

УДК 614.89

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.223>**ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІВМАСКИ РЕСПІРАТОРА**¹Чеберячко С.І., ¹Чеберячко Ю.І., ¹Радчук Д.І., ¹Столбченко О.В., ¹Клімов Д.Г.¹НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛУМАСКИ РЕСПИРАТОРА**¹Чеберячко С.И., ¹Чеберячко Ю.И., ¹Радчук Д.И., ¹Столбченко Е.В., ¹Климов Д.Г.¹НТУ «Днепровская политехника» МОН Украины**RESEARCH OF THE INSULATING PROPERTIES OF RESPIRATOR HALF MASK**¹Cheberyachko S.I., ¹Cheberyachko Yu.I., ¹Radchuk D.I., ¹Stolbchenko O.V.,
¹Klimov D.G.¹ National Technical University «Dnipro Polytechnic» MES of Ukraine

Анотація. Діючими нормативними документами з охорони праці встановлені санітарно-гігієнічні норми стосовно вмісту пилу в повітрі робочої зони. При неможливості їх забезпечити визначають рівні пилового навантаження працюючих, що дозволяють регулювати тривалість роботи в небезпечних за пиловим чинником умовах. За таких умов для гірників передбачено видачу засобів індивідуального захисту органів дихання, тобто протипилових респіраторів. Мета роботи *полягає* в дослідженні ізолювальних властивостей, включаючи коефіцієнти проникання та підсмоктування аерозолів протипилових півмасок з при різній силі натягу стрічок наголів'я. Методика роботи складається з експериментальної перевірки півмасок, яка проводилася на спеціально створеному лабораторному стенді для визначення коефіцієнтів проникання і підсмоктування півмаски за тест-аерозолем хлорид натрію. Встановлено взаємозв'язок між ізолювальними властивостями півмасок та коефіцієнтами проникання і підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіраторів з урахуванням впливу сили натягу стрічок наголів'я. Підтверджено, що коефіцієнт підсмоктування респілятора зменшується зі збільшенням сили натягу, однак через нерівномірність притискних зусиль в певних областях півмаски утворюються зазори, які навпаки сприяють погіршенню захисних властивостей респіраторів. Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респілятора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на півмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір. Підтверджено, що коефіцієнт підсмоктування респілятора зменшується зі збільшенням сили натягу, однак через нерівномірність притискних зусиль в певних областях півмаски утворюються зазори, які навпаки сприяють погіршенню захисних властивостей респіраторів. Практична значимість *полягає* у визначенні захисної ефективності півмасок з різним кріпленням наголів'я.

Ключеві слова: протипиловий респіратор, ізолювальні властивості півмаски, коефіцієнт проникання та підсмоктування аерозолів

Постановка проблеми. Умови праці на вугільних підприємствах значною мірою визначаються пиловим чинником, тобто залежать від вмісту пилу в повітрі робочої зони, характеру його утворення та відкладення поблизу джерел пилу. При цьому властивості пилу обумовлюють вибір відповідних заходів для боротьби з ним, в тому числі і засобів індивідуального захисту органів дихання гірників.

Діючими нормативними документами з охорони праці встановлені санітарно-гігієнічні норми стосовно вмісту пилу в повітрі робочої зони. При неможливості їх забезпечити визначають рівні пилового навантаження працюючих, що дозволяють регулювати тривалість роботи в небезпечних за пиловим чинником умовах.

За таких мов для гірників передбачено видачу засобів індивідуального захисту органів дихання, тобто протипилових респіраторів, вибір яких регламентований декількома стандартами [1, 2]. Вважається, що при правильному виборі протипилового фільтрувального респіратора він надійно захищає людину від потрапляння пилу в органи дихання, що спричиняє професійні захворювання на пневмоконіози і пилові бронхіти. Незважаючи на те, що використання протипилових респіраторів є обов'язковим, кількість захворювань пилової етіології у гірників з кожним роком збільшується. При цьому, відповідно до сертифікатів, отриманих на респіратори в лабораторних умовах по типовим методикам, засоби мають достатньо високу ефективність [3]. Тому актуальною стає проблема перевірки ефективності використання респіраторів не тільки в лабораторних, але і у виробничих умовах.

Аналіз досліджень і публікацій. Перевірка ізолювальних властивостей є досить актуальною темою. Американському стандарті [4] існує вимога перевірки подібного показника перед початком експлуатації респіраторів, щоб переконатись в надійності вибраного захисного пристрою. Існують два основних способи їх перевірки – кількісний і якісний. Результатом першого є численний результат коефіцієнта ізолювання [5]. При ідеальному приляганні півмасок проникнення через зазори просто відсутнє. В протилежному випадку, він дорівнює одиниці. При виборі конкретного респіратора на виробництві в європейських країнах проводять, так званий якісний аналіз ізолювальних властивостей, який полягає у розбризкуванні безпечного аерозолу з різким запахом [6]. Рахується, що цим способом можна вибрати якісний респіратор. Однак, у випадку фільтрів середньої ефективності або протипилових цим методом не можна досягти прийнятних результатів [7]. До того ж досить актуальними є дослідження, які б виявили взаємозв'язок між величиною зусилля на ремінцях наголів'я, конструктивними особливостями обтюратора та величиною коефіцієнта підсмоктування. У відомому дослідженні [8], які проводились на добровольцях визначення зусилля проводилось, розрахунковим методом як відношення величини розтягнутої стрічки до нерозтягнутої, що не дозволяє контролювати величину натягу під час випробувань і може призвести до похибок вимірювань.

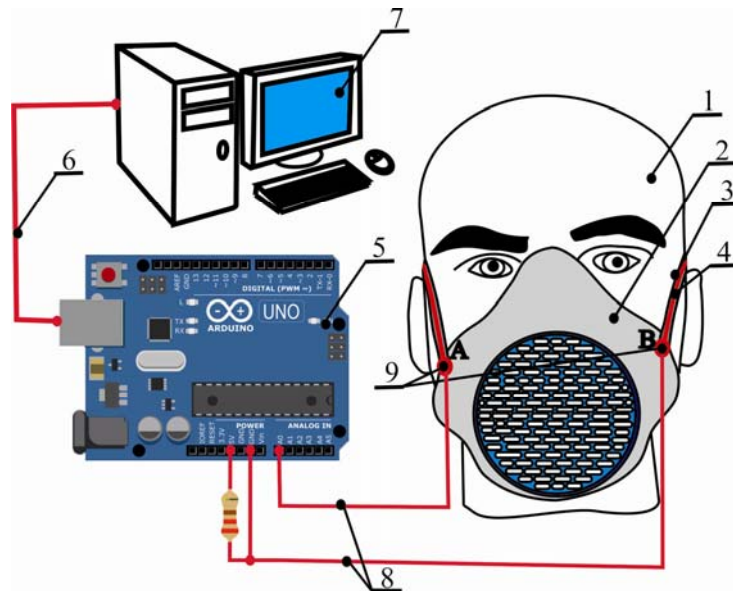
Виділення невирішених раніше частки загальної проблеми. Для забезпечення високих ізолювальних властивостей респіраторів необхідна відповідна щільність прилягання за смугою обтюраторної півмаски до обличчя, яка залежить від сили натягу ремінців наголів'я, що задається певним діапазоном: максимальне значення якого визначається дискомфортом та больовими відчуттями людини. При чому недостатня сила натягу призводить до утворення нещільностей за смугою обтюраторної з різних причин.

Підкреслимо також, що ефективність використання протипилових респіраторів повинна оцінюватися не тільки за рівнем згаданих вище нормативних показників, але й за щільністю (надійністю) прилягання півмаски до обличчя працюючого за смугою обтюраторної. Дійсно щільність прилягання ніяк не нормується, але її порушення призводить до підсмоктування

забрудненого повітря в підмасковий простір, що набуває особливого значення у виробничих умовах. Визначити указану щільність можливо шляхом виявлення місць підсмоктування (проникання) в підмасковий простір шкідливих речовин, зокрема і частинок пилю.

Формулювання задачі. Дослідити ізолювальні властивості легких протипилових півмасок з різною конструкцією наголів'я або закріплення на голові працюючого з визначенням коефіцієнтів проникання та підсмоктування аерозолів при різній силі натягу стрічок наголів'я.

Методи випробування. Одним з шляхів визначення значення необхідної сили натягу є застосування на ремінцях наголів'я спеціального гнучкого датчика (Conductive Rubber Cord Stretch Sensor) (надалі датчик), виконаного у вигляді еластичного шнура, електричний опір якого при розтягуванні змінюється лінійно. Експериментально оцінку даного методу проводили за величиною сили натягу наголів'я, для чого було розроблено лабораторний стенд, схема якого приведена на рис. 1. Датчик представляє собою шнур діаметром 2 мм та довжиною 500 мм з початковим опором близько 300 - 350 Ом на дюйм.



1 – манекен голови; 2 – респіратор; 3 – верхня стрічка наголів'я респіратора; 4 - гнучкий датчик розтягу 5 - плата Arduino; 6 – USB – кабель для з'єднання плати з комп'ютером 7 – комп'ютер; 8 – шлейф який з'єднує датчик з платою; 9 – зажим

Рисунок. 1. Загальний вигляд і схема стенду для виміру сили натягу наголів'я

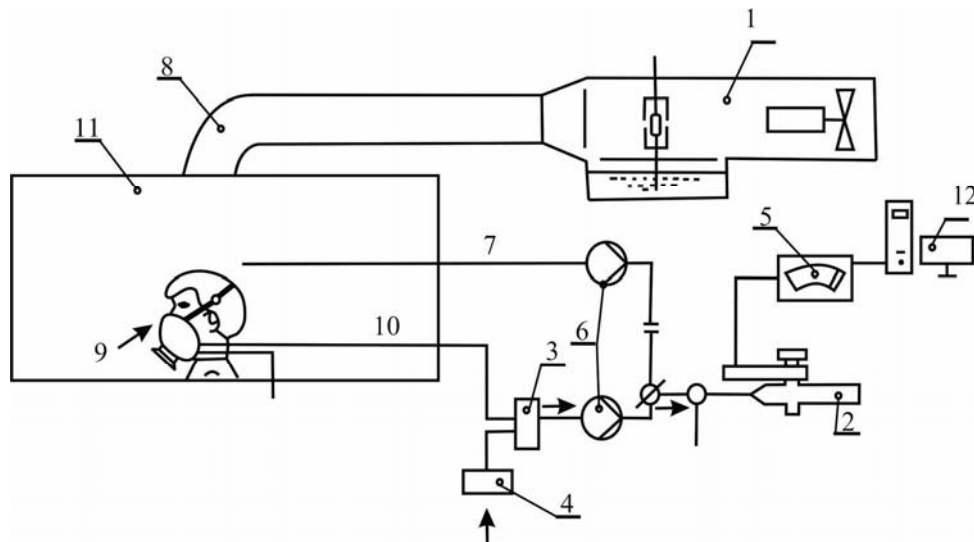
Принцип його роботи ґрунтується на зміні опору при збільшенні відстані між крайніми його точками. Фіксація датчика на півмасці здійснювалася за допомогою металевих затискачів (крокодилів), при цьому його резистори, які вмонтовані на кінцях стрічки приєднувались за допомогою спеціальних дротів (один до стандартного резистора, а другий до змінного резистора). Тобто з'єднання відбувалося за типовою схемою розділювача напруги, з додаванням до неї змінного резистору, який приєднувався послідовно з аналогічним резистором приблизно такого ж опору (Ом). За допомогою шлейфу з'єднується датчик та аналоговий вхід плати Arduino (тобто один кінець стандартного

резистора і один кінець від змінного резистора підключені до роз'ємів + 5 В і GND). Через USB-вхід плати проводилася оцінка сигналу з аналогового виходу та передавалась на монітор комп'ютера. Потім визначені дані зі зміни електричного опору, перераховувалися в Ексель та визначалась сила натягу ремінців.

В основу досліджень була покладена процедура випробувань, що включала визначення коефіцієнтів проникання та підсмоктування півмаски за тест-аерозолем – хлорид натрію.

Стенд для визначення захисної ефективності респіраторів на людях відповідає вимогам ДСТУ EN 149:2003 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Півмаски фільтрувальні. Вимоги, випробування, маркування». Схема і загальний вигляд установки наведено відповідно на рис. (рис. 2).

Концентрацію тест-аерозолю (хлорид натрію) у камері і підмасковому просторі півмасок визначали за допомогою спектрофотометру. У випробувальній камері вона складала 8...10 мг/м³. Розподіл частинок знаходився у межах від 0,02 до 2 мкм при середньомасовому діаметрі близько 0,6 мкм.



1 – генератор аерозолю з компресором; 2 – датчик тиску; 3 – багатоходовий клапан; 4 – фільтр; 5 – спектрофотометр; 6 – аспіратор; 7 – патрубок для відбирання проби тест-аерозолю з камери; 8 – повітропровід і розподілювач аерозольної суміші; 9 – манекен голови; 10 – патрубок для відбирання проби тест-аерозолю з підмаскового простору; 11 – випробувальна камера; 12 – комп'ютер

Рисунок 2 - Загальний вигляд і схема стенду з визначення коефіцієнту проникнення респіраторів за тест-аерозолем на манекені голови

Методика проведення вимірювання полягала в наступному.

1. Респіратор одягають на манекен, відповідно до вказівок виробника (кріплення максимально ослаблюють, до моменту сповзання півмаски з манекену).

2. Перевірка роботи датчику. (Необхідно підключити датчик до живлення та розтягнути датчик назад і вперед з різною швидкістю декілька хвилин. Довжина розтягу приблизно на 50-70 % довше, ніж довжина його у спокою).

Проводити дослідження можливо при стабільних показниках.

3. Датчик закріплюють на півмасці з двох боків якомога ближче до місця кріплення ремінців (з охоптом голови), за допомогою спеціальних захватів «крокодил».

4. Вмикають живлення плати Arduino та вимірюють початкове значення сили натягу (ремінці наголів'я максимально ослаблені, однак сили натягу достатньо для утримання півмаски на манекені).

5. Розміщують манекен голови у випробувальній камері (рис. 2) в яку подають за допомогою компресору зі спеціального генератора тест-аерозоль хлориду натрію з концентрацією – 8...10 мг/м³; розподілом частинок – від 0,02 до 2 мкм при середньомасовому діаметрі близько 0,6 мкм; швидкість аспірації аерозолів 100 дм³/хв.

6. Готуємо спектрофотометр для аналізу проб повітря, запалюємо пальник, вмикаємо відповідний режим роботи ІМП-1; встановлюємо масштаб часу 0,1, потенціометром ФЕУ регулюємо початкові показники.

7. Відбираємо проби повітря з підмаскового простору респіратору і з камери за допомогою трьохканального аспірації з витратою повітря 30 дм³/хв.

8. За допомогою програмного забезпечення отримуємо показники коефіцієнтів проникнення і підсмоктування на монітор ПК. Результат осереднювався, заносився у таблицю спеціалізованої програми AAS-2009, що додається до спектрофотометра, та виводився на монітор комп'ютера у вигляді графіків.

9. Збільшуємо натяг ремінців наголів'я і повторюємо наведену процедуру фіксуючи значення сили натягу та відповідний коефіцієнт проникнення.

Значення коефіцієнта проникання півмаски – K_{Π} розраховували у відсотках за результатами замірів зовнішньої та підмаскової концентрації тест-аерозолу, як [9]

$$K_{\Pi} = \frac{C_1}{C_0} 100, \% \quad (1)$$

де C_1 – концентрація тест-аерозолу у підмасковому просторі, мг/м³; C_0 – зовнішня концентрація тест-аерозолу, тобто у випробувальній камері, мг/м³.

Коефіцієнт підсмоктування за смугою обтюрації визначали як різницю між коефіцієнтами проникання півмаски та фільтра

$$K_{\Pi\Delta} = K_{\Pi} - K_{\Pi\Phi} \quad (2)$$

де $K_{\Pi\Phi}$ – коефіцієнт проникання тест-аерозолу через фільтр, %, який визначається аналогічно K_{Π} за формулою (1), але в спеціальному затиску, де відсутнє підсмоктування за смугою обтюрації.

Для дослідження використовували легкі півмаски вироблені Фізико-хімічним інститутом захисту навколишнього середовища і людини – ФХІЗНСІЛ) з різним типом наголів'ям (рис. 3). Спочатку визначався коефіцієнт проникання півмаски, одягненої на манекен без спеціальних заходів ущільнення її за смугою обтюрації. Потім визначався коефіцієнт проникання

тест-аерозолі, але тільки крізь фільтр у спеціальному затиску. Після чого визначався коефіцієнт підсмоктування за формулою (2).



Зразок 1



Зразок 2



Зразок 3

Рисунок 3 - Фільтрувальні півмаски

Результати дослідження. У результаті проведених досліджень були отримані графіки, які вказують на коливання підмаскової концентрації аерозольних частинок. Цей факт можна пояснити нерівномірністю проникнення аерозольних частинок за площею фільтра [10].

Відповідні значення коефіцієнтів проникання півмасок та їх фільтрів, одержаних за даними програми AAS-2009 під час досліджень для кожного випробувача наведені в табл. 1, 2, а розрахункові показники коефіцієнта підсмоктування за смугою обтюрції – в табл. 3.

Таблиця 1 - Значення коефіцієнту проникання півмасок

Зусилля на стрічках наголів'я, Н	Значення коефіцієнта підсмоктування півмасок $K_{пф}$, %		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	15,1	18,1	14,3
2	10,8	12,2	9,4
3	4,6	6,5	3,3
4	2,5	4,1	2,2
5	1,3	2,4	1,1
6	0,9	1,3	0,7

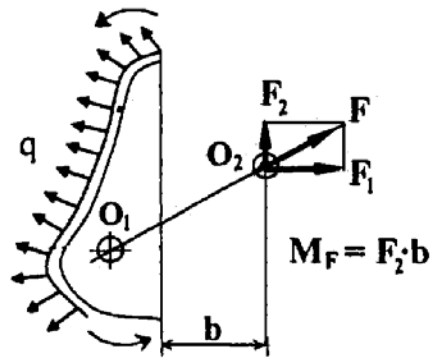
Таблиця 2 - Значення коефіцієнта проникання тест-аерозолі крізь фільтр півмаски

Показник	Значення коефіцієнта підсмоктування півмасок, $K_{пф}$, %		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Середні значення $K_{пф}$	0,7	0,8	0,6

Таблиця 3 - Значення коефіцієнта підсмоктування аерозолію за смугою обтюрації

Зусилля на стрічках наголів'я, Н	Значення коефіцієнта підсмоктування півмасок $K_{пд}, \%$		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	14,5	17,5	13,7
2	10,2	11,6	8,8
3	4	5,9	2,7
4	1,9	3,5	1,6
5	0,7	1,8	0,5
6	0,3	0,7	0,1

Різниця у значеннях коефіцієнтів підсмоктування однієї півмаски, на наш погляд, зумовлена нерівномірністю розподілу притискних зусиль, чому сприяє зростання відстані між центрами прикладення нормальної і дотичної складових притискної сили F , створюваної наголів'ям півмаски (рис. 4).



O_1 – точки кріплення наголів'я; точка O_2 – місце кріплення стрічки наголів'я на голові

Рисунок 4 - Розподіл зусиль на півмасці «Сніжок»

Доказом слугує те, що у першому перевіреному зразку для кріплення наголів'я використовується спеціальна пластикова смужка, яка дозволяє підвищити рівномірність розподілу притискних зусиль у порівнянні з другим зразком. Збільшення ж розміру пластикової смужки викликає значний момент M_F відносно горизонтальної площині півмаски, про що свідчить про різницю між механічним тиском в області перенісся та підборіддя (рис.5).

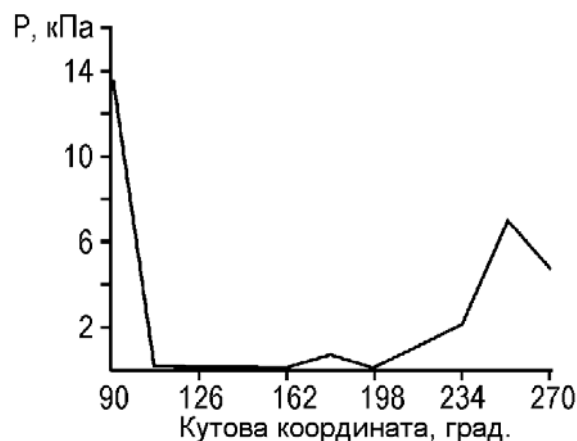


Рисунок 5 - Асиметричний розподіл механічного тиску за смугою обтюрації півмаски [11]
Саме нерівномірність розподілу притискних зусиль і призводить до появи

нещільностей за смугою обтюрації. Найбільш вірогідне місце підсмоктувань у цієї півмаски є рото-носова зона, де тиск складає менше 2 кПа, тоді як для запобігання проникання аерозолу за смугою обтюрації потрібно забезпечити не менше 2,5 кПа. Покращити ізолювальні властивості можна збільшенням силу натягу наголів'я, але це призведе до появи дискомфортних відчуттів, оскільки на підборідді вже зафіксований максимальний тиск, що не викликає утворення наминів на обличчі

Додатковою важливою умовою забезпечення рівномірного тиску за смугою обтюрації є місце розташування кріплення наголів'я на півмасці. Експериментальні дані показують, що кращий результат має протипиловий респіратор під номером 3, що пояснюється як вдалою конструкцією обтюратора так і розміщенням точок кріплення наголів'я які забезпечили.

Отже, проведені дослідження дозволили встановити зв'язок між коефіцієнтом захисту респіраторів та їх ізолювальними властивостями. Зокрема, даних табл. 3 видно, що найкращий результат спостерігається у зразка 3. В той же час ізолювальні властивості зразків 1 і 2 також не виходять із заданого нормативними документами діапазону.

Висновки. Встановлено взаємозв'язок між ізолювальними властивостями півмасок та коефіцієнтом підсмоктування аерозолів за смугою обтюрації півмаски на обличчі з урахуванням різної сили натягу стрічок наголів'я.

Підтверджено, що коефіцієнт підсмоктування респіратора зменшується зі збільшенням сили натягу, однак через нерівномірність притискних зусиль в певних областях півмаски утворюються зазори, які навпаки сприяють погіршенню захисних властивостей респіраторів.

Показано, що найменшою величиною підсмоктування характеризувалась півмаска з однією точкою кріплення наголів'я.

Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на півмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДНАОП 0.00-1.04-07 Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання, виданий Державним комітетом України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду за наказом № 331 від 28.12.2007 р.
2. ДСТУ EN 529:2006 Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации относительно выбора, использования, ухода и обслуживания. Инструкция (EN 529:2005, IDT)
3. Вітришак С. В., Савіна О.Л., Клименко К.В., Гайдаш І.А., Курчанова В.С. Вплив виробничих чинників вугільних шахт на стан професійного здоров'я гірників // Український журнал клінічної та лабораторної медицини. 2012. Т. 7, № 1. С. 194-198.
4. Nancy Bollinger. NIOSH Respirator Selection Logic. NIOSH. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health / Nancy Bollinger. 2004. 32 p. (DHHS (NIOSH) Publication No 2005-100).
5. Evaluation of a Quantitative Fit Testing Method for N95 Filtering Facepiece Respirators / D.M. Luinenburg, E.H. Mullins, S.G. Danisch, T.J. Nelson // American Industrial Hygiene Association Journal. 2003. Vol. 64 №4. P. 480-486.
6. Correlation Between Quantitative Fit Factors and Workplace Protection Factors Measured in Actual Workplace Environments at a Steel Foundry / Z. Zhuang, C.C. Coffey, P.A. Jensen; D.L. Campbell; R.B. Lawrence; W.R. Myers // American Industrial Hygiene Association Journal. 2004. Vol. 64, № 6. P. 730 - 739.
7. Holton P.M. Particle Size-Dependent Leakage and Losses of Aerosols in Respirators / P.M. Holton, D.L. Tackett, and K.

Willeke // American Industrial Hygiene Association Journal. 1987. № 48 (10). P. 848 – 854.

8. Viscusi D.J., M.S. Bergman, D.A. Novak et al.: Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease. *J. Occup. Environ. Hyg.* 8:426–436 (2011).

9. Капцов В.А., Чиркин А.В. Об оценке эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания // Безопасность в техносфере 2015. № 5. С. 7 – 14.

10. Шик Л.Л. Биомеханика дыхания // В кн. Физиология дыхания. М.: Наука, 1973. С. 19 – 39.

11. Єннан А.А., Байденко В.І., Климова Л.В., Белинский Е.Е. Математическое моделирование конструкции облегченного респиратора типа «Снежок» // Труды 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.

REFERENCES

1. DNAOP 0.00-1.04-07 *Pravyla vyboru ta zastosuvannya zasobiv individualnogo zakhystu organiv dykhannya, vydanyi Derzhavnym komitetom Ukrainy z promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi ta girnychogo naglyadu № 331 vid 28.12.2007 r.* [DNAOP 0.00-1.04-07 Rules for the selection and use of respiratory protection issued by the State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labor Protection and Mining Supervision № 331 by 28.12.2007] (2007)

2. DSTU EN 529:2006 *Sredstva individualnoy zashchity organov dykhaniya. Rekomendatsii otnositelno vybora, ispolzovaniya, ukhoda i obslezhivaniya. Instruksiya (EN 529:2005, IDT)* [DSTU EN 529:2006 Respiratory protection. Recommendations for selection, use, care and maintenance. Instruction. (EN 529:2005, IDT)].

3. Vitrychak, V. Savina, O.L. Klimenko, KV Gaidash, I.A and Kurchanova V.S. (2012) "Influence of coal mines production factors on the miner's occupational health", *Ukrainian Journal of Clinical and Laboratory Medicine*. Vol. 7, No. 1. pp. 194-198.

4. Nancy Bollinger (2004), NIOSH Respirator Selection Logic. NIOSH, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 32 p. (DHHS (NIOSH) Publication No 2005-100).

5. Luinenburg, D.M., Mullins, E.H., Danisch, S.G. and Nelson T.J. (2003), "Evaluation of a Quantitative Fit Testing Method for N95 Filtering Facepiece Respirators", *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2003, Vol. 64, №4, P. 480–486.

6. Zhuang, Z., Coffey, C.C., Jensen; P.A., Campbell; D.L., Lawrence; R.B. and Myers, W.R. (2004), "Correlation Between Quantitative Fit Factors and Workplace Protection Factors Measured in Actual Workplace Environments at a Steel Foundry", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 64, № 6, pp. 730 – 739.

7. Holton P.M., Tackett, D.L. and Willeke, K. (1987), "Particle Size-Dependent Leakage and Losses of Aerosols in Respirators", *American Industrial Hygiene Association Journal*, no. 48 (10), pp. 848 – 854.

8. Viscusi, D.J., M.S. Bergman, D.A. Novak [et al.] (2011), "Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease", *J. Occup. Environ. Hyg.* . pp. 426–436..

9. Kapsov, V.A. and Chirkin, A.V. (2015), "On the evaluation of the effectiveness of respiratory protection", *Security in the Technosphere*, no. 5, pp. 7 – 14.

10. Chic, L.L. (1973), "Biomechanics of respiration", In *Respiratory physiology*, Science, Moscow, SU, pp. 19- 39.

11. Annan, A.A., Bidenko, V.I., Klimova, L.V. and Belinsky EE (2002), "Mathematical modeling of the design of a lightweight respirator of the type "Snowball", *Trudy 1-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Zashchita okruzhayushchey sredy, zdorovye, bezopasnost v svarochnom proizvodstve"* [Tr. 1st International. research-practice Conf. «Environmental protection, health, safety in welding production»], Odessa, UA, September 11-13, pp. 255–276.

Про авторів

Чеберячко Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри АОП, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України (НТУ «ДП» МОН України), Дніпро, Україна, sicheb@ukr.net.

Чеберячко Юрій Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри АОП, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України (НТУ «ДП» МОН України), Дніпро, Україна, cheberiyachkoyi@ukr.net.

Радчук Дмитро Ігорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри АОП, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України (НТУ «ДП» МОН України), Дніпро, Україна, radchuk@nmu.one.

Столбченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри АОП, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України (НТУ «ДП» МОН України), Дніпро, Україна, elena_aot@ukr.net.

Клімов Даніл, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України (НТУ «ДП» МОН України), Дніпро, Україна, elena_aot@ukr.net.

About the authors

Cheberyachko Sergiy Ivanovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Professor of the AOP Department, National Technical University "Dniprovskaya politechnika"(NTU «DP»), Dnipro, Ukraine, sicheb@ukr.net

Cheberyachko Yuriy Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of AOP Department, National Technical University "Dniprovskaya Politechnika", "(NTU «DP»)", Dnipro, Ukraine, cheberiyachkoyi@ukr.net

Radchuk Dmutro Igorovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of AOP Department, National Technical University "Dniprovskaya Politechnika", "(NTU «DP»)", Dnipro, Ukraine,

Stolbchenko Olena Volodymyrivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of AOP Department, National Technical University "Dniprovskaya Politechnika", "(NTU «DP»)", Dnipro, Ukraine, elena_aot@ukr.net

Klimov Danil, Doctoral Student National Technical University "Dniprovskaya Politechnika", "(NTU «DP»)", Dnipro, Ukraine, klimov@nmu.one.

Аннотация. Действующими нормативными документами по охране труда установлены санитарно-гигиенические нормы содержания пыли в воздухе рабочей зоны. При невозможности их обеспечить определяются уровни пылевой нагрузки работающих, что позволяет регулировать длительность работы в опасных по пылевому фактору условиям. При таких условиях предусмотрена выдача горнякам средств индивидуальной защиты органов дыхания, то есть противопылевых респираторов. Цель работы заключается в исследовании изолирующих свойств, включающих коэффициенты проникновения и подсос аэрозолей при различной силе натяжения лент оголовья противопылевых полумасок. Методика работы состоит из экспериментальной проверки полумасок, которая проводилась на специально созданном лабораторном стенде для определения коэффициентов проникновения и подсоса полумаски с тест-аэрозолем хлорид натрия. Установлена взаимосвязь между изолирующими свойствами полумасок и коэффициентами проникновения и подсоса аэрозолей в подмасочное пространство респираторов с учетом влияния силы натяжения лент оголовья. Подтверждено, что коэффициент подсоса респиратора уменьшается с увеличением силы натяжения, однако из-за неравномерности прижимных усилий в определенных областях полумаски образуются зазоры, которые наоборот способствуют ухудшению защитных свойств респираторов. Установлено, что коэффициент подсоса аэрозолей в подмасочное пространство респиратора зависит от размещения точек крепления оголовья и направления образованной им прижимной силы, от которой возникает крутящий момент, действующий на полумаски, и складывается определенное соотношение касательных и нормальных к лицу сил. Эти силы во время движения полумаски приведут к сползанию маски и образованию зазоров, через которые аэрозоль подсасывается в подмасочное пространство. Подтверждено, что коэффициент подсоса респиратора уменьшается с увеличением силы натяжения, однако из-за неравномерности прижимных усилий в определенных областях полумаски образуются зазоры, которые наоборот способствуют ухудшению защитных свойств респираторов. Практическая значимость заключается в определении защитной эффективности полумасок с различным креплением оголовья.

Ключевые слова: противопылевой респиратор, изолирующие свойства полумаски, коэффициент проникновения и подсос аэрозолей.

Annotation. The current normative documents on labour protection set sanitary and hygienic norms for dust content in air of the working areas. When it is impossible to meet these norms, then levels of the dust burden is determined for the miners in order to regulated duration of their work in conditions dangerous by dust factor. In this case, miners are provided with facilities for individual defense of their respiratory apparatus, i.e. dust masks. Purpose of the study was to study insulating properties, including aerosol penetration and suction coefficients of the dust masks at different force of the headband straps tightening. Method of the research included experimental test of half masks on a specially created laboratory bench in order to determine penetration and suction coefficients of the half mask with the help of test spray of sodium chloride. Relationship between insulating properties of the half masks and the coefficients of aerosol penetration and suction into inside space of the respirators was determined with taking into account influence of the force of the headband straps tightening. It is confirmed that coefficient of absorption of the respirator decreases with increased force of tightening, but due to the unevenness of the clamping forces in certain areas of the half mask, gaps are formed, which, on the contrary, deteriorate protective properties of respirators. It is established that coefficient of aerosol suction into inside space of the mask of the respirator depends on the location of points of the headband fixation and direction of the clamping force created by it, which produces a torque action on the half mask, and creates a certain ratio of tangential and normal forces applied to the face. These forces, during the half mask motion, lead to the mask slipping and form gaps, through which aerosol is sucked into inside space of the mask. It is confirmed that coefficient of absorption of the respirator decreases with increased force of tightening, but, due to the unevenness of the clamping forces in certain areas of the half mask, gaps are formed, which, on the contrary, deteriorate protective properties of the respirators. Practical importance of this research consists in determining protective efficiency of the half masks with different headband fixations.

Keywords: dust respirator, insulating properties of half mask, aerosol penetration and suction coefficient

Стаття надійшла до редакції 24.10. 2019

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук М.С. Четвериком