

УДК. 614.89

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ ПОТОКОВІ ПОВІТРЯ

С. І. Чеберячко

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027, Україна.
E-mail: intruder@hotbox.ru

Визначено вплив на захисну ефективність протипилових напівмасок, виготовлених із поліпропіленового фільтрувального матеріалу, швидкості фільтрування при циклічній і постійній витраті повітря у діапазоні розмірів аерозольних частинок 0,1–1,2 мкм. Встановлено, що коефіцієнт проникнення респіраторів при циклічному потоці повітря дещо більший ніж при постійному. Однак зі збільшенням розмірів аерозольних частинок різниця між показниками зменшується.

Ключові слова: респіратор, захисна ефективність, охорона праці, фільтр.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ РЕСПИРАТОРОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

С. И. Чеберячко

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»,
просп. К. Маркса, 19 г. Днепропетровск, 49027 Украина.
E-mail: intruder@hotbox.ru

Определено влияние на защитную эффективность противопылевых полумасок, изготовленных из полипропиленового фильтровального материала, скорости фильтрования при циклическом и постоянном расходе воздуха в диапазоне размеров аерозольных частичек 0,1–1,2 мкм. Установлено, что коэффициент проникновения респираторов при циклическом потоке воздуха больше, чем при постоянном. Однако, с увеличением размеров аерозольных частичек, разница между показателями уменьшается.

Ключевые слова: респиратор, защитная эффективность, охрана работы, фильтр.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Багато чисельні публікації з досліджень фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) свідчать про відчутну різницю між лабораторними і виробничими показниками захисної ефективності респіраторів [1–3]. При експлуатації респіраторів значний вплив на їх властивість уловлювати пилові частинки здійснює темп і ритм роботи. Чим більше навантаження на людину, тим більше зростає потреба у кисні і, відповідно, вентиляція легенів, які змінюють швидкість фільтрування. У той же час майже всі характеристики ЗІЗОД при лабораторних випробуваннях визначаються на постійному потоці повітря. Тому їх перевірка в умовах, максимально наближених до виробничих, є актуальною, що дозволить наблизитись до реальної оцінки їх ступеню захисту.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Існує невелика кількість публікацій, які висвітлюють проблеми, пов'язані з оцінкою впливу циклічної витрати повітря на основні параметри ЗІЗОД. Так, у роботі [4] автори дослідили зміну захисної ефективності від об'єму легеневої вентиляції на роботу фільтрувальних елементів респіраторів у діапазоні частинок 0,1–3 мкм за різної інтенсивності роботи. Встановлено, що мінімальний коефіцієнт проникнення при циклічному потокові повітря знаходився у діапазоні 0,1–0,2 мкм для фільтрів класу P100 і 0,1 мкм – для фільтрів класу N95. В іншій роботі [5] були протестовані при циклічній витраті повітря (15, 30, 85, 105 л/хв.) два електретні фільтри класу N95 у діапазоні наночастинок із розмірами 25, 65, 99 нм. Результати дослідження показують, що при невеликих швидкостях захисна ефективність респіратора, виміряна на циклічному потокові, значно нижча ніж на постійному, тоді як при великих швидкостях – все навпаки. Крім того, збільшення розмірів частинок призводить до покращення захисних властивостей фільтрів.

Мета роботи – дослідження впливу об'єму вдихання-видихання на захисні показники протипилових респіраторів, оскільки дихання людини напряму пов'язане з ритмом і темпом виконуваної роботи і характеризується двома основними параметрами: частотою дихання ω і об'ємом дихання V , які змінюються під час різних видів навантаження.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Відповідно до ГОСТ 12.005–88 «Повітря робочої зони» робота класифікується на п'ять класів, які відрізняються витратами енергії і, відповідно, зміною об'єму легеневої вентиляції. У табл. 1 наведені середня і максимальна витрата повітря від характеру роботи, яка була встановлена Сівельманом [6].

Таблиця 1 – Зміна об'єму легеневої вентиляції під час роботи різної ефективності за Сівельманом

| Характер роботи | Частота дихання, цикл/хв | Середня витрата повітря, л/хв | Максимальна витрата повітря, л/хв |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| У спокої | 14,6 | 10,3 | 40 |
| Легка | 21,2 | 20,8 | 63 |
| Помірна | 22,7 | 29,9 | 84 |
| Важка | 23,0 | 37,3 | 100 |
| Утомлива | 30,4 | 54,7 | 149 |

Для полегшення моделювання можна зробити припущення, що переміщення деякого об'єму повітря із атмосфери в легені, а потім зворотно здійснюється за законом гармонійних коливань.

Тоді, зміна об'єму легенів описується наступним законом [7]

$$V(t) = 0,5V_d \sin 2\pi\omega t, \quad (1)$$

де V_d – витрата повітря при вдиханні або видиханні, л; ω – частота пульсацій дихальних рухів, с^{-1} ; t – час, с.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Глибина дихання Γ_d (мл) є об'ємом повітря при вдиханні і видиханні за один цикл. Вона залежить від фізичного навантаження, у середньому у стані спокою складає 0,5 л, а при максимальному навантаженні сягає до 5 літрів. При відомій глибині дихання та частоті можна визначити витрату повітря (л/хв):

$$V_d = \Gamma_d \omega.$$

Швидкість зміни об'єму легенів (л/хв) або об'ємна витрата повітря при диханні дорівнює

$$Q = \frac{dV(t)}{dt} = \pi V_d \omega \cos 2\pi\omega t = \pi V_d \omega \sin \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) + 2\pi\omega t \right]. \quad (2)$$

Легенева вентиляція

$$Q_L = V_d \omega.$$

З урахуванням того, що при інженерних розрахунках до початкової фази синусоїдального потоку не має значення, то рівняння (2) можна записати в наступному вигляді:

$$Q = \pi Q_L \sin \pi\omega t. \quad (3)$$

З вищенаведених рівнянь витікають три наслідки:

- середня об'ємна витрата повітря при вдиханні і видиханні складає

$$Q_{cp} = 2V_d \omega; \quad (4)$$

- максимальна витрата повітря при вдиханні і видиханні складає

$$Q_{max} = 3,14V_d \omega = 1,57Q_{cp}; \quad (5)$$

- одні й ті ж значення Q_{max} , Q_{cp} , та Q можуть виходять при різних V_d і ω і залежать від їх добутку.

Необхідно відзначити, що об'єм повітря, який вдихається, дещо більший (близько 10 %) за об'єм повітря, що видихається, оскільки не весь кисень, який насичує кров, заміщується виділеним вуглекислим газом.

Дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів на циклічному потоковій проводили на вітчизняній напівмасці типу «Лепесток», що виготовляється із поліпропіленового фільтрувального матеріалу. Коефіцієнт проникнення визначали з використанням тест-аерозоллю парафінове масло в діапазоні аерозольних частинок 0,1–1,2 мкм за виразом:

$$K = \frac{C_1}{C_0},$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

де C_1 – концентрація аерозольних частинок у підмасковому просторі, мг/м^3 ;
 C_0 – концентрація аерозольних частинок у випробувальній камері, мг/м^3 .

Методика проведення випробувань відповідає вимогам ГОСТ 12.4.119–82 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Метод оценки защитных свойств по аэрозолям» [8]. Загальний вигляд установки та її склад наведено на рис. 1. Проби повітря із підмаскового простору відбирались аспіратором на постійному потокові повітря, а на циклічному – дихальною машиною (рис. 2) за трьома режимами, параметри яких наведені в табл. 2. Респіратори закріплювали на шеффілському муляжі голови (рис. 2), розміри якого задовольняють ДСТУ EN 149–2003.



Рисунок 1 – Загальний вигляд установки для випробувань респіраторів:

1 – генератор аерозолі; 2 – ротаметри; 3 – мікроманометри рідинні;
4 – аспіратор; 5 – фотометр; 6 – трьохходовий вентиль; 7, 8 – регульовані вентилі;
9 – випробувальна камера; 10 – спеціальна насадка для закріплення півмаски
або муляж голови (для фільтрів – тільки насадка)



Рисунок 2 – Дихальна машина з муляжем голови: 1 – пробовідбірник із підмаскового простору ЗІЗОД; 2 – шеффілський муляж голови; 3 – дихальна машина

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Таблиця 2 – Параметри режимів повітряних потоків дихальної машини

| Параметри | Номер режиму повітряного потоку | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Частота дихання, цикл/хв | 12 | 15 | 20 |
| Глибина дихання мл | 0,5 | 4 | 3 |
| Максимальна витрата повітря, (л/хв) | 95 | 149 | 172 |
| Середня витрата повітря, (л/хв) | 60 | 95 | 110 |

Проведені дослідження дають змогу оцінити різницю між показниками коефіцієнту проникнення протипилових респіраторів, визначених при циклічній і постійній витратах повітря та різних діаметрах аерозольних частинок в діапазонах 0,1–0,3; 0,5–0,7; 0,9–1,2 мкм (рис. 3–6). Завдяки наявності пікових величин, захисна ефективність ЗІЗОД при імітуванні процесу дихання знижується. Відмітимо різницю у показниках коефіцієнту проникнення в області найбільш проникливих частинок (0,2–0,3 мкм), тоді як при вловлюванні більших частинок вона є значно меншою (рис. 6).

Спробуємо пояснити отримані результати. Відомо, що основним механізмом уловлювання аерозольних частинок для фільтрувальних респіраторів є електростатичний [9]. Завдяки наявності заряду на волокнах фільтра коефіцієнт проникнення зменшується більш як 60 % при швидкості фільтрування до 0,03 м/с. Збільшення швидкості фільтрування погіршує цей показник у декілька разів. У той же час зростає доля інерційного механізму вловлювання частинок, що стабілізує величину коефіцієнту проникнення на певному рівні (рис. 7).

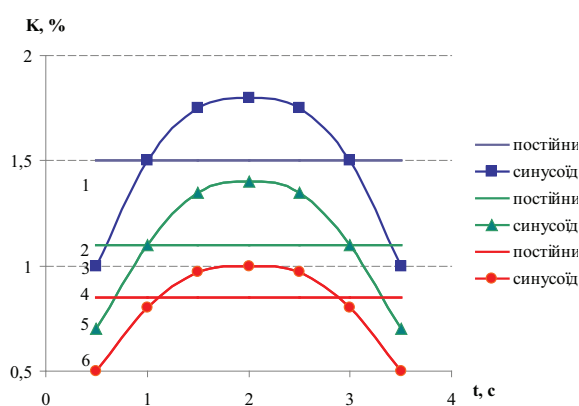


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнту проникнення респіратора від часу при постійній (1, 2, 4) і циклічній (3, 5, 6) витраті повітря 60 л/хв. із діаметром аерозольних частинок: 1, 2–0,2–0,4 мкм; 3, 4–0,5–0,7; 5, 6–0,9–1,2

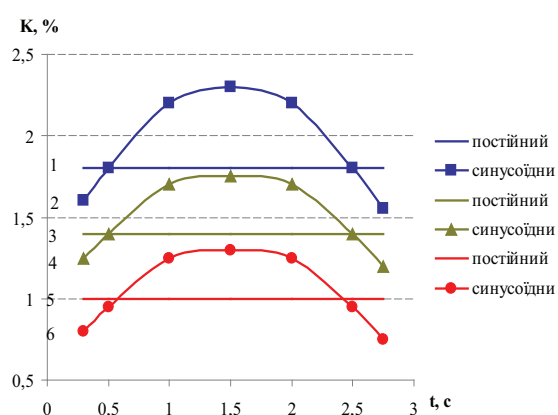


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнту проникнення респіратора від часу при постійній (1, 3, 5) і циклічній (2, 4, 6) витраті повітря 95 л/хв. з діаметром аерозольних частинок: 1, 2–0,2–0,4 мкм; 3, 4–0,5–0,7; 5, 6–0,9–1,2

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

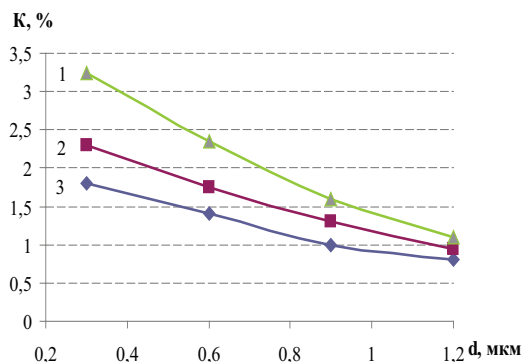
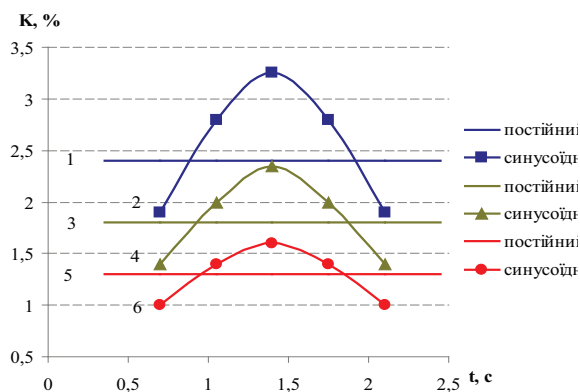


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту проникнення респіратора від часу при постійній (1, 3, 5) і циклічній (2, 4, 6) витраті повітря 110 л/хв. з діаметром аерозольних частинок: 1, 2 – 0,2–0,4 мкм; 3, 4 – 0,5–0,7; 5, 6 – 0,9–1,2

Рисунок 6 – Залежність коефіцієнту проникнення респіратора від діаметру аерозольних частинок при витраті повітря: 1–110 л/хв.; 2–95 л/хв.; 3–60 л/хв.

Уловлювання частинок із діаметром, більшим за 1 мкм, проявляється не тільки як інерційний механізм, але й як механізм зачеплення, частка якого зростає пропорційно розмірам частинок [10].

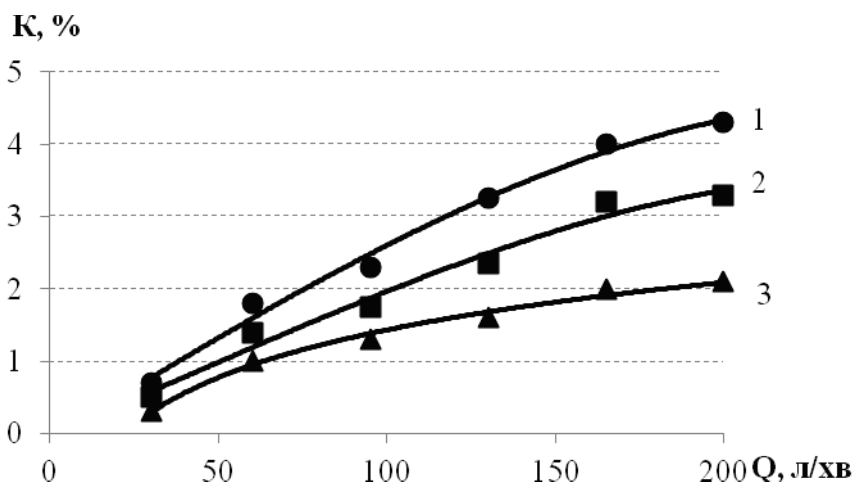


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнту проникнення респіратора від витрати повітря для частинок з діаметром: 1–0,2–0,3 мкм; 2–0,5–0,7 мкм; 3–0,9–1,2 мкм

ВИСНОВКИ. Отже, у результаті проведеного дослідження було встановлено, що:

- завдяки наявності пікових показників при вентиляції легенів коефіцієнт проникнення респіраторів при циклічному потоку при витраті повітря до 110 л/хв. більший ніж при постійному потокові повітря;

- зі збільшенням витрати повітря різниця в коефіцієнтах проникнення респіратора між циклічним і постійним потоком зменшується;

– зростання розмірів аерозольних частинок також призводить до зближення показників коефіцієнту проникнення при різній витраті повітря.

Крім того, зі збільшенням витрати повітря захисна ефективність респіратору спочатку погіршується, а потім стабілізується на певному рівні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Торопов С.А. Средства защиты при работе с ядохимикатами на складах и базах "Сельхозтехника". – М.: Бюро технической информации, 1966. – 21 с.

2. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания от пыли. / В.Ф. Кириллов, А.В. Чиркин // ФГБУ "НИИ Медицины труда" Российской академии медицинских наук. Медицина труда и промышленная экология. – 2011. – № 8. – С. 8–12.

3. Дослідження захисної ефективності вітчизняних одноразових протипилових респіраторів за європейськими стандартами / В.І. Голінько, М.М. Наумов, С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 5. – С. 118–121.

4. Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates./ A.W. Richardson, J.P. Eshbough, K.C. Hofacre // *Rapport d'étude du Chemical Biological Center d'Edgewood ECBC-CR-085*. – 2006. – 56 p.

5. Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tested at constant and cyclic flows. / H. Haruta, T. Honda, R.M. Eninger et al // *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. – 2008. – № 25. – pp. 75–88.

6. Air flow measurements on human subjects with and without respiratory resistance at several work rates. / L. Silverman, G. Lee, T. Plotkin // *Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine*. – 1951. – № 3. – pp. 461–477.

7. Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. / В.А. Грачев, С.В. Собиорь – М.: Пожкнига, 2006. – 288 с.

8. ГОСТ 12.4.119-82 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Метод оценки защитных свойств по аэрозолям». Введен 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 15 с.

9. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочное руководство / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейников, М.Е. Трубицына. – СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с.

10. Каминский С.Л. Основы рациональной защиты органов дыхания на производстве: учебное пособие. – СПб.: Проспект Науки. – 2007. – 208 с.

RESEARCH PROTECTIVE EFFICIENCY FILTER RESPIRATORS UNDER CYCLIC AIRFLOW

S. Cheberiachko

State Higher Education Institution "National Mining University"

pros. K. Marks, 19, Dnipropetrovsk, 49027, Ukraine. E-mail: intruder@hotmail.ru

The influence dust on the protective efficacy dust mask type Lepestok, made polypropylene filter material filtration rate in cyclic and constant flow air into the aerosol

particle size range 0.1–1.2 microns. Established that the presence peak performance with ventilation rate penetration respirators much larger than a constant air flow. However, with increasing size of aerosol particles, this difference decreases.

Key words: respirator, protective efficacy, health, filter.

REFERENCES

1. Toropov, S.A. (1966), «Protective equipment when working with pesticides in warehouses and bases “Agriculture”», *Byuro tehnikeskoy informatsii*, Moscow, Russia.
2. Kirillov, V.F., Chirkin, A.V. (2011), For personal respiratory protection against dust. State Organization. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. vol. 8, pp. 8–12.
3. Golinko, V.I., Naumov, N.N., Cheberyachko, S.I., and Radchuk, D.I., (2011), Investigation of the protective effectiveness of national disposable dust respirators in accordance with European standards. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya pomyshlennost*. vol. 5, pp. 118–121.
4. Richardson, A.W., Eshbough, J.P. and Hofacre, K.C. (2006) Respirator filter efficiency testing against particulate and biological aerosols under moderate to high flow rates. *Rapport d'etude du Chemical Biological Center d'Edgewood ECBC-CR-085*.
5. Haruta, H., Honda, T., Eninger, R.M., Reponen, T., McKay, R., and Grinshpun, S.A. (2008), Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tester at constant and cyclic flows. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, vol. 25, pp. 75–88.
6. Silverman, L., Lee, G., Plotkin, T. (1951), Air flow measurements on human subjects with and without respiratory resistance at several work rates. *Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine*, vol.3, pp. 461–477.
7. Grachev, V.A. Sobyur, S.V. Sredstva individualnoy zashchity organov dyihaniya (SIZOD) [Personal protective equipment Respiratory Equipment], Pozhkniga, Moscow, Russia.
8. Norme internationale 12.4.119 (1982), Sredstva individualnoy zashchity organov dyihaniya. Metod otsenki zashchitnykh svoystv po aerolyam [Personal respiratory protection. The method of evaluating the protective properties of an aerosol], Izdvo standartov, Moscow, Russia.
9. Basmanov, P., Kaminsky, S., Peddlers, L., and Trubitsyna, M. (2002), Sredstva individualnoy zashchity organov dyihaniya. Spravochnoe rukovodstvo [Personal respiratory protection: Reference], Art of Russia, St. Petersburg, Russia.
10. Kaminsky, S. (2007), Osnovy ratsionalnoy zashchity organov dyihaniya na proizvodstve: Uchebnoe posobie [Bases rational respiratory protection at work: Textbook], Prospect of Science, St. Petersburg, Russia.

Стаття надійшла 18.11.2013.