

## ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ КЛАПАНІВ ВДИХАННЯ НА ПЕРЕПАД ТИСКУ РЕСПІРАТОРІВ

С. І. ЧЕБЕРЯЧКО<sup>1\*</sup>, В. Ю. ФРУНДІН<sup>2</sup>, Ю. І. ЧЕБЕРЯЧКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> професор кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, УКРАЇНА

<sup>1</sup> доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, УКРАЇНА

\*email: sihc@yandex.ua

**АНОТАЦІЯ** Визначена доцільність використання клапану вдихання, який розташований після фільтра та його раціональний розмір, який забезпечить мінімальний перепад тиску. Встановлено, що за чотири години в систему увійшло близько 125 г вологи, при чому виміряна волога на фільтрах склала 2 % від загальної кількості вологи, що пройшла крізь фільтр. Приріст опору дихання фільтрів склав 19 Па на 1 г. Встановлено, що найнижчий приріст опору дихання зафіксований у фільтра з клапаном дихання діаметром 55 мм.

**Ключові слова:** фільтрувальний респіратор; опір дихання; працездатність; захисна ефективність

## EVALUATION OF DESIGN VALVE FOR INHALATION DIFFERENTIAL PRESSURE RESPIRATOR

S. CHEBERIACHKO<sup>1</sup>, V. FRUNDIN<sup>2</sup>, YU. CHEBERIACHKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, UKRAINE

<sup>2</sup> Associate Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, UKRAINE

**ABSTRACT Purpose.** To determine the expediency of the inhalation valve usage located after the filter. To set the size of rational inhalation valve that guarantees the minimal pressure differences.

**Methods.** To check the valves inhalation resistance to air flow performed by the dynamic method. Its main elements are: respiratory machine, mannequin head, half-mask respirator with a special insert for the test operation of valves and instrumentation (electronic pressure-gauge Testo 512, and the air flow or gas measuring instrument Paul Gothe).

**Results.** It is found that when the system works during 4 hours, about 125 g of water comes to the system and the measured moisture on the filters was 2% of the total water amount passing through the filter. The increase of breathing filter resistance was 19 Pa at 1 g. It was found that the lowest breathing resistance increase was recorded in the breathing valve filter with the diameter of 55 mm.

**Practical significance.** It was found, the rational diameter of the silicone valve, which could reliably protect the filter from moisture and to provide the minimal resistance increase in the breathing filter box.

**Keywords:** filter respirator; breathing resistance; workability; protective efficacy

### Вступ

Вибір засобів ЗІЗОД доцільно проводити за декількома показниками головними з них є захисна ефективність та опір дихання який впливає на функціональний стан людини. Існує думка, що саме ергономічні показники (опір диханню, маса ЗІЗОД, кількість CO<sub>2</sub> під маскою респіратора) є дуже суттєвими, оскільки вони впливають і на працездатність людини і на час використання фільтрувальних респіраторів. Наприклад, досить часто при виконанні важких підземних робіт спостерігається ситуація, коли гірники через 40 – 50 хв. роботи зривають захисні індивідуальні пристрої органів дихання, тому що в них неможливо дихати. Цьому сприяє накопичення вологи на поверхні фільтра, яка потрапляє також з підмаскового простору

через нещільне прилягання клапана вдихання до сидловини (рис. 1). При цьому пил осідає на гофрах нерівномірно. Це приводить до злипання суміжних складок (рис. 2) і збільшення опору диханню респіратора в цілому. Крім того, малий розмір вихідного отвору фільтрувальної коробки з розміщеним в ньому клапаном вдихання значно підвищує початковий опір диханню. Отже, вивчення впливу розміру клапанів вдихання на опір повітряному потоку фільтрувальної коробки респіраторів є досить актуальною задачею.

### Мета роботи

**Метою дослідження** є визначення взаємозв'язку розміру клапану вдихання на опір повітряному потоку фільтрувальної коробки.



Рис. 1 – Вигляд клапанів вдиху



Рис. 2 – Вигляд запиленого фільтра

Публікації про вплив клапанів вдихання на якість ЗІЗОД у вітчизняній літературі практично відсутні. Тільки у роботі [1] сказано, що від клапану вдихання безпосередньо захисна властивість респіратора не залежить. Його основним призначенням є захист фільтра від повітря, що видихається.

В той же час існує велика кількість досліджень впливу опору дихання фільтрувальних коробок респіратора на працездатність людини [2 - 5]. Так, встановлено, що додатковий опір диханню призводить до значних змін у структурі дихання: збільшується тривалість фаз вдиху і видиху, зростає потреба у кисні, а також щохвилиний об'єм і частота дихання, змінюється глибина самого дихання [2]. Отримані дані у роботі [3], яка виконувалась на велгометрі вказують на погіршення фізичного стану досліджуваних у респіраторах порівняно з виконанням тестових вправ без ЗІЗОД. При вільному диханні артеріальний тиск (після виконання вправи) становив у середньому 140/90, тоді як у респіраторі з опором 60 Па він збільшувався майже на 15 %. Також зафіксоване і зростання пульсу, який значно підвищується при опорі респіратора більше за 60 Па. У роботі [4]

розраховано втрату працездатності, яку можна оцінити за роботою м'язів грудної клітки. Її можна визначити як сумарний добуток загального тиску  $P$  на об'єм повітря  $V$ . Виявлено, що з появою додаткового опору диханню, тобто респіратора, дихальні м'язи при 60 Па запрацювали інтенсивніше на 16 % порівняно з легенеvim навантаженням без ЗІЗОД, або на 56 % при 95 Па, чи на 110 % при 150 Па відповідно. Подібні результати були отримані і зарубіжними дослідниками, в яких використовувалось додаткове навантаження на дихальну систему випробувачів. В роботах показано, що збільшення опору при вдиханні різко зменшувало працездатність [4, 5]. Також була доведена лінійна залежність між опором диханню і працездатністю, яка показує, що тільки за рахунок зменшення опору диханню респіраторів можна підвищити працездатність людини [5].

### Матеріали і методи дослідження

Перевірка опору повітряному потоку клапанів вдихання виконувалась за динамічним методом [6] і у відповідності до методики описаною у ДСТУ EN 149 (п. 8.3 вплив вологи). Вона дозволяє визначити величину підсмоктування клапану під час його спрацювання. Для проведення випробувань використовувалась схема, показана на рис. 3. Основними її елементами є: дихальна машина, манекен голови, півмаска респіратора зі спеціальною вставкою для перевірки спрацювання клапанів та вимірювальні пристрої (електронний манометр Testo 512, та вимірювач потоку повітря або газу Paul Gothe).

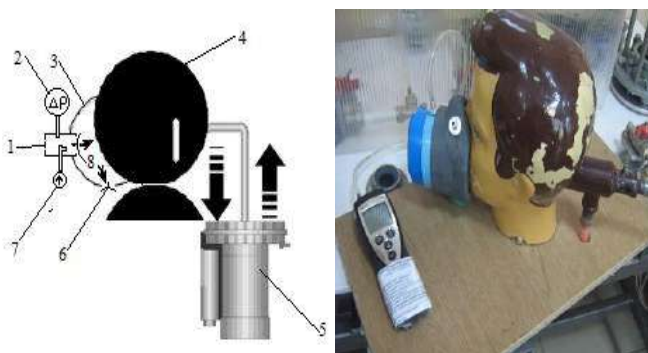


Рис. 3 – Схема і загальний вигляд установки з визначення опору клапану видихання:  
1 – спеціальна насадка з перевірки клапанів вдихання; 2 – електронний манометр;  
3 – півмаска; 4 – манекен голови;  
5 – дихальна машина; 6 – клапан видихання;  
7 – вимірювач потоку повітря;  
8 – клапан вдихання

Для моделювання роботи клапану вдихання у відповідності до динамічної перевірки, у півмаску (рис. 4) встановлюється спеціальна насадка з отвором, на якій можна розміщувати клапани з різними діаметрами від 20 до 80 мм. У наведеному респіраторі, зворотню сторону корпусу фільтрувальної коробки (рис. 5) заклеювали плівкою у якій вирізали отвір, розмір якого відповідав діаметру клапану, що перевірявся. Клапан закріплювали гвинтом. Для випробувань були підібрані клапани із силікону, діаметром 27 мм, 37 мм, 55 мм, 80 мм (рис. 6). У фільтрувальну коробку респіратора був встановлений фільтр виготовлений з поліпропіленового матеріалу, який зважували до і після випробувань.

Півмаска розташовувалась на манекені голови та приєднувалась до дихальної машини. Дихальна машина відрегульована на 25 циклів за хвилину з 2,0 дм<sup>3</sup> за хід. Стенд укомплектований датчиками температури (ТЕРА ТСМ 50М) і вологи (ТЕРА ДВТ-04) та блоком індикації (рис. 7). Під час випробування у повітропровід, який подає повітря у підмасковий простір під'єднали зволожувач Wonaco 7135. За допомогою електронного манометру вимірювався перепад тиску, як до клапану вдихання так і після нього. Наявність повітряного потоку за клапаном вдихання під час видиху, контролювалось вимірювачем потоку повітря або газу Paul Gothe. Змінюючи вхідний отвір спеціальної насадки визначали величину підсмоктування через клапан вдихання під час видиху. Саме під час видиху повинен спрацювати клапан вдихання і перекрити доступ повітря до спеціальної камери де розміщено фільтр. Випробування проводили чотири години. При дослідженнях встановлювали наступний режим температура повітря у випробувальній камері 37 °С і вологість 95 %



Рис. 4 – Вид півмаски де встановлювали клапан вдихання



Рис. 5 – Вид зворотньої сторони півмаски з установленим клапаном

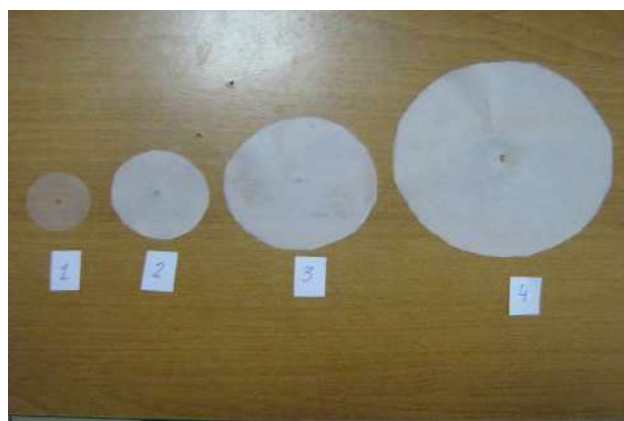


Рис. 6 – Клапани вдихання (дискові) діаметром 1 – 27 мм; 2 – 37 мм; 3 – 55 мм; 4 – 80 мм

### Результати

В табл. 1 наведені результати вимірювань зміни перепаду тиску при роботі клапану вдихання

Таблиця 1 – Результати дослідження зміни перепаду тиску зумовлені розмірами клапанів вдихання

Розмір клапану, мм	Перепад тиску після клапану вдихання при вдиханні повітря, Па	Перепад тиску за клапаном вдихання при видиханні повітря, Па
27	17	0
37	9	0
55	5	0
80	2	6

У табл. 2 наведені результати досліджень зміни перепаду тиску при впливі вологи, що видихається.

Таблиця 2 – Результати дослідження зміни перепаду тиску від вологості повітря на фільтрувальній коробці

Розмір клапану, мм	Витрата повітря, л/хв	Початковий опір дихання респіратора, Па	Кінцевий опір дихання респіратора, Па
без клапану	50	76	142
27		99	102
37		84	87
55		79	81
80		77	106



Рис. 8. – Вигляд структури елєфлену у 300-кратному збільшенні після дослідження



Рис. 7 – Установка для моделювання впливу вологості повітря на фільтри:

- 1 – зволожувач; 2 – індикатори датчиків температури і вологості повітря;  
3 – фільтр; 4 – камера;  
5 – датчик вологості повітря;  
6 – дихальна машина

Через відмінність температури навколишнього середовища і під масковим простором та через велику вологість повітря, що видихається виникає конденсація води на фільтрах. Кількість води у підмасковому просторі залежить від об'єму вдиху, температури і вологості навколишнього повітря, властивостей фільтрувального матеріалу та площі його поверхні. Краплини води через значну їх поверхневу енергію при контакті з фільтрувальним матеріалом, утворюють великий кут контакту. Це приводить до блокування пір фільтра і в подальшому під дією капілярних сил краплини води збираються у великі каплі, що утворює поверхневу плівку (рис. 8).

Аналіз подібних досліджень показав, що за чотири години середнє накопичення води на поліпропіленових фільтрах складає 0,26 г за годину при помірній витраті повітря. В середньому кількість води в кожному об'ємі одного видихання складає 100 мкл/хв. (від 40 до 300 мкл/хв.) [7]. Однак існують дані, про значно більші об'єми видиханої води. Наприклад, у роботах Маккаффета Дж.Б. говориться про 1,5 мл/хв. при хвилинній витраті 22,5 л/хв [8]. В нашому дослідженні за чотири години в систему увійшло близько 125 г води (21,7 мкл/вдих, 25 вдихів за хвилину, 240 хв). При таких умовах виміряна вода на фільтрах склала 2 % від загальної води, що пройшла крізь фільтр. Тобто на фільтра відкладалось близько 2,5 г. Ці результати в деякій мірі відповідають даним, що були отримані при дослідженнях використання півмасок медичними робітниками [9, 10]. Автори вказали, що за час руху на біговій доріжці на масці накопичилось близько 0,4 г води. При цьому середній приріст опору дихання для гідрофобних фільтрів складає біля 5 Па. У нашому випадку приріст у 19 Па можна пояснити тільки злипанням суміжних гофр фільтра і виключенням частини площі фільтра з процесу фільтрування.

Аналіз результатів показує, що збільшення розміру клапана вдихання значно зменшує опір диханню, тим самим зменшує вплив на працездатність. Однак, максимальний діаметр клапана вдихання обмежується затримкою його спрацьовування при видиханні повітря, що зумовлює потрапляння води з під маскового простору на фільтр (таблиця 2 діаметр клапану 80 мм). Дослід показує, що клапан з діаметром 55 мм надійно спрацьовує, захищаючи фільтр від води і при цьому характеризується мінімальним опором диханню.



### Висновок

В результаті проведених досліджень встановлено, що опір фільтрувальної коробки зменшується зі збільшенням розміру клапану вдихання. При цьому існує такий діаметр клапану, який надійно захистить фільтр від вологи і забезпечить мінімальний приріст опору диханню фільтрувальної коробки. Розмір клапану залежить від параметрів матеріалу з якого він виготовлений. Встановлено, що для латексу – діаметр клапану становить 55 мм, при цьому він надійно спрацьовує, захищаючи фільтр від вологи і характеризується мінімальним опором диханню.

### Список літератури

1. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справ.рук–во / П. И. Басманов, С. Л. Каминский, А. В. Коробейников, М. Е. Трубицына. // – С.Пб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с.
2. Каминский, С. Л. Средства индивидуальной защиты в охране труда / С. Л. Каминский. – СПб: Проспект Науки, 2011. – 304 с.
3. Чеберячко, С. І. Оцінка впливу засобів індивідуального захисту органів дихання на працездатність людини / С. І. Чеберячко, Ю. І. Чеберячко // *Науковий вісник НГУ*. – 2007. – № 7. – С. 60-63.
4. Голінко, В. І. Застосування респираторів на вугільних і гірничорудних підприємствах: Монографія. / В. І. Голінко, С. І. Чеберячко, Ю. І. Чеберячко // Д. НГУ, 2008 – 99 с.
5. Kuo Y.-M. Evaluation of Exhalation Valves / Y.-M. Kuo, C.-Y. Lai, C.-C. Chen, B.-H. Lu, S.-H. Huang, C.-W. Chen // *British Occupational Hygiene Society*. – 2005. – Vol. 49. - No.7 – pp. 563–568. Doi: 10.1093/annhyg/mei003.
6. Yang C.-M. Dynamic Respirator Exhalation Valve Test Apparatus / C.-M. Yang, S.-H. Huang, C.-C. Chen // *Conference Occupational Hygiene*. – 2011. – p. 19-20.
7. Horvath, I. Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions / I. Horvath, J. Hunt, P. J. Baranes // *European Respiratory Journal*. – 2005. – № 26 – p. 523–48. – doi: 10.1183/09031936.05.00029705.
8. McCafferty, J. B. Effects of breathing pattern and inspired air conditions on breath condensate volume, pH, nitrite, and protein concentrations / J. B. McCafferty, T. A. Bradshaw, S. Tate // *Thorax*. – 2004. - Vol 59 – p. 694–698. – doi: 10.1136/thx.2003.016949.

9. Roberge, R. J. Physiological impact of filtering facepiece respirators (“N95 Masks”) use on healthcare workers / R. J., Roberge, A. Coca, W. J. Williams // *Respiratory Care Journal*. – 2010. - Vol 55. – p. 569–577.
10. Janssen, L. L. Workplace protection factors for an N95 filtering facepiece respirator / L. L. Janssen, T. J. Nelson K. T. Cuta // *J. Occup. Environ. Hyg.* – 2007. – Vol. 4. – p. 698–707. – doi: 10.1080/15459620701517764.

### Bibliography (transliterated)

1. Basmanov, P. I., Kirichenko, V. N., Filatov, Yu. N., Yurov, Yu. L. Sredstva yndyvduial'noy zashchyty orhanov dykhanyya [High-efficiency gas purification to remove aerosol by means of Petrianov filters] Monograph. – St. Petersburg.: HYPP "art of Russia" – 2002. - 399 p.
2. Kaminsky, S. L., Sredstva yndyvduial'noy zashchyty v okhrane truda [Means of individual protection in labor protection], St. Petersburg: Avenue of Science, 2006, 304 p.
3. Cheberyachko, S. I., Cheberyachko, Y. I. Otsinka vplyvu zasobiv indyvduial'noho zakhystu orhaniv dykhannya na pratsezdatsnist' lyudyny [Assessing the impact of personal respiratory protection to human performance] *Naukovyy visnyk NHU [Scientific bulletin of NMU]*, 2007, 7, С. 60-63.
4. Golinko, V. I., Cheberyachko, S. I. and Cheberyachko, Yu. I., Zastosuvannya respiratoriv na vugilnih i girmichorudnih pidpriemstvah [The use of respirators in the coal and mining companies], SIHE «NMU», Dnepropetrovsk, Ukraine. 2008.
5. Kuo, Y.-M., Lai, C.-Y., Chen, C.-C., Lu, B.-H., Huang, S.-H., Chen, C.-W. Evaluation of Exhalation Valves, *British Occupational Hygiene Society*, 2005, Vol. 49, No.7, p. 563–568. – doi: 10.1093/annhyg/mei003.
6. Yang, C.-M., Huang, S.-H., Chen, C.-C. Dynamic Respirator Exhalation Valve Test Apparatus. *Conference Occupational Hygiene*, 2011, UK p.p. 19-20.
7. Horvath, I., Hunt, J., Baranes, P. J. Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions. *European Respiratory Journal*, 2005, 26, 523–48. Doi: 10.1183/09031936.05.00029705.
8. McCafferty, J. B., Bradshaw, T. A., Tate, S. Effects of breathing pattern and inspired air conditions on breath condensate volume, pH, nitrite, and protein concentrations. *Thorax*; 2004, 59, 694–8. – doi: 10.1136/thx.2003.016949.
9. Roberge, R. J., Coca, A., Williams, W. J. Physiological impact of filtering facepiece respirators (“N95 Masks”) use on healthcare workers. *Respiratory Care Journal*, 2010, 55, 569–77.
10. Janssen, L. L., Nelson, T. J., Cuta, K. T. Workplace protection factors for an N95 filtering facepiece respirator. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2007, Vol. 4, p. 698–707. – doi: 10.1080/15459620701517764.

### Сведения об авторах (About authors)

**Чеберячко Сергій Іванович** – доктор технічних наук, професор кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, Україна; e-mail: sihc@yandex.ua.

**Sergiy Ivanovich Cheberiyachko** – Doctor of Technical Science (Grand PhD), Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, Ukraine; e-mail: sihc@yandex.ua.

**Фрунді́н Володимир Юхимович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, Україна; e-mail: intruder@hotmail.ru.

**Volodymyr Yukhimovich Frundin** – Candidate of Technikal Science (Ph.D), Associate Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, Ukraine, e-mail: intruder@hotmail.ru.

**Чеберячко Юрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, Україна; e-mail: cheberiachkoyi@ukr.net.

**Yuriy Ivanovich Cheberiachko** – Candidate of Technical Science (Ph.D), Associate Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, Ukraine; e-mail: cheberiachkoyi@ukr.net.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Чеберячко, С. І.** Оцінка впливу конструкції клапанів вдихання на перепад тиску респіраторів / **С. І. Чеберячко, В. Ю. Фрундін, Ю. І. Чеберячко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 7 (1229). – С. 219-224. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.31.

*Please cite this article as:*

**Cheberiachko, S., Frundin, V., Cheberiachko, Yu.** Evaluation of design valve for inhalation differential pressure respirator. *Bulletin of NTU KhPI. Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 7 (1229), 219–224, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.31.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Чеберячко, С. И.** Оценка влияния конструкции клапанов вдоха на перепад давления респираторов / **С. И. Чеберячко, В. Е. Фрундин, Ю. И. Чеберячко**, // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 7 (1229). – С. 219-224. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.31.

**АННОТАЦИЯ** Определена целесообразность использования клапана вдыхания, который расположен после фильтра, и его рациональный размер, который обеспечит минимальный перепад давления. Установлено, что за четыре часа в систему вошло около 125 г влаги, при этом измеренная влажность на фильтрах составила 2 % от общего количества влаги, которая прошла через фильтр. Приrost сопротивления дыхания фильтров составил 19 Па на 1 г. Установлено, что самый низкий приrost сопротивления дыхания зафиксирован у фильтра с клапаном дыхания диаметром 55 мм.

**Ключевые слова:** фильтровальный респиратор; сопротивление дыхания; работоспособность; защитная эффективность

Надійшла (received) 07.03.2017