну захисної дії необхідно підібрати, розрахувати спеціальні фільтри попереднього очищення, які б працювали в режимі автофільтрування. Надійність герметизації є складною задачею, яка вимагає постійного пошуку нових рішень і в

оцінці впливу антропометричних параметрів обличчя і розрахунку каркасу півмасок розміщення наголів'я, підбору відповідного матеріалу для клапанів вдихання і видихання. В комплексі всі рішення повинні бути направлені на підвищення комфорту використання півмасок, зменшення негативного впливу, болювого відчуття, утруднення дихання, тобто забезпечення безперервного використання захисних пристроїв протягом роботи у небезпечних зонах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Математическое моделирование конструкции облегченного респиратора типа «Снежок» / А.А. Эннан, В.И. Байденко, Л.В. Климова [и др.] // Тр. 1-ой Междунар. научн.-практ. конф. «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве», 11–13 сент. 2002 г., г. Одесса: Астропринт, 2002. – С. 255–276.
2. Oestenstad, R.K. Distribution of Faceseal Leak Sites on a Half–Mask Respirator and Their Association with Facial Dimensions. / R.K. Oestenstad, H. Kenneth, D.L. Perkins, L.L. Perkins // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1990. – № 51(5). – P. 285 – 290.
3. Взаємозв'язок між ізольованими властивостями півмасок та коефіцієнтом захисту респиратора / В.Ю.Фрундін, С.І.Чеберячко, О.В. Столбченко [та ін.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2016. - № 2. - С. 131 - 135.
4. Долгова, Т.І. Дослідження ефективності роботи клапанів видиху фільтрувальних півмасок / Т.І. Долгова, С.І. Чеберячко, Д. І. Радчук // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. - Дніпропетровськ, 2014. - Вип. 115. - С. 199-208.
5. Взаимосвязь между защитной эффективностью и общим давлением респираторов / А.А. Эннан, В.Г. Шнейдер, Н.И. Байденко [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 1994. – № 11. – С. 11–12.
6. Пат. 113768 Україна, МПК А62В 9/00. Фільтруючий патрон до респиратора / А.А. Эннан, Н.М. Абрамова, С.І. Чеберячко, А.В. Галак; заявник ФЗХІЗНС і Л. – № 2016 08953; заяв. 22.08.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3.

REFERENCES

1. Ennan, A.A., Baidenko, V.I., Klimova, L.V. and Belinsky, E. E. (2002), “Mathematical simulation of the design of a lightweight respirator type “Snow”, *Trudy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Zashchita okruzhayushchey sredy, zdorove, bezopasnost v svarochnom proizvodstve”* [Proceedings of the 1-st International scientific-practical conference Protection of the environment, health, safety in the welding industry], September 11-13 2002, Odessa: Astroprint, pp. 255–276.
2. Oestenstad, R.K., Kenneth, H., Perkins, D.L., and Perkins, L.L. (1990), “Distribution of Faceseal Leak Sites on a Half–Mask Respirator and Their Association with Facial Dimensions”, *American Industrial Hygiene Association Journal*, no. 51(5), pp. 285 – 290.
3. Frundin, V.Yu., Cheberyachko, S.I, Stolbchenko, O.V. and Cheberyachko, Y.I. (2016), “Relationship between the isolated properties of the half masks and the coefficient of protection of the respirator”, *Metalurgical and mining industry*, no. 2, pp. 131 – 135.
4. Dolgova, T. I., Cheberyachko, S. I. and Radchuk, D. I. (2014), “Investigation of efficiency of work of exhaust valves of filtering half masks”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 115, pp. 199-208.
5. Ennan, A.A., Schneider, V.G., Baidenko, N.I. and Mironov, A.A. (1994), “The relationship between protective effectiveness and the general pressure of respirators”, *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 11, pp. 11-12.
6. Ennan, A.A., Abramova, N.M., Cheberyachko, S.I. and Galac, A.V., FZHIZNS and L. (2016), *Filtryuyuchy patron do respiratora* [Filter cartridge to the respirator], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 113768.

Про авторів

Чеберячко Сергій Іванович, доктор технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, sicheb@ukr.net.

Столбченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна,

elena_aot@ukr.net.

Чеберячко Юрій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, cheberiachkoyi@ukr.net.

Гуца Валерія Олегівна, магістр, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, valeriahushcha@gmail.com.

About the authors

Cheberyachko Sergiy Ivanovych, Doktor of Technical (D.Sc.), Associate Professor, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, sicheb@ukr.net.

Stolbchenko Olena Volodymyrivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, elena_aot@ukr.net.

Cheberyachko Yuriy Ivanovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, cheberiachkoyi@ukr.net.

Hushcha Valeria Olegovna, Master of Science, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, valeriahushcha@gmail.com.

Аннотация. Целью работы является обобщение современных тенденций развития конструкций фильтровальных полумасок для обеспечения высокого уровня защиты работников.

Определено, что основными показателями полумасок, от которых зависит их эффективность, являются надежное изолирование органов дыхания, высококачественная очистка воздуха и своевременное использование полумасок. Установлено, что основными причинами ухудшения их защитных свойств являются неплотности по полосе obtюрации и низкий срок защитного действия фильтров. Предложено, конструкции составных элементов фильтровальных респираторов, которые повысят степень защиты работников. Использование надувного obtюратора, дисковых клапанов толщиной 0,4 мм, сплошной полосы оголовья в целом уменьшит коэффициент проникновения полумасок до 80%. Увеличение срока защитного действия респираторов до 60% возможно за счет использования форфильтров предварительной очистки.

Приведенная информация будет полезной при принятии решения относительно выбора эффективного респиратора.

Ключевые слова: респиратор, коэффициент защиты, СИЗОД, профессиональные заболевания, аэрозольный фильтр, пылеёмкость.

Abstract. The aim of the work is to summarize the current trends in the development of filter camshafts designs to provide a high level of protection for workers.

It is determined that the main indicators of half masks, on which their effectiveness depends is the reliable isolation of respiratory organs, high-quality air purification and the timely use of semi-masks. It is established that the main reasons for the deterioration of their protective properties are leakages along the band of obturator and a low duration of the protective action of the filters. It is proposed that the construction of composite elements of filter respirators, which will increase the degree of protection of workers. The use of an inflatable obturator, disc valves 0.4 mm thick, a continuous headband band as a whole will reduce the half-mask penetration rate to 80%. An increase in the duration of protective action of respirators up to 60% is possible due to the use of prefilter prefilter. The information provided will be useful in making decisions about choosing an effective respirator.

Key words: respirator, protection factor, RPE, occupation aldisse ases, aerosol filter, dustcontent.

Стаття поступила до редакції 18.01.2017

Рекомендовано до друку д-ром технічних наук Шевченком В.Г.