

УДК 614.89

DOI: 10.30838/ P. CMM.2415.250918.168.147

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ІЗОЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГКИХ ПРОТИПИЛОВИХ ПІВМАСОК

КОЛЕСНИК В.Є.¹, д.т.н., проф.ЧЕБЕРЯЧКО С.І.*², д.т.н., доцРАДЧУК Д.І.³, к.т.н., доц.НЕСТЕРОВА О.Ю.⁴, к.п.н.

¹ Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дмитра Яворницького 19, корп. 10, ауд. 705, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -90, е -mail: kolesnikve@yahoo.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-3576>

^{2*} Кафедра аерології та охорони праці, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дмитра Яворницького 19, корп. 10, ауд. 705, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. 38 (056) 373 -07 -66, е -mail: sicheb@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3281-7157>

³ Кафедра аерології та охорони праці, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дмитра Яворницького 19, корп. 10, ауд. 705, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -66, е -mail: ruis@i.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8034-541X>

⁴ Кафедра перекладу, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дмитра Яворницького 19, корп. 4, ауд. 78, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -66, е -mail: nesterova.o.yu@nmu.one, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5952-4664>

Мета. Дослідити ізолювальні властивості, включаючи коефіцієнти проникання та підсмоктування аерозолів протипилових півмасок з різною конструкцією наголів'я. **Методика.** Експериментальна перевірка півмасок проводилася на спеціально створеному лабораторному стенді з залученням добровольців-випробувачів та включала визначення, відповідно до ДСТУ EN 140, коефіцієнтів проникання і підсмоктування півмаски за тест-аерозолем хлорид натрію в умовах наближених до виробничих. **Результати.** Встановлено взаємозв'язок між ізолювальними властивостями півмасок та коефіцієнтами проникання і підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіраторів з урахуванням впливу певних виробничих дій і конструкції наголів'я, що призводять до зміни притискних зусиль півмаски на обличчя. Доведено, що при виконанні випробувачем глибокого дихання, нахилів тулуба або розмови коефіцієнт підсмоктування респіратора збільшується через утворення додаткових зазорів за смугою обтюратору півмаски на обличчі. Це обумовлено зміною притискних зусиль в певних областях півмаски та її зсувом на голові. Показано, що найменшою величиною підсмоктування характеризувалась півмаска, яка вмонтовувалася у маску-балаклаву. **Наукова новизна.** Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напрямку 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 виконання виробничих операцій призводять до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір. **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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ПРОТИВОПЫЛЕВЫХ ПОЛУМАСОК

КОЛЕСНИК В.Є.¹, д.т.н., проф.ЧЕБЕРЯЧКО С.І.*², д.т.н., доцРАДЧУК Д.І.³, к.т.н., доц.НЕСТЕРОВА О.Ю.⁴, к.п.н.

¹ Кафедра экологии и технологий защиты окружающей среды, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Дмитрия Яворницького 19, корп. 10, ауд. 705, м. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -90, е -mail: kolesnikve@yahoo.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-3576>

^{2*} Кафедра аэрологии и охраны труда, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Дмитрия Яворницького 19, корп. 10, ауд. 705, м. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -66, е -mail: sicheb@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3281-7157>

³ Кафедра аэрологии и охраны труда, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Дмитрия Яворницкого 19, корп. 10, ауд. 705, м. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -66, e -mail: ruis@i.ua, ORCID: [http:// orcid.org/0000-0001-8034-541X](http://orcid.org/0000-0001-8034-541X)

⁴ Кафедра перевода, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Дмитрия Яворницкого 19, корп. 4, ауд. 78, м. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 373 -07 -66, e -mail: nesterova.o.yu@nmu.one, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5952-4664>

Цель. Исследовать изолирующие свойства, включая коэффициенты проникания и подсосывания аэрозолей противопылевых полумасок с разной конструкцией оголовья. **Методика.** Экспериментальная проверка полумасок проводилась на специально созданном лабораторном стенде с привлечением добровольцев-испытателей и включала определение, соответственно ДСТУ EN 140, коэффициентов проникания и подсосывания полумаски за тест-аэрозолем хлорид натрия в условиях приближенных к производственным. **Результаты.** Установлена взаимосвязь между изолирующими свойствами полумасок и коэффициентами проникновения и подсосывание аэрозолей в подмасочное пространство респираторов с учетом влияния определенных производственных действий и конструкции оголовья, которые приводят к изменению прижимных усилий полумаски на лицо. Доказано, что при выполнении испытателем во время эксперимента глубокого дыхания, наклонов туловища или разговора, коэффициент подсосывания респиратора увеличивается из-за образования дополнительных зазоров по полосе обтюрации полумаски на лице. Это обусловлено изменением прижимных усилий в определенных областях полумаски и ее сдвигом на голове. Показано, что наименьшей величиной подсосывания характеризовалась полумаска, которая встраивалась в маску-балаклаву. **Научная новизна.** Установлено, что коэффициент подсосывания аэрозолей в подмасочное пространство респиратора зависит от размещения точек крепления оголовья и направления образованной ним прижимной силы, от которой возникает вращательный момент, который действует на полумаску, и складывается определенное соотношение касательных и нормальных к лицу сил. Эти силы во время выполнения производственных операций приводят к сдвигам маски и образованию зазоров, через которые аэрозоль подсосывается в подмасочное пространство. **Практическая значимость** состоит в определении защитной эффективности полумасок с разным креплением оголовья.

Ключеві слова: противопылевой респиратор; изолирующие свойства полумаски; коэффициент проникания и подсосывания аэрозолей

EXPERIMENTAL TESTING OF ISOLATING PROPERTIES OF DUST HALF MASKS

KOLESNIK V.Ye.¹, D. Sc. (Tech.), Prof.

CHEBERYACHKO S.I.*², D. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

RADCHUK D.I.³, Ph.D. (Tech.), Assoc. Prof..

NESTEROVA O.Yu⁴, Ph.D (Education)

¹ Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, Dnipro University of Technology, 19 Dmytro Yavornitski, build. 10, room. 705, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 373 -07 -90, e -mail: kolesnikve@yahoo.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-3576>

^{2*} Department of Aerology and Labour Protection, Dnipro University of Technology, 19 Dmytro Yavornitski, build. 10, room. 705, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 373 -07 -90, e -mail: sicheb@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3281-7157>

³ Department of Aerology and Labour Protection, Dnipro University of Technology, 19 Dmytro Yavornitski, build. 10, room. 705, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 373 -07 -90, e -mail: ruis@i.ua, ORCID: [http:// orcid.org/0000-0001-8034-541X](http://orcid.org/0000-0001-8034-541X)

⁴ Translation Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytro Yavornitski, build. 4, room. 7058, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 373 -07 -90, e -mail: nesterova.o.yu@nmu.one, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5952-4664>

Purpose. To study isolating properties of dust half masks with different head harness design, including total inward leakage and inward leakage for aerosols. **Methods.** The experimental testing of half masks was carried out using the specific laboratory bench and involving volunteer test persons. According to the ДСТУ EN 140 the testing procedure included total inward leakage and inward leakage determination for half mask using testing sodium chloride aerosol under the conditions close to production. **Results.** The relation was established for half masks isolating properties and total inward leakage and inward leakage of aerosols under the mask with respect to influence of various producton activities and head harness design resulting in changes of hold down pressure for mask and face. It was proved that in case of full inspiration, speaking or body bents of test persons during the experiments the total inward leakage increased resulting from occurrence of additional gaps of half mask face seal because of hold down pressure changes for the proper half mask parts and its shifts. It was demonstrated that the lowest total inward leakage was peculiar to the half mask combined with neck face mask. **Scientific novelty.** It was stated that aerosol total inward leakage under the mask depends on the location of head harness anchored points and the direction of produced by it hold down force causing rotational moment, which makes influence on the half mask, and creating the system of tangential and normal forces to a face. The forces cause mask shifts and gaps resulting in

aerosol leakage under the mask in the process of breathing during the production activities performing. *Practical significance* is described by the determination of protective efficiency of half masks of different head harness design.

Key words: dust mask, isolating properties of half mask, total inward leakage and inward leakage of aerosols.

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 умов 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 пневмококоніози 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 достатню високу ефективність [3]. Тому актуальною стає проблема перевірки ефективності використання респіраторів не тільки в лабораторних, але і у виробничих умовах.

Аналіз досліджень і публікацій

Отже ефективність фільтрувальних респіраторів оцінюють шляхом підтвердження відповідності заявлених виробниками захисних властивостей у лабораторних умовах за певними стандартами, зокрема, ДСТУ EN 149:2003, ДСТУ EN 143:2002, ДСТУ EN 140:2004. Ці нормативні акти передбачають ряд процедур, спрямованих на визначення захисних і ергономічних властивостей півмасок. Важливим елементом оцінювання ефективності є встановлення величини коефіцієнта захисту респіраторів, оскільки саме за цим показником проводиться вибір адекватного індивідуального засобу. Вказаний показник розраховують за коефіцієнтом проникання, що визначають в лабораторних умовах на добровольцях.

Крім того, за ДСТУ EN 140:2004 потрібно визначити коефіцієнт підсмоктування забрудненого повітря респіратором, котрий залежить, як від якості його фільтра, так і від ізолювальних властивостей обтюратора півмаски. Враховуючи, що проникання аерозо-

лю безпосередньо через високоефективні фільтри є незначним, тобто проскакування частинок крізь фільтр мінімальне, є необхідність встановлення взаємозв'язку між властивостями півмасок, відповідних за якість респіраторів, та коефіцієнтом їхнього захисту.

Значимо також, що перевірка ефективності респіратора розділяють на якісну і кількісну. Якісна – ґрунтується на реакції органів чуттів суб'єкта в респіраторі на різкий запах спеціально розпорозонених безпечних аерозолів: сахарину, бітрексу, ізоамілацетату та інших. Детальний опис процедури такої перевірки наводиться в роботах [4, 5]. До її недоліку відносять різний індивідуальний поріг чутливості людей до подразнень органів дихання, який в деяких випадках може перевищувати гранично допустимі концентрації аерозолів, що не дозволяє достовірно оцінити захисну ефективність респіратора, не кажучи про коефіцієнт захисту.

Кількісна перевірка передбачає використання способів, що засновані на інструментальних методах визначення на спеціальному обладнанні не тільки наявності проникання аерозолу під півмаску, тобто до органів дихання, але й певні його рівні, що дозволяє встановити значення коефіцієнта захисту респіратора. Найбільш поширеним способом є визначення коефіцієнта захисту, в тому числі і коефіцієнта підсмоктування, за тест-аерозолями відповідно до ДСТУ EN 149. Сутність способу полягає у визначенні співвідношення зовнішньої відносно до респіратора концентрації тест-аерозолу до підмаскової [6]. Однак, проведення цієї процедури вимагає наявності дорогих і складних приладів, а також спеціально підготовленого персоналу. До того ж, отриманий результат буде залежати не тільки від розміру частинок і методу перевірки, а й від умов перемішування потоків повітря у підмасковому просторі, положення пробовідбірної зонди та можливого зазору за смугою обтюратора [7 - 8].

Виділення невирішених раніше частки загальної проблеми

Виконаний аналіз досліджень і публікацій указує на те, що наступні дослідження варто спрямовувати на розробку кількісних способів, які були б досить прості і дозволяли відтворити лабораторну перевірку безпосередньо в умовах виробництва.

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 обтюратора. Дійсно щільність прилягання ніяк не нормується, але її порушення призводить до підсмоктування забрудненого повітря в підмасковий простір, що набу-

ває особливого значення у виробничих умовах. Визначити указану щільність можливо шляхом виявлення місць підсмоктування (проникання) в підмасковий простір шкідливих речовин, зокрема і частинок пилу.

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 шляхом відтворення в лабораторних умовах типових виробничих дій, що виконуються добровольцями-випробувачами на спеціально створеному стенді

Викладення основного матеріалу

В основу досліджень була покладена процедура випробувань, що включала визначення відповідно до ДСТУ EN 140 коефіцієнтів проникання та підсмоктування півмаски за тест-аерозолем – хлорид натрію на добровольцях-випробувачах.

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, $\text{мг}/\text{м}^3$; C_0 – зовнішня концентрація тест-аерозолу, тобто у випробувальній камері, $\text{мг}/\text{м}^3$.

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

$$K_{\text{пшд}} = K_{\Pi} - K_{\text{пф}} \quad (2)$$

де $K_{\text{пф}}$ – коефіцієнт проникання тест-аерозолу через фільтр, %, який визначається аналогічно K_{Π} за формулою (1).

Для дослідження використовували легкі півмаски типу «Сніжок» (виробник фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини – ФХІ-ЗНСіЛ) з різним наголів'ям (рис. 1), а також комплексний захисний засіб індивідуального захисту органів слуху та дихання у вигляді маски-балаклави в яку було вмонтовано корпус респіратору «Сніжок» (рис. 2).

Експериментальна перевірка ізолювальних властивостей зразків респіраторів проводилася за тест-аерозолем на людях. Для цього було залучено шість добровольців, яких підбирали у відповідності до табл. 1.

Випробувачів ознайомлювали з інструкціями виробника для правильного надягання фільтрувальної півмаски. відрегулювати кріплення півмаски, то проводились.



Зразок 1 / Sample 1



Зразок 2 / Sample 2

Рис. 1. Фільтрувальні півмаски типу «Сніжок» з вмонтованими в них двома відбірниками проб / Filtering half mask of Snizhok type with two sample selectors connected



Зразок 3 / Sample 3

Рис. 2. Комплексний засіб індивідуального захисту слуху та органів дихання, виробник ФХІЗНСіЛ (на зовнішню поверхню маски-балаклави виведені вузол клапана видиху, а також відбірники проб, до яких приєднані трубки для аспірації аерозолів з носогубної області) / Complex respiratory and hearing protection device, produced by PChIEaHP (the outer surface of neck face mask contains exposed exhalation valve assembly and sample selectors with hose for aerosol aspiration from nasolabial space)

Таблиця 1

Розподіл випробувачів за розмірами обличчя / Testing distribution according to face dimensions

Діапазони висоти обличчя, мм	Нормативна ширина обличчя, мм [1]		
	129-139 (1 зона)	140-145 (2 зона)	146-155 (3 зона)
136-126	-	2-й випробувач	5-й випробувач
125-116	1-й випробувач	3-й випробувач	6-й випробувач
115-105	-	4-й випробувач	-

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. 3 і 4.

Добровольці під час дослідження виконували по-слідовно протягом 2 хв. різні дії (вправи), що імітували виробничу діяльність, а саме: звичайне дихання; глибоке дихання; повертання голови зі сторони в сторону; рухи голови вгору і вниз; розмова вголос; ходьба на біговій доріжці зі швидкістю 6 км/год. та наклони тулуба.

Концентрацію тест-аерозолю (хлорид натрію) у камері і підмасковому просторі півмасок визначали за допомогою спектрофотометру Селмі С-115Е. 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.

Для виміру концентрації під маскою використовувався обидва пробовідбірника, указаних на рис. 2, одночасно, а у камері – додатковий, який знаходився на рівні обличчя випробувача. Швидкість аспірації аерозолів і в першому, і в другому випадку складала 15 дм³/хв. У кожного випробувача проводили одразу три заміри під час кожної дії (вправ).

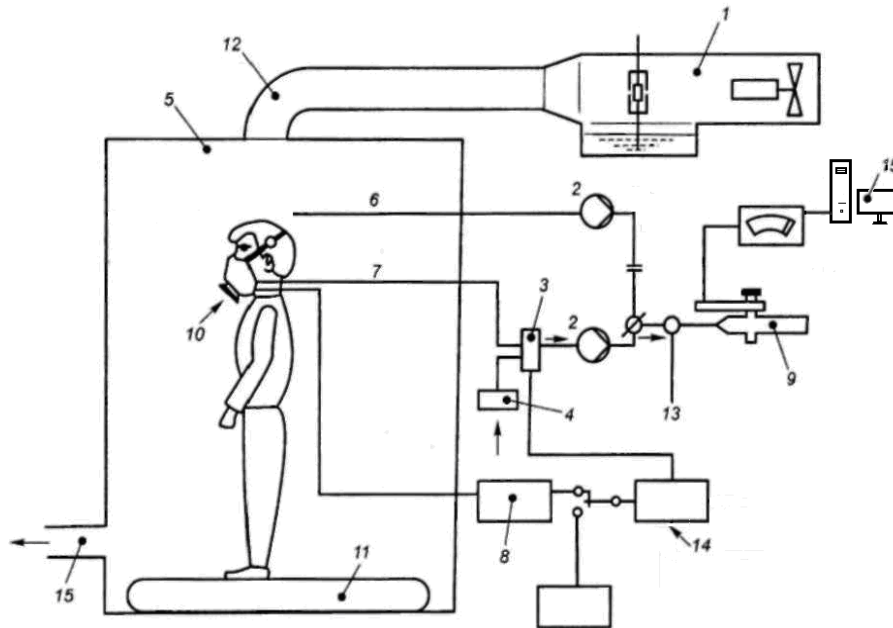


Рис. 3. Схема стенду з визначення коефіцієнту проникання респіраторів за тест-аерозолем на людях:

1 – генератор аерозолю з компресором та трубопроводом аерозолю; 2 – аспіратор; 3 – багатходовий клапан; 4 – фільтр; 5 – випробувальна камера, куди зверху надходить аерозоль; 6 – патрубок для відбирання проби тест-аерозолю з камери; 7 – патрубок для відбирання проби тест-аерозолю з підмаскового простору; 8 – датчик тиску; 9 – спектрофотометр; 10 – протипиловий респіратор; 11 – бігова доріжка, що розміщена у випробувальній камері; 12 – повітропровід і розподільвач повітря; 13 – патрубок для подавання чистого повітря; 14 – система розподілу фаз вдихання – видихання; 15 – комп'ютер. / Framework for inward leakage determination using testing aerosol on people: 1 – atomizer with compressor and aerosol hose; 2 – exhauster; 3 – change-over pump; 4 – filter; 5 – enclosure with aerosol supplied from the top part; 6 – hose for testing aerosol sampling from enclosure; 7 – hose for testing aerosol sampling from half mask; 8 – manometer; 9 – spectrophotometer; 10 – dust mask; 11 – treadmill inside the enclosure; 12 – ducting and baffle; 13 – hose for clean air; 14 – pulsed sampling interface; 15 – computer.

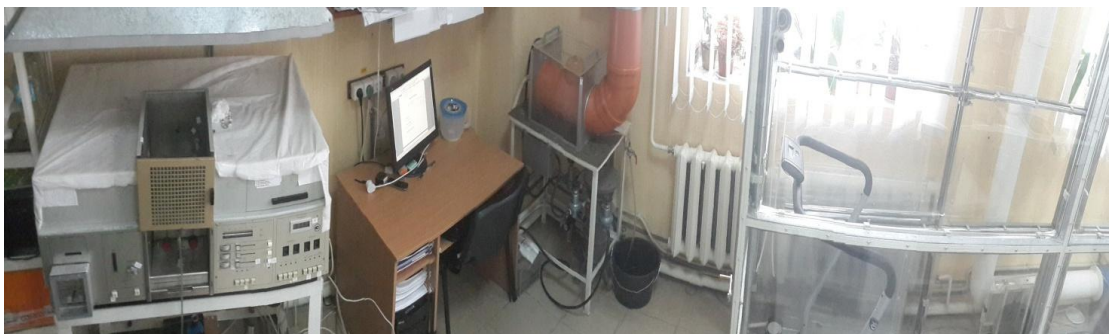


Рис. 4. Загальний вигляд стенду, зліва направо: спектрофотометр; комп'ютер; генератор аерозолю з компресором та трубопроводом аерозолю; випробувальна камера/ Bench, from left to right: pectrophotometer; computer; atomizer with compressor and aerosol hose; enclosure.

Результат осереднювався, заносився у таблицю спеціалізованої програми AAS-2009, що додається до спектрофотометра, та виводився на монітор комп'ютера у вигляді графіків.

Спочатку визначався коефіцієнт проникання півмаски, одягненої на випробувачів без спеціальних заходів ущільнення її за смугою обтюраторії. Потім визначався коефіцієнт проникання тест-аерозолу, але тільки крізь

фільтр, при цьому для запобігання підсмоктування тест-аерозолу за смугою обтюраторії півмаски місця стикання обличчя з обтюратором герметизувались шляхом нанесення на шкіру обличчя медичного гелю – «Aqualaser». Після чого визначався коефіцієнт підсмоктування за формулою (2)

Під час експериментальних досліджень на стенді отримані типові графіки, що характеризують змінність визначених коефіцієнтів підсмоктування випробуваних 3-х зразків півмасок при виконанні ними різних дій (вправ), що наведені на рис. 5 (побудовані на комп'ютері з використанням програми AAS-2009).

Кп, %

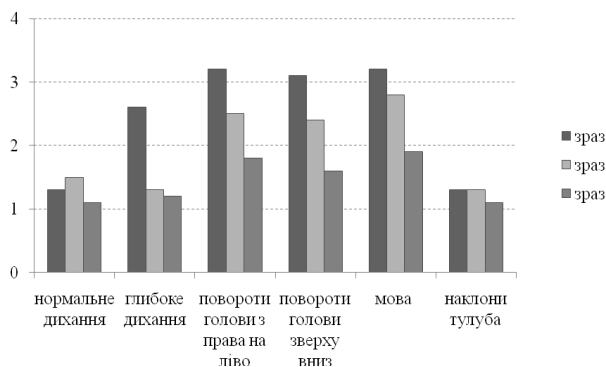


Рис. 5. Зміна коефіцієнта підсмоктування півмаски «Сніжок» при виконанні випробувачами різних дій виробничого характеру/ Change of inward leakage for Snizhok half mask in case of various activities performing by test persons

Отримані графіки указують на поступове з часом збільшення кількості аерозольних частинок, що проникають у підмасковий простір. Цей факт можна пояснити наявністю під маскою зони, де є засій повітря та накопичуються певна частина аерозолу, що не був видалений через клапан під час фази видиху.

Встановлено, чим більше ця зона, тим швидше зростає підмаскова концентрація аерозолу, особливо при глибокому диханні та нахилах тулуба, коли збільшується час фази вдихання і з'являються та з'являються додаткові щілини за смугою обтюраторії.

В цьому випадку об'єму видиху недостатньо для забезпечення видалення всього аерозолу, оскільки відомо, що об'єм видиху дещо менший за об'єм вдиху [10].

Відповідні значення коефіцієнтів проникання півмасок та їх фільтрів, одержаних за даними програми AAS-2009 під час досліджень для кожного випробу-

вача наведені в табл. 2, 3, а розрахункові показники коефіцієнта підсмоктування за смугою обтюраторії – в табл. 4.

Таблиця 2.

Значення коефіцієнта проникання півмасок/ Total inward leakage for half mask

Номер зони	Випробувач	Значення коефіцієнта підсмоктування півмасок		
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	1	1,9	2,9	1,3
2	2	3,1	1,1	1,5
	3	2,7	1,9	1,4
	4	2,3	1,3	1,6
3	5	3,1	3,1	1,8
	6	1,9	2,1	1,6
Середні значення К _ц		2,5	2,1	1,5

Таблиця 3.

Значення коефіцієнта проникання тест-аерозолу крізь фільтр півмаски/ Total inward leakage for testing aerosol through half mask filter

Номер зони	Випробувач	Значення коефіцієнта підсмоктування півмасок		
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	1	0,9	0,9	0,9
2	2	1,2	0,9	0,8
	3	1,1	0,9	0,9
	4	1,1	0,8	0,8
3	5	1,2	1,1	1,2
	6	1,1	1,2	1,1
Середні значення К _{пф}		1,1	0,9	0,9

Таблиця 4.

Значення коефіцієнта підсмоктування аерозолу за смугою обтюраторії/ Inward leakage for aerosol according to half mask seal

Номер зони	Випробувач	Значення коефіцієнта підсмоктування для різних зразків півмасок		
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	1	1	2	0,4
2	2	1,9	0,2	0,7
	3	1,6	1	0,5
	4	1,2	0,5	0,8
3	5	1,9	2	0,6
	6	0,8	0,9	0,5
Середні значення К _{пд}		1,4	1,1	0,5

Різниця 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, створеної наголів'ям півмаски (рис. 6).

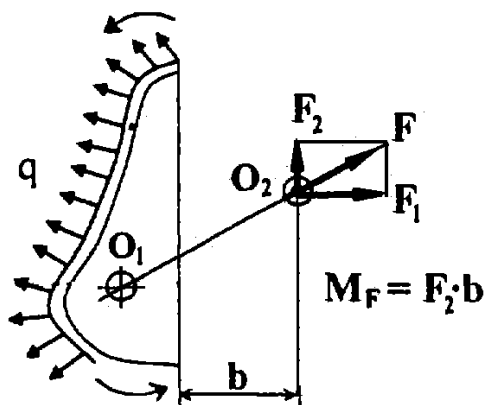


Рис. 6. Розподіл зусиль на півмасці «Сніжок»: O_1 – точки кріплення наголів'я; точка O_2 – місце кріплення стрічки наголів'я на голові/ Hold down pressure distribution for Snizhok half mask: O_1 – points of head harness anchoring; O_2 point – the point of head harness stretch anchoring.

Доказом слугує те, що у першому перевіреному зразку для наголів'я використовувався вдвічі більша пластикова смужка ніж у другому, тоді як у третьому – вона взагалі відсутня. Збільшення ж розміру пластикової смужки викликає значний момент M_F відносно горизонтальної площини півмаски, про що свідчить про різницю між механічним тиском в області перенісся та підборіддя (рис. 7).

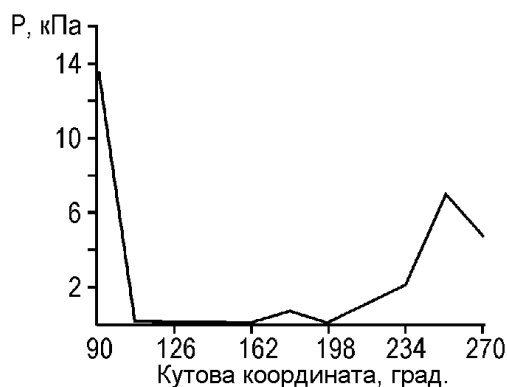


Рис. 7. Асиметричний розподіл механічного тиску за смугою обтюрації півмаски [11]/ Asymmetric mechanic pressure distribution according to half mask seal

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 аерозолі 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, вмонтований у маску-балаклаву, яка забезпечує надійну фіксацію півмаски за всю смугу обтюрації.

Отже, проведені дослідження дозволили встановити зв'язок між коефіцієнтом захисту респіраторів та їх ізолювальними властивостями. Зокрема, даних табл. 5 видно, що найкращий результат спостерігається у комплексного засобу захисту. 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 в умовах наближених до виробничих за рахунок відтворення на стенді типових дій у вигляді певних вправ, що імітували виробничу діяльність, а саме: звичайне дихання; глибоке дихання; повертання голови зі сторони в сторону; рухи голови вгору і вниз; розмова вголос; ходьба на біговій доріжці та наклони тулуба.

Доведено, що при виконанні випробувачем глибокого дихання, нахилів тулуба або розмови коефіцієнт підсмоктування збільшується через утворення додаткових зазорів за смугою обтюрації півмаски на обличчі, що обумовлено зміною притискних зусиль в певних областях півмаски та її зсувом на голові.

Показано, що найменшою величиною підсмоктування характеризувалась півмаска вмонтована у маску-балаклаву.

Встановлено, що щільність притискання півмаски легкого респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я, напряму та дії рівнодіючої сили, що при цьому утворюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Вітрищак С. В. Вплив виробничих чинників вугільних шахт на стан професійного здоров'я гірників / С. В. Вітрищак, О. Л. Савіна, К. В. Клименко, І. А. Гайдаш, В. С. Курчанова // 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. Patricia M.H. The Effect of Aerosol Size Distribution and Measurement Method on Respirator Fit. /M.H. Patricia, K. Willeke // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1987. – № 48 (10). – P. 855 – 860.

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

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

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

REFERENCES

1. Derghavna slughba statystyky Ukrainy. *Vvedennia v ekspluatatsiiu zhytlovykh budynkiv* [Commissioning of residential buildings]. *Derghavna slughba statystyky Ukrainy. Statystychna informatsiia. Naseleattia ta ghytlo*. [State department of statistic of Ukraine. Statistic information. Population and housing]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (in Ukrainian).

2. Minregion Ukrainy. *Vyznachennia klasu naslidkiv (vidpovidalnosti) ta kategorii skladnosti ob'ektiv budivnytstva: DCTU N B V.1.2-16:2013* [State standard of Ukraine N B V.1.2-16:2013. The definition of the class of consequences (responsibility) and category of complexity for construction objects]. Kyiv, 2013, 37 p. Available at: <http://www.dbn.at.ua>. (in Ukrainian).

3. Yesypenko A.D. *Pryntsypy formuvannia systemy utrymannia ta remontu budynkiv, sporud ta inzhenernykh merezh* [Principles of formation of system of maintenance and repair of buildings, structures and engineering networks]. *Budivnytstvo Ukrainy* [Construction of Ukraine]. 2006, no. 1, pp. 36-38. (in Ukrainian).

4. Derghavna slughba statystyky Ukrainy. *Zhytlovyi fond Ukrainy* [The housing fund of Ukraine].]. *Derghavna slughba statystyky Ukrainy Statystychna informatsiia. Naseleattia ta ghytlo*. [State department of statistic of Ukraine. Statistic information. Population and housing]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (in Ukrainian).

5. Ushats'ky S.A., Pokolenko V.O., Tuhay O.A., Lahutin H.V., Borysova N.O. and Rubtsova O.S. *Innovatsiini kontseptualni ta formalno-analitychni instrumenty obgruntuvannia, pidgotovky ta vprovadzhenia buduvalnykh investytsiinykh proektiv* [Innovative conceptual and formal analytical tools substantiation, preparation and implementation of construction investment projects]. Kyiv: Vyd-vo Yevropeyskyi Universytet, 2008, 208 p.

6. *Poisk nedvighimosti. Kiev* [Search real estate. Kiev]. *Assotsiatsiia spetsialistov po nedvighimosti (rieltorov) Ukrainy. Real estate*. [Association of specialists of real estate of Ukraine. Real estate]. Available at: <http://www.asnu.net>. (in Russian).

7. Kievskiy I.L. *Vliyanie organizatsionno-tehnologicheskikh faktorov na realizatsiyu produktsii zhilishchnogo stroitelstva. Avto-referat kand.* [The impact of organizational and technical factors on sales of products of housing construction. Abstract of Ph. D. dissertation]. Tsentral. nauch.-issled. i proektno-eksperiment. in-t org., mekhanizatsii i tekhn. pomoschi str-vu. Moscow, 2003, 22 p. (in Russian).

8. Kravchunovska T.S. *Kompleksna rekonsruktsiia zhytlovoi zabudovy: organizatsiino-tehnologichni aspekty* [Complex reconstruction of residential development: organizational and technological aspects]. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2010, 230 p. (in Ukrainian).

9. Kravchunovska T.S., Bronevytskyi S.P., Mykhailova I.O. and Martens O.O. *Problemy i perspektyvy budivnytstva dostupnogo zhytla v Ukraini* [Problems and prospects of affordable housing in Ukraine]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie –* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2013, no. 69, pp. 242-246. (in Ukrainian).

10. Kirnos V.M., Andreev V.G., Uvarov E.P., Tseloval'nikov V.A., Rudenko N.N., Uvarov P.E., Punagin V.N., Shparber M.E., Damaskin B.S., Pilipenko V.M., Pashkov A.P., Kravchunovskaya T.S., Galich E.G., Yugov A.M., Kozhemyaka S.V., Savjovskij V.V. and Kotlyar N.I. *Kontseptualnye osnovy regionalnoy politiki razvitiya kompleksnoy rekonstruktsii obyektov zhiloy nedvizhivosti s maksimalnym ispolzovaniem sushchestvuyushchikh zdaniy i infrastruktury gorodskikh territoriy* [Conceptual foundations of regional policy for the development of complex reconstruction of residential properties with maximum use of existing buildings and infrastructure of urban areas]. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2010, 121 p. (in Russian).

11. Kostetskiy N.F. and Gurko A.I. *Zarubezhnyy opyt gosudarstvennogo regulirovaniya vosproizvodstva zhilishchnogo fonda, yego sokhraneniya i modernizatsii* [Foreign experience of state regulation of reproduction of housing, preservation and modernization]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. 2003, no. 1, pp. 13-30. (in Russian).

Надійшла до редколегії 4.10.2018 р.