

УДК 622.867:614.89

Чеберячко С.І., д-р техн. наук, професор,
Столбченко О.В., канд. техн. наук, доцент
Радчук Д.І., канд. техн. наук, доцент,
Зіборова М.О., аспірант
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ДО СПОСОБУ РОЗРОБКИ ЕРГОНОМІЧНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ПІВМАСОК

Чеберячко С.И., д-р техн. наук, профессор,
Столбченко Е.В., канд. техн. наук, доцент,
Радчук Д.И., канд. техн. наук, доцент,
Зиборова М.А., аспирант
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

К СПОСОБУ РАЗРАБОТКИ ЭРГОНОМИЧНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПОЛУМАСОК

Cheberyachko S.I., D.Sc.(Tech.), Professor,
Stolbchenko O.V., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Radchuk D.I., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Ziborova M.O., Doctoral Student
(SHEI «NMU»)

TO THE METHOD OF DEVELOPMENT OF ERGONOMIC FILTER HALF MASKS

Анотація. В статті визначені основні конструктивні елементи сучасних респіраторів, які впливають на ступінь захисту працівників.

Встановлено, що найбільший вплив на ефективність фільтрувальних засобів індивідуального захисту надає конструкція обтюратора півмасок.

Визначено, що найгірші результати з коефіцієнта проникнення нефільтрованого повітря у підмасковий простір респіраторів були зафіксовані при виконанні поворотів голови, через утворення додаткових зазорів між обтюратором і обличчям.

Вирішення даної проблеми передбачається у використанні сучасних матеріалів для півмасок та клапанів видихання, розрахунку геометрії обтюратора у відповідності до антропометричних характеристик обличчя та розробки наголів'я швидкого прилаштування.

Ключові слова: Фільтрувальні півмаски, розмір обличчя, коефіцієнт ізолювання, коефіцієнт захисту, ЗІЗОД.

Актуальність. Фільтрувальні півмаски через їх відносну дешевизну і нескладну конструкцію мають значне розповсюдження у різних галузях промисловості. Проте їх використання пов'язане з багатьма проблемами: відсутність достатнього рівня комфорту, надійного припасування до обличчя, незначного терміну захисної дії та інші [1]. Аналіз опублікованих досліджень з визначення коефіцієнту захисту респіраторів на робочому місці показав їх низьку ефективність [2].

Звертаємо увагу, що жоден респіратор не може потрапити на виробництво без лабораторної перевірки на відповідність вимогам стандартів. Тому отримані результати більшість фахівців пояснюють незручною конструкцією засобів індивідуального захисту органів дихання [3]. У кожного працівника індивідуальні риси обличчя. Дуже важко розробити півмаску, яка б була зручною для всіх. В прийнятому стандарті ДСТУ EN 529 роботодавцям рекомендують надати можливість вибору працівникові відповідного захисного пристрою за допомогою процедури «перевірка на придатність».

Зрозуміло, що проблема надійного ізолювання органів дихання пов'язана з антропометричними розмірами обличчя. Рахується, що найбільш проблемним місцем, де частіше за все фіксуються зазори за смугою обтюрації, є область перенісся [4]. Біля 84 % зазорів було знайдено саме в цій області (біля носа і щік). Найгірші результати при перевірці ЗІЗОД фіксуються при розмові (зміні міміки обличчя). Тому зараз ведеться постійних ошук нових конструктивних рішень для покращення ізолювальних властивостей півмасок.

Важливою складовою цього процесу є також удосконалення лабораторної перевірки респіраторів. Наприклад, у США, були складені спеціальні таблиці з розподілом антропометричних параметрів обличчя для підбору учасників випробувань [4] та виготовлення відповідних 3Dмоделей манекенів голови [5]. Ними користуються і для підбору учасників випробувань і для проектування нових півмасок і для розробки стандартів. Вважається, що виготовлені за даними цих таблиць ЗІЗОД підійдуть 95 % користувачів.

У європейських країнах такі таблиці не використовуються. Перевірка якості ЗІЗОД виконується на десятих добровольцях, які охоплюють набір характеристик обличчя типових споживачів та ознайомлені з правилами користування півмасок. Ця вимога присутня у всіх стандартах щодо оцінки якості різних типів ЗІЗОД. Звертаємо увагу, що в стандарті підкреслюється не залучати до перевірки добровольців, яким не вдалось підібрати придатну за розміром півмаску. Такий підхід на думку багатьох фахівців як раз і призводить до не належного захисту працівників на виробництві. Адже отриманий результат після такої лабораторної перевірки можна розповсюджувати тільки на працівників параметри обличчя, яких схожі до тих, що приймали участь у випробуваннях [6]. У осіб з іншими відмінними параметрами – результат буде значно гірший. Тому виникає задача у дослідженні впливу антропометричних характеристик обличчя на розробку дизайну каркасу півмасок, який забезпечив її високі ізолювальні властивості.

Метою роботи є розробка ергономічної фільтрувальної півмаски з високими ізолювальними властивостями.

Для вирішення поставленої задачі необхідно:

- встановити основні розміри обличчя, від яких залежать ізолювальні властивості півмасок;
- визначити критичні точки на обличчі за якими будується 3D модель півмаски;
- розрахувати площу контакту обтюратора з обличчям.

Основний матеріал. Для вирішення першої задачі скористались дослідженнями відомих американських вчених, які працюють у Національному інституту охорони здоров'я. До найвагоміших розмірів обличчя вони відносять: довжину і ширину обличчя, довжину носа, губ, висоту носа та інші, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Скорочення і опис розмірів обличчя

Скорочення відповідно до американського стандарту	Розмір обличчя	Опис розміру обличчя
1. BIZBDTH	Ширина обличчя	Максимальна горизонтальна ширина обличчя між щелеповими дугами
2. BIGBRH	Ширина обличчя за кутами нижньої щелепи	Пряма відстань між правою і лівою кутовими точками внизу щелепи
3. NOSEBRTH	Ширина носа	Відстань між правою і лівою точкою крил носа
4. LIPLGTHH	Довжина губ	Відстань між правою і лівою точкою за кутами рота
5. MENSELLH	Довжина обличчя	Відстань між нижньою точкою підборіддя і верхньою точкою заглибленості носа
6. SBNSSELH	Довжина носа	Відстань між нижньою точкою носа і верхньою точкою заглибленості носа
7. NOSEPRH	Висота носа	

Відповідно до рекомендацій, наведених у роботах Chen, W., Zhuang, Z., Benson, S., Du, L., Yu, D., Landsittel, D., Wang, L., Viscusi, D., Shaffer, A. були виміряні за допомогою штангенциркуля та мірної стрічки розміри обличчя у більше ніж у 400 чоловіків і жінок рис. (рис. 1). Діапазон довжини обличчя перевірених осіб склав 98,5 мм до 143,2 мм, ширини – від 131,3 мм до 164,9 мм. Результати зведені у таблицю 2.

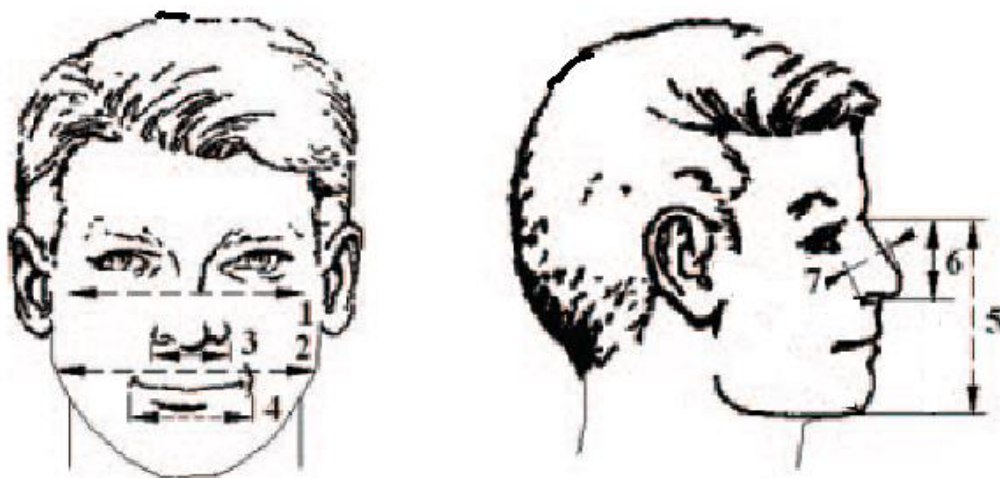


Рисунок 1 - Розміри обличчя, які вимірялись у добровольців

Таблиця 2 - Результати вимірів розмірів обличчя, мм

Размер	Чоловіки (320)	Жінки (80)	Всього (400)
1. BIZBDTH	144.3±8.9	135.3±6.0	144.5±8.9
2. BIGBRH	130.2±9.1	121.1±9.1	128.4±10.1
3. NOSEBRTH	32.7±1.9	29.6±3.3	32.0±3.6
4. LIPLGTHH	51.4±3.7	45.0±3.7	48.7±4.8
5. MENSELLH	121.1±8.4	115.2±5.8	119.8±7.8
6. SBNSSELH	49.3±4.5	43.2±3.0	47.7±5.0
7. NOSEPRH	24.1±2.7	22.4±2.2	23.9±2.6

Для вирішення другої задачі були проаналізовані декілька досліджень щодо встановлення взаємозв'язку між конструкцією півмасок їх розміром й ізолювальними властивостями півмасок [7 - 9]. Моделювання досліджень цього використовували прилад Porta Count Plus, який визначав повне проникнення (через фільтр і через зазори між півмаскою і особою) при виконанні відповідних вправ для імітації роботи. Встановлено, що конструкція респіратора (чашоподібний або складаний) майже впливала на ізолювальні властивості респіратора при звичайному та глибокому диханні. При цьому найбільша кількість підсмоктувань фіксувалась в області перенісся. Однак при розмові поворотах голови слабким місцем півмасок стала область щік. Ймовірніше на результати вплинула зміна міміки лиця (табл. 3). На думку авторів важливими розмірами обличчя, які значно впливають на захисні властивості є ширина та довжина обличчя, випинання носа та форма обличчя.

Таблиця 3 - Розподіл місць просочування аерозолю за смугою обтюратора [9]

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

Розглядалось два варіанти дизайну контуру обтюратора півмаски. У першому враховували ширину обличчя, ширину носа та відстань від перенісся до підборіддя. Тоді як для другого, крім зазначених точок враховували і ширину обличчя за нижніми щелепами. На підставі отриманих даних та осереднених результатів замірів наведених у таблиці 2 було запропоновано розміщення критичних точок для побудови смуги обтюраторії на обличчі (рис. 2).

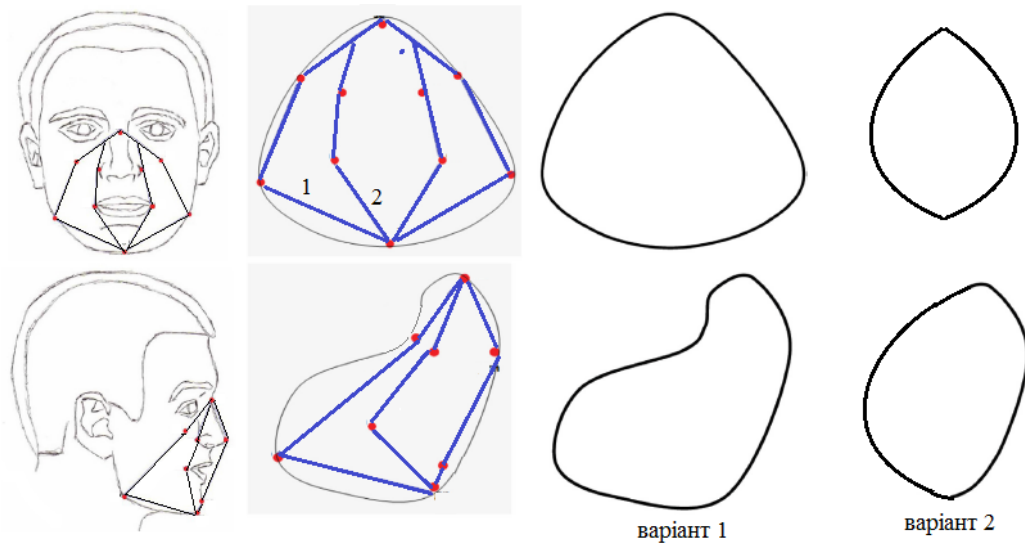


Рисунок - 2. Побудовані контури смуги обтюрації

Основою для двох варіантів є розмір носа у верхній частині і довжина лиця. Тоді як відмінність полягає у виборі або ширини обличчя або довжини губ. Таким чином, контур обтюратора вузький у верхній частині обличчя та розширюється до низу, щоб покрити щоки. Тим самим зменшити вплив міміки обличчя при розмові у першому варіанті. У другому - контур зосереджено навколо носа і рота. Він потребує значно меншої кількості фільтрувального матеріалу, але смугу обтюрації в цьому випадку необхідно підсилити додатковими ущільнювачами. Форма маски була отримана на основі побудованих точок. При цьому грубі краї були згладжені, використовуючи відповідне програмне забезпечення Corel. Креслення та натурні зразки побудованих конструкцій фільтрувальних півмасок наведені на рис. 3.

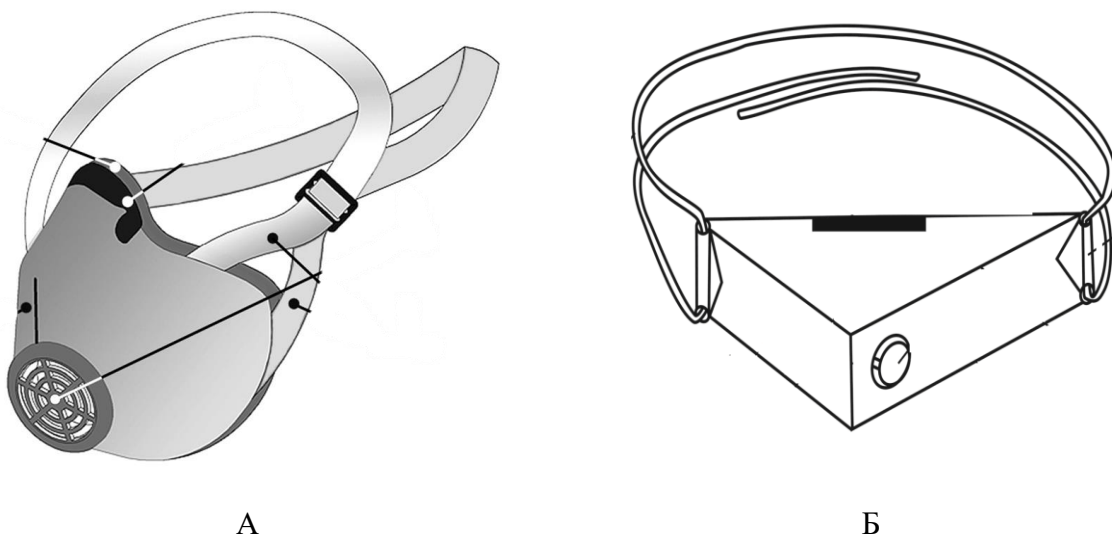


Рисунок 3 - Фільтрувальні півмаски виготовлені за варіантом 1 (а) варіантом 2 (б)

Подальші дії полягали створенні 3D моделі півмаски і поєднанні її з моделлю голови для визначення площі контакту за смугою обтюрації. Для

цього у програмі 3ds Max були побудована модель голови. Вона складалась з чотирьох зон: підборіддя, ліва і права щоки, перенісся з лобовою частиною. Для розрахунку загальної площі прилягання каркасу півмаски до обличчя модель голови вкривались спеціальними квадратними дільницями площею 4 мм².

Потім у програмі було поєднано півмаску з моделлю голови для обрахунку величини площі контакту за смугою обтюрації, який проводили у програмі Matlab. Контактна область між головою і півмаскою представляє нерівномірне кільце обмежене внутрішньою і зовнішньою граничними кривими. Поверхня області контакту вважаємо симетричною. Оскільки обидва сторони голови та півмаски є симетричними. Можливу асиметрію у першому наближенні не враховували. Деякі контактні площадки підганяли вручну оскільки існувала неточність у оформленні трьохмірного зображення півмаски. Найбільш проблемним місцем є область перенісся, яка є випуклою, а у зображенні півмасок ця зона не зовсім співпадала з розмірами перенісся. На практиці у кожній півмаски є пластина, якою також можна покращити притискні зусилля в області перенісся. Тому рахуємо, що дані маніпуляції не вносять значну похибку у представлені вимірювання, площі контакту. Результат представлявся у вигляді таблиці 3.

Таблиця 3 - Результати розрахунку площі смуги обтюрації

Марка респіратора	Розрахована пощадаь контакту між півмаскою і зонами обличчя, см ²				Загальна площа контакту, см ²
	Перенісся	права щока	ліва щока	підборіддя	
Варіант 1	2,2	3,1	3,1	4,0	12,4
Варіант 2	1,2	2,2	2,2	2,6	8,2

Обговорення отриманих результатів. Для аналізу отриманих результатів скористаємось дослідженнями Чжуана Зіквінга з співавторами у роботі «Взаємозв'язок ізолювальних властивостей масок респіраторів з дільницями таблиць – для різних розмірів масок» [10] у якій приведені експериментально отримані формули для розрахунку коефіцієнта ізолювання півмасок або масок, виходячи зі статистичної обробки більше 1000 перевірок різних півмасок (табл. 4)

Результати обрахунків коефіцієнта ізолювання для розроблених респіраторів та очікуваного коефіцієнта захисту, який є обернено пропорційною величиною коефіцієнта ізолювання наведені в таблиці 5.

Аналіз отриманих даних говорить, що у варіанта один захисна ефективність значно більша ніж у варіанта 2, оскільки ізолювальні властивості краще. Враховуючи, також що і площа контакту більша у першому варіанті, можна передбачити результат лабораторної перевірки з оцінюванням коефіцієнта проникнення з різними рухами голови, який також повинен бути кращим.

Таблиця 4 - Формули для визначення коефіцієнта ізолювання півмасок

Тип таблиці	Розмір обличчя	Формула	Похибка
NIOSH №1	маленьке	$K_i = 14.0352 - 0.0363 * X - 0.0539 * Y_1$	0.01
	середнє	$K_i = 1.4313 - 0.0151 * X + 0.0291 * Y_1$	0.05
	велике	$K_i = -9.0460 + 0.0320 * X + 0.0575 * Y_1$	0.01
NIOSH №2	маленьке	$K_i = 15.5294 - 0.0430 * X - 0.0296 * Y_2$	0.01
	середнє	$K_i = 0.4443 - 0.0001 * X + 0.0808 * Y_2$	0.05
	велике	$K_i = -10.4449 + 0.0396 * X + 0.0524 * Y_2$	0.01

Примітки* у таблиці K_i – коефіцієнт ізолювання; X – довжина обличчя відповідно до дільниці таблиці; Y_1 – дожина губ відповідно до дільниці таблиці; Y_2 – ширина обличчя відповідно до дільниці таблиці.

Таблиця 5 - Результати розрахунків коефіцієнта ізолювання півмасок

Варіант півмаски	Розмір обличчя	Коефіцієнт ізолювання
1	маленьке	6,1
	середнє	8,2
	велике	6,6
2	маленьке	5,1
	середнє	6,4
	велике	4,6

Висновки. У результаті проведених досліджень були визначені основні антропометричні розміри облич більше ніж 400 осіб, за результатами, яких були побудовані два контури смуги обтюраторів респіраторів. Проведені дослідження були взяті за основу виготовлення двох півмасок. Варіант 1 – базувався на осереднених даних довжини і ширини обличчя, а варіант 2 – на дожині обличчя і губ. У результаті перевірки моделюванням у відповідних програмних продуктах було оцінено площу смуги обтюраторів. Відомо що чим вона більша тим менше виникають зазори при різних рухах голови. Відповідно, до отриманого результату у варіанта один вона на 40 % більша ніж у варіанта 2. Подібний результат було отримано при розрахунках коефіцієнтів ізолювання і захисту. Таким чином, потрібно провести лабораторну інструментальну перевірку для підтвердження отриманих даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания работающих / В.Ф. Кириллов [и др.] // Медицина труда и промышленная экология – 2013. - № 4. – С. 25-31.
2. Kirillov, V.F. On means of individual protection of respiratory organs of the workers (literature review) / V.F. Kirillov, A.A. Bunchev, A.V. Chirkin // FGBU "Scientific and research Institute of Labour Medicine" of Russian Academy of Medical Sciences Labour Medicine and Industrial Ecology. - 2013. – No. 4. - P. 25-31.

3. Kovacs, L. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. / L. Kovacs, A. Immermann, G. Brockmann // *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* – 2006. - № 59. – P. 1193–1202
4. 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
5. Oestenstad, R.K. An assessment of critical anthropometric dimensions for predicting the fit of a halfmask respirator. / R.K. Oestenstad, L.L. Perkins // *American Industrial Hygiene Association Journal.* – 1992. – Vol. 53. – № 6. – P. 639-644.
6. Голінько, В.І. «Захист без захисту». Рекомендації вчених щодо створення програм респіраторного захисту працюючих / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, О.В. Чиркін/ *Охорона праці.* – 2015. - №4. – С. 230-237.
7. Janssen, L. The Effect of Pressure Drop on Respirator Faceseal Leakage. / L. Janssen, R. Weber // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* – 2005. – Vol. 2. – №7. –P. 335–340
8. Oestenstad, R.K. The effect of gender and respirator brand on the association of respirator fit with facial dimensions. / R.K. Oestenstad, L.J. Elliot, T.M. Beasley // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* – 2007. - №4. – P. 923–930
9. Comparison of five methods for fit-testing N95 filtering face piece respirators. / C.C. Coffey, R.B. Lawrence, Z. Zhuang [and others] // *American Industrial Hygiene Association Journal.*– 2002. - №17. – P. 723–730
10. Zhuang, Z. Respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force / Z. Zhuang, B. Bradtmiller, N. Shaffer // *N. J. Occup. Environ. Hyg.* – 2007. - № 4. - P. 647–659.

REFERENCES

1. Kirillov, V.F. [and others] (2013), “On the means of individual protection of the respiratory organs of workers”, *Occupational medicine and industrial ecology*, vol. 4, pp. 25 – 31.
2. Kirillov, V.F., Bunchev, A.A. and Chirkin A.V. (2013), “On means of individual protection of respiratory organs of the workers (literature review)”, *FGBU "Scientific and research Institute of Labour Medicine" of Russian Academy of Medical Sciences Labour Medicine and Industrial Ecology*. No. 4, pp. 25-31.
3. Kovacs, L., Immermann, A. and Brockmann, G. (2006) “Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner”, *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* no. 59, pp. 1193–1202.
4. 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*, vol. 51 (5), pp. 285-290.
5. Oestenstad, R.K and Perkins L.L. (1992), “An assessment of critical anthropometric dimensions for predicting the fit of a halfmask respirator”, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 53, no. 6, pp. 639-644.
6. Golinko, V.I, Cheberyachko, S.I, and Chirkin O.V. (2015), «"Protection without protection" Recommendations of scientists on the establishment of respiratory protection programs for workers», *Occupational Health*, Vol. 4, pp. 230 – 237.
7. Janssen, L and Weber R. (2005), “The Effect of Pressure Drop on Respirator Faceseal Leakage”, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 2. – №7. pp. 335–340.
8. Oestenstad, R. K., Elliot L.J. and T.M. Beasley. (2007), “The effect of gender and respirator brand on the association of respirator fit with facial dimensions”, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 4, pp. 923-930.
9. Coffey, C.C., Lawrence, R.B., Zhuang, Z., Campbell, D.L., Jensen P.A. and Meyers W.R. (2002), “Comparison of five methods for fit-testing N95 filtering face piece respirators”, *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 17, pp. 723-730.
10. Zhuang, Z., Bradtmiller, B. and Shaffer New (2007), “Respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force”, *J. Occup. Environ. Hyg*, vol. 4, pp. 647-659.

Про авторів

Чеберячко Сергій Іванович, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри аерології і охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, sicheb@ukr.net.

Столбченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри аерології і охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, elena_aot@ukr.net.

Радчук Дмитро Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри аерології і охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, cheberiyachkoyi@ukr.net.

Зіборова Марія Олександрівна, аспірант кафедри аерології і охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, makoshe4ka@gmail.com.

About the authors

Cheberyachko Sergiy Ivanovych, Doktor of Technical Sciences (D.Sc.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Aerology and Labour Safety, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, sicheb@ukr.net

Stolbchenko Olena Volodymyrivna, Ph.D (Tech.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Aerology and Labour Safety, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, elena_aot@ukr.net

Radchuk Dmytro Igorovich, Ph.D (Tech.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Aerology and Labour Safety, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, ruis@i.ua

Ziborova Maria Oleksandrivna, Doctoral Student in the Department of Aerology and Labour Safety, (SHEI «National Mining University»), Dnipro, Ukraine, makoshe4ka@gmail.com

Аннотация. В статье определены основные конструктивные элементы современных респираторов, которые влияют на степень защиты работников.

Установлено, что наибольшее влияние на эффективность фильтровальных средств индивидуальной защиты предоставляет конструкция obturatora полумасок.

Определено, что худшие результаты по коэффициенту проникновения нефильтрованного воздуха в подмасочном пространстве респираторов были зафиксированы при выполнении поворотов головы, из-за образования дополнительных зазоров между obturatorом и лицом.

Решение данной проблемы предлагается в использовании современных материалов для полумасок и клапанов выдоха, расчета геометрии obturatora в соответствии с антропометрическими характеристиками лица и разработки окологоловья быстрого приспособления.

Ключевые слова: Фильтровальные полумаски, размер лица, коэффициент изоляции, коэффициент защиты, СИЗОД.

Abstract. The article defines main structural elements for modern respirators, which affect degree of protection of workers.

It is established that design of the half-mask obturator provides the greatest influence on the effectiveness of filtering means of individual protection.

It was determined that the worst coefficient of unfiltered air penetration to the space under the mask of respirators was recorded when head turned, due to the formation of additional gaps between the obturator and the face.

The solve the problem, it is proposed to use modern materials for half-masks and exhalation valves, calculate the obturator geometry in accordance with anthropometric characteristics of the face and to design fast-put horns.

Key words: filter half masks, face size, isolation factor, coefficient of protection, RPE.

Статья поступила в редакцию 8.06. 2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко