

base as a percentage of dry residues. Hydro-chemical database has been restored in order to meet the quality requirements sufficient to carry out the planned study of the chemical elements content distribution in surface waters of the Poltavaska oblast.

Originality. We have developed the new database restoration method based on the logarithmic model correlation between the chemical components of natural waters. The efficiency of this method has been proved.

Practical value. In the MathCad environment we have created the module for computerized calculations. It allowed

us to recover the lost data on mineralization, dry residue and content of trace elements in natural waters. They became available for future use. Module for automatic calculation can be applied for other data restoration tasks. The effectiveness of the proposed method depends on the statistical relationship between the studied components.

Keywords: *natural waters, trace elements, salinity, solid residue, correlation analysis, linear model*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.Є. Шнюковим. Дата надходження рукопису 03.12.13.

УДК 614.89

В.І. Голінько, д-р техн. наук, проф.,
С.І. Чеберячко, канд. техн. наук, доц.,
Д.І. Радчук,
Ю.І. Чеберячко, канд. техн. наук

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м.Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: golinko@nmu.org.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ ДИХАННЮ ПРОТИПИЛОВИХ РЕСПІРАТОРІВ

V.I. Holinko, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
S.I. Cheberiyachko, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
D.I. Radchuk,
Yu.I. Cheberiyachko, Cand. Sci. (Tech.)

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: golinko@nmu.org.ua

STUDY OF AERODYNAMIC BREATHING RESISTANCE OF DUST RESPIRATORS

Мета. Визначення основних закономірностей, що впливають на ергономічні показники протипилових респіраторів.

Методика. Визначення перепаду тиску на респіраторах проводилось у відповідності до ДСТУ EN 149:2003 (для одноразових півмасок) і ДСТУ EN140:2004 (для багаторазових півмасок). Зміну перепаду тиску на засобах індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) визначали за допомогою спеціального електронного манометра Testo 512. Навантаження моделювались за допомогою бігової доріжки ProteusCBM-1050, на дисплеї якої відображались усі параметри, необхідні для дослідження (час випробування, пульс випробувача та величина навантаження).

Результати. Створено згідно з ДСТУ EN 149:2003 стенд для визначення опору диханню протипилових респіраторів при різному навантаженні на людину. Встановлено, що процес зовнішнього дихання при виконанні легкої роботи можна описати за гармонійним законом коливань, тоді як визначення перепаду тиску на респіраторах при важких роботах призводить до значних розбіжностей, що зумовлені впливом додаткового „мертвого простору“, зміни положення тіла, температури повітря, нерівномірності розподілу швидкості фільтрації.

Наукова новизна. Встановлено, що перепад тиску на одноразових фільтрувальних півмасках під час дихання можна описувати за гармонійним законом тільки при виконанні легкої роботи, тоді як при визначенні перепаду тиску на ЗІЗОД при важких роботах похибка між теоретичними та експериментальними даними складає 40%.

Практична значимість. Визначені показники перепаду тиску протипилових респіраторів при різних видах навантаження на пульсуючому потоці, що дозволяє уточнити процедуру перевірки опору диханню фільтрувальних респіраторів.

Ключові слова: *протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, частота дихання, глибина дихання, навантаження*

Постановка проблеми. Визначення впливу засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) на фізичний стан людини є однією з найважливіших задач. Зрозуміло, що на етапі проектування респіра-

ра з метою оптимізації конструктивних елементів ця задача є досить актуальною. Від правильного її вирішення залежить і величина енергетичних витрат працівників у процесі роботи, і пилове навантаження на органи дихання працівників, і здоров'я людини. Деякі дослідники намагаються знайти теоретичні залежності між захисною ефективністю ЗІЗОД та рівнем

запиленості повітря робочої зони, конструктивними особливостями фільтрувальних елементів, навантаженням на організм у процесі роботи, кліматичними умовами на робочому місці, режимом праці робітника [1,2]. Інші – встановлюють ці закономірності експериментально в лабораторних умовах [3,4]. Однак, незважаючи на чисельні публікації, процеси, що відбуваються при очищенні повітря від пилу та аерозолів у респіраторах, ще не досить досконало досліджені, а їх подальше вивчення є досить актуальною задачею.

Виділення невирішеної проблеми. Досвід роботи у випробувальній лабораторії дає змогу говорити про те, що для розробки нових моделей ЗІЗОД необхідно виконати безліч лабораторних випробувань, які дозволяють виявляти недоліки їх конструкцій. Це призводить до необхідності вдосконалення існуючих конструкцій ЗІЗОД, пошуку альтернативних технічних рішень. Однією з причин такого стану речей, на наш погляд, є те, що більшість теоретично встановлених взаємозв'язків між параметрами ЗІЗОД і факторами, що на них впливають, було визначено на постійному потоці повітря, у той час, коли характер зовнішнього дихання людини характеризується пульсуючим потоком. При цьому у різних працівників зміна об'єму вдихуваного повітря, що описується пневмотахограмою, неоднакова. Виникає задача в дослідженні впливу об'єму вдихання-видихання повітря на захисні та ергономічні показники протипульсових респіраторів.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом з'являються публікації з вказаної тематики. Так у роботі [5] запропонована теоретична залежність зміни опору фільтрувальних елементів в респіраторі R від часу і при пульсуючому потоці повітря

$$R = \frac{R_0}{\omega^2 + k^2} (\omega^2 \cos \omega t + k \omega \sin \omega t + k^2 e^{kt}), \quad (1)$$

де R_0 – початкове значення опору чистого фільтрувального матеріалу, кг/(м/с²); t – час запилення фільтра, с; k – коефіцієнт, що характеризує інтенсивність засмічення фільтруючого елементу, 1/с; ω – частота пульсацій, 1/с.

Якщо коефіцієнт, що характеризує інтенсивність запилення, дорівнює 0, то перепад тиску на респіраторі можна визначити за формулою

$$\Delta P = R_0 V_d \cos \omega t, \quad (2)$$

де ΔP – перепад тиску на респіраторі, Па; V_d – об'єм повітря при вдиханні або видиханні, л/хв.

Також для дослідження основних закономірностей дихального процесу було запропоновано використовувати модель, що базується на рівнянні нестационарного ламінарного руху в'язкої рідини в циліндричній трубці при гармонійній зміні зовнішнього тиску [6]

$$\frac{\partial v}{\partial t} - v \left(\frac{\partial v^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial t} \right) = \frac{\Delta P}{cL} \cos \omega t,$$

де v – швидкість руху повітря, м/с; t – час проходження ділянки, с; r – радіальна координата за висотою труби, м; v – кінематична в'язкість повітря, м²/с; ΔP – перепад тиску на відстані L , Па; c – щільність повітря, м³/г; L – довжина труби, м; ω – частота гармонійних коливань, 1/с.

Існує аналітичне рішення цього рівняння [6,7], що було отримане Громеко та виражається через модифіковані циліндричні функції Кельвіна $ber(x)$ і $bei(x)$, які пов'язані з функцією Бесселя нульового порядку від комплексного аргументу $J_0(x\sqrt{i})$ співвідношенням

$$J_0(x\sqrt{i}) = ber(x) - ibei(x);$$

$$v(r,t) = \frac{\Delta P}{\omega c L} \left[\left(1 - \frac{ber_a bei_x + ber_x_a ber_x}{ber^2 x_a + bei^2 x_a} \right) \sin \omega t + \left(\frac{bei_x_a ber_x - ber_x_a bei_x}{ber^2 x_a + bei^2 x_a} \right) \cos \omega t \right], \quad (3)$$

де a – радіус труби, м;

$$x = r \sqrt{\frac{\omega}{\nu}}; \quad x_a = a \sqrt{\frac{\omega}{\nu}} = 2,849 \cdot$$

Отриманий вираз дозволяє розрахувати епюру швидкостей за висотою труби в різні періоди часу. Також, можна знайти витрату повітря [7]

$$Q = \frac{\pi a^4 \Delta P}{8 \nu L} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\exp(-\nu \lambda_k^2 t a^{-2})}{\lambda_k^4} \right]$$

та перепад тиску за формулою

$$\Delta P = \frac{8 Q v(r,t) L}{\pi a^4} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\exp(-\nu \lambda_k^2 t a^{-2})}{\lambda_k^4} \right],$$

де $\lambda_k = \frac{\omega}{\nu}$.

Формулювання мети роботи. Метою роботи є визначення теоретичних залежностей для розрахунку перепаду тиску фільтрувальних респіраторів на пульсуючому потоці, що дозволяють встановити основні параметри, які впливають на ергономічні показники ЗІЗОД при виконанні робіт з різним навантаженням.

Викладення основного матеріалу. Існує припущення, що переміщення деякого об'єму повітря з атмосфери до легенів, а потім зворотню, здійснюється за законом гармонійних коливань (за законом синуса). Ця модель має деякі переваги:

- синусоїдальна залежність виражається простим математичним виразом, причому можна виразити всі види пневмотахограм;

- пульсуючий потік, що близький до синусоїдального, на практиці можна забезпечити за допомогою звичайного стенду з кривошипно-шатунним механізмом.

Відповідно, зміна об'єму легенів описується наступним виразом [6]

$$V = 0,5V_d \sin 2\pi\omega t.$$

При цьому об'ємна витрата повітря (витрата повітря)

$$v = \frac{dV}{dt} = \pi V_d \omega \cos 2\pi\omega t.$$

Тоді перепад тиску на фільтрувальному респіраторі, відповідно до закону Дарсі, можна визначити за формулою

$$\Delta P = R_0 \pi V_d \omega \cos 2\pi\omega t. \quad (4)$$

Спробуємо перевірити вищезазначені формули за допомогою експерименту. Електронний манометр Testo 512 дозволяє визначати швидкість руху повітря та перепад тиску в респіраторі (рис. 1).

Визначення перепаду тиску на респіраторах полягає в наступному. У півмаску респіратора 4 вмонтовувався пробовідбірник 3. До нього, за допомогою повітропро-

воду 5, через відповідний штуцер (знак + на манометрі) приєднали електронний манометр Testo 512.

Після увімкнення прибору проходить його коротке тестування й на дисплеї відобразяться поточні показники. Потім установлюємо температуру та вологість повітря для поправки при визначенні перепаду тиску.

Навантаження моделювались за допомогою бігової доріжки ProteusCBM-1050, на дисплеї якої відображаються всі параметри, необхідні для проведення дослідження (час випробування, пульс випробувача та величина навантаження на організм). Характеристика легеневої вентиляції дослідника при різних величинах навантаження наведена в таблиці. Отримані результати експерименту для одноразових безклапанних респіраторів (типу Лепесток) наведені на рис. 2, а для багаторазових (типу РПА) – на рис. 3.

Результати. На рис. 4 наведено порівняння експериментальних і теоретичних даних перепаду тиску на одноразовому безклапанному респіраторі при виконанні легкої та важкої роботи випробувачами (відповідно), що отримані розрахунковим шляхом за формулою (4).

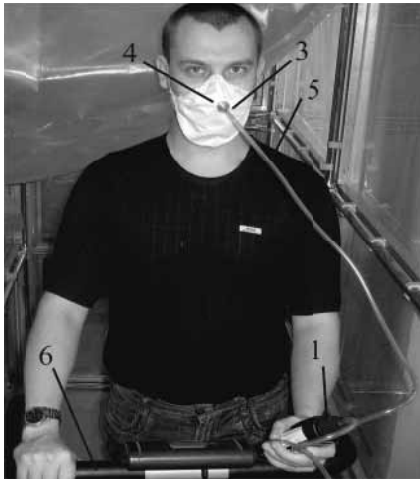


Рис. 1. Загальний вигляд проведення дослідження з визначення перепаду тиску на респіраторі: 1 – електронний манометр Testo 512; 2 – фільтрувальна коробка з фільтром; 3 – пробовідбірник; 4 – півмаска; 5 – повітропровід

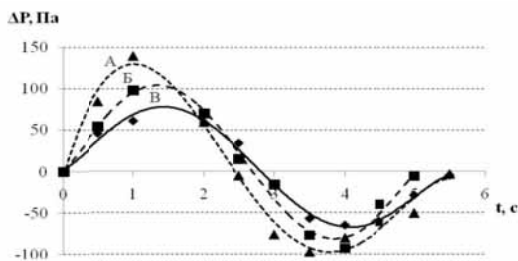


Рис. 2. Криві залежності перепаду тиску (ΔP) на протипиловому одноразовому респіраторі від часу (t) зі збільшенням навантаження: А – при важких роботах; Б – при роботі помірної важкості; В – при легкій роботі; експериментальні дані отримані при важкій роботі ▲; помірній – ■; легкій – ◆

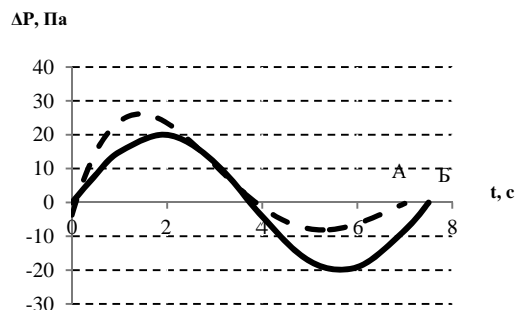


Рис. 3. Криві залежності перепаду тиску (ΔP) на протипиловому багаторазовому респіраторі від часу (t): А – експериментальна крива; Б – теоретична крива

Таблиця
Зміна об'єму легеневої вентиляції під час роботи
різної ефективності

Показники, що характеризують процес дихання	Легка робота	Робота середньої важкості	Важка робота
Середня витрата повітря, л/хв	31,30	49,40	73,30
Пікова витрата повітря, л/хв	90,30	110,10	148,40
Частота дихання, цикл/хв	21,90	26,50	31,90
Глибина дихання, л	1,45	1,86	2,30
Тривалість фази вдихання і видихання, T_i , с	2,89	2,40	1,97
Тривалість фази вдихання, T_i , с	1,28	1,08	0,90
Частота серцевих скорочень, уд./хв	100,00	120,00	140,00

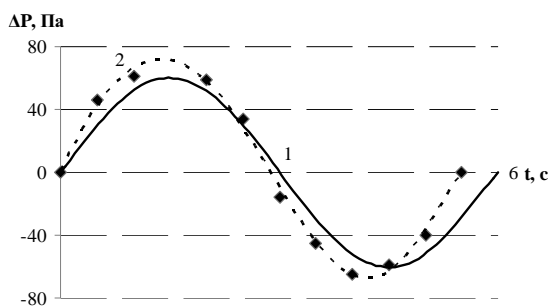


Рис. 4. Залежність перепаду тиску на протитло-вому респіраторі від часу при виконанні легкої роботи: крива (1) розрахована за формулою (4); \blacklozenge (2) позначені експериментальні дані

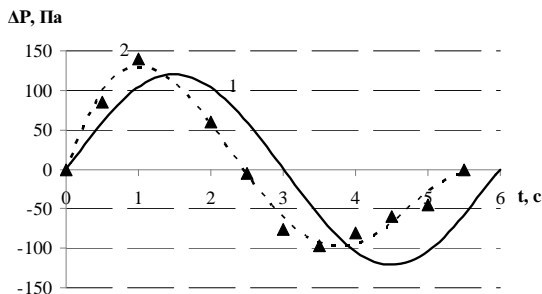


Рис. 5. Залежність перепаду тиску на протитло-вому респіраторі від часу при виконанні важкої роботи: крива (1) розрахована за формулою (4); \blacktriangle (2) позначені експериментальні дані

Аналіз отриманих показників показує, що перепад тиску на респіраторі можна описати за гармонійним законом, але тільки при виконанні легкої роботи для одноразових безклапанних респіраторів. Тоді як при інших видах навантаження існує різниця між теоретичними та експериментальними показниками перепаду тиску. Так, зі зростанням навантаження виникають зміни у структурі дихального процесу: фаза вдихання в часі зменшується, а фаза видихання, навпаки, збільшується, що призводить до розбіжностей між величиною перепаду тиску на респіраторі при вдиханні й видиханні

(рис. 4). Похибка складає при важкій роботі біля 40%. Організм таким чином намагається нейтралізувати додатковий опір диханню. Тож, збільшується глибина та частота дихання. Це, у свою чергу, призводить до зміни щохвилинного об'єму дихання від 10 до 50л/хв. при більш важких роботах. При цьому максимальні об'ємні витрати повітря перевищують щохвилинний об'єм у 3–4 рази [9]. Цей факт необхідно враховувати при теоретичному визначенні опору диханню респіраторів.

Крім того, процес зміни перепаду тиску для багаторазових респіраторів також має деякі відмінності, які, теоретично, за вищенаведеними формулами, описати не можна. Пояснюється це тим, що видихання повітря проходить через клапан видиху, яке описується зовсім іншим законом. Наприклад, рух повітря в каналі з наявністю додаткового опору. Крім того, при розрахунку перепаду тиску не враховується конфігурація фільтра, що перерозподіляє швидкість фільтрування й тим самим сприяє виникненню розбіжності. Так з'являються ділянки з більшим повітряним навантаженням у верхній частині гофри, що також підвищує опір диханню. У деяких випадках суміжні гофри фільтра, через недостатню жорсткість, можуть злипатись і тим самим значно збільшувати опір диханню.

Отже, теоретично, у першому наближенні можна визначити перепад тиску на одноразових респіраторах від об'єму легеневої вентиляції за формулою (4). Побудована крива, що отримана при виконанні легкої роботи, має незначне відхилення, близько 10%. Це пояснюється тим, що при розрахунках швидкість повітря за площею фільтра вважалась рівномірною. Насправді, вона неоднакова, а результуючий перепад тиску визначається деякою частиною фільтрувальної поверхні, оскільки при вдиханні частина фільтра виключається з процесу очищення повітря за рахунок прилипання до обличчя. Крім того, за рахунок пульсації повітряного потоку з різною частотою дихання, виникає нерівномірність розподілу швидкості за довжиною півмаски. Цей факт можна продемонструвати розрахованою за формулою (3) епурою швидкості повітря за довжиною півмаски L , з припущенням, що діаметр труби у формулі (3) (радіальна координата r) дорівнює діаметру півмаски (рис. 6).

Отже, наявність такого ефекту потребує подальшого дослідження та визначення основних факторів впливу. При цьому розраховувати опір диханню респіратора необхідно за максимальною швидкістю повітряного потоку, що виникає на ділянці з певною площею.

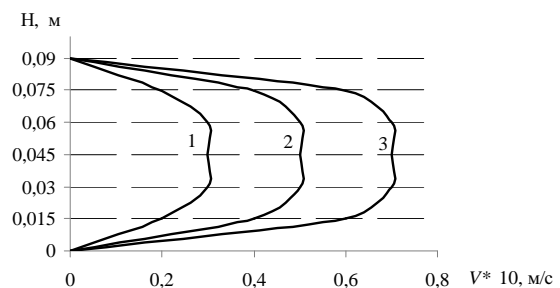


Рис. 6. Еюра розподілу швидкостей за висотою фільтра: 1 – при $\omega = \pi/6$; 2 – $\omega = \pi/3$; 3 – $\omega = \pi/2$

Висновки. У результаті проведених досліджень було встановлено, що перепад тиску для фільтрувальних респіраторів під час дихання можна описати за гармонійним законом коливань, але тільки при виконанні легкої роботи, тоді як визначення перепаду тиску на ЗІЗОД при важких роботах призводить до значних розбіжностей в отриманих результатах.

Встановлено, що запропоновані теоретичні залежності між перепадом тиску на респіраторі та швидкістю руху повітря при вдиханні й видиханні не враховують низки факторів, які можна умовно розділити на дві групи:

1) фактори, вплив яких пов'язаний зі зміною внутрішнього дихання під час навантаження;

2) фактори, вплив яких пов'язаний зі зміною умов навколишнього середовища: вплив додаткового „мертвого простору“ в багаторазових ЗІЗОД, наявність злипання суміжних гофрів фільтра, виключення певної частини півмаски з роботи за рахунок прилипання до обличчя, нерівномірність розподілу швидкості фільтрації за площею респіратора.

Отже, для створення математичної моделі роботи протипилевого респіратора необхідно враховувати зміни параметрів зовнішнього дихання: глибини й частоти дихання та фактори, що впливають на їх зміну.

Визначені експериментальні показники перепаду тиску протипилевих респіраторів при різних видах навантаження на пульсуючому потоці, що дозволяє уточнити процедуру перевірки опору диханню фільтрувальних респіраторів, яка зараз проводиться при постійному потоку повітря.

Список літератури / References

1. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: справочное руководство / Басманов П.И., Каминский С.Л., Коробейников А.В., Трубицына М.Е. – СПб.: ГИПП „Искусство России“, 2002. – 399 с.

Basmanov, P.I., Kaminskiy, S.L., Korobeynikov, A.V. and Trubitsyna, M.Ye. (2002), *Sredstva individualnoy zashchity organov dykhaniya* [Respiratory Protective Equipment] Reference Book, GIPP “IskusstvoRossii”, St. Petersburg, Russia.

2. Потапенко И.А. Эксплуатационные показатели противопылевых респираторов / И.А. Потапенко // Горноспасательное дело: сб. науч. трудов НИИГД. – Донецк, 2003. – С. 77–84.

Potapenko, I.A. (2003), “Performance criteria of dust respirators”, *Gornospasatelnoye Delo*, Collected articles of NIIGD, Donetsk, pp. 77–84.

3. Взаимосвязь между защитной эффективностью и общим давлением респираторов / А.А. Эннан, В.Г. Шнейдер, Н.И. Байденко, А.А. Миронов // Безопасность труда в промышленности. – 1994. – № 11. – С. 11–12.

Ennan, A.A., Shneider, V.G., Baidenko, N.I. and Mironov, A.A. (1994), “Interrelation between the protective efficiency and the general pressure of respirators”, *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti*, no.11, pp. 11–12.

4. Чеберячко С.И. Определение параметров фильтра респиратора в зависимости от свойств фильтрующих ма-

териалов / С.И. Чеберячко // Научный вестник НГУ. – 2002. – № 2. – С. 71–74

Cheberiachko, S.I. (2002), “Determination of parameters of the respirator filter depending on the properties of filter materials”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.2, pp. 71–74.

5. Потапенко И.А. Гидродинамическое сопротивление фильтрующего элемента противопылевого респиратора / Потапенко И.А. // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. – Донецк, НИИГД. – 2010. – № 47. – С. 133–141.

Potapenko, I.A. (2010), “Hydrodynamic resistance of the filter element of dust respirator”, *Gornospasatelnoye Delo*, Collected articles of NIIGD, Donetsk, no. 47, pp. 133–141.

6. Аврунин О.Г. Динамическая модель процесса прохождения воздуха через носовую полость / О.Г. Аврунин, Н.И. Белецкий, А.И. Березняко // Биофизический вестник. – 2009. – № 23(2). – С. 101–105.

Avrunin, O.G., Beletskiy, N.I. and Bereznyako, A.I. (2009), “Dynamic model of the passage of air through the nasal cavity”, *Biofizychnyi Visnyk*, no. 23(2), pp. 101–105.

7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – М.: „Наука“, 2003. – 904 с.

Loitsianskyi, L.G. (2003), *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid Mechanics], Nauka, Moscow, Russia.

8. Жданов Н.Н. Анализ принципов построения математических моделей внешнего дыхания человека / Н.Н. Жданов, А.А. Третьяков, В.Н. Назаров // Вестник ТГТУ. – 2012. – Т.18. – №4. – С. 996–1001.

Zhdanov, N.N., Tretiakov, A.A. and Nazarov, V.N., (2012) “Analysis of design principles of inner people breathing mathematic models”, *Vestnik TGTU*, Vol.18, no.4, pp. 996–1001.

9. Clayton, M.P., Bancroft, B. and Rajan, B. (2002), “A Review of Assigned Protection Factors of Various Types and Classes of Respiratory Protective Equipment with Reference their Measured Breathing Resistances”, *The Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 46, no. 6, pp. 537–547.

Цель. Определение основных закономерностей, влияющих на эргономические показатели противопылевых респираторов.

Методика. Определение перепада давления на респираторах проводилось в соответствии с ДСТУ EN 149:2003 (для одноразовых полумасок) и ДСТУ EN 140:2004 (для многоразовых полумасок). Изменение перепада давления на средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) определяли с помощью специального электронного манометра Testo 512. Нагрузка моделировалась с помощью беговой дорожки ProteusCBM-1050, на дисплее которой отображались все параметры, необходимые для исследования (время испытания, пульс испытателя и величина нагрузки).

Результаты. Согласно ДСТУ EN 149:2003 создан стенд для определения сопротивления дыханию противопылевых респираторов при разной нагрузке на человека. Установлено, что процесс внешнего дыхания при выполнении легкой работы можно описать по гармоническому закону колебаний, тогда как определение пе-

репада давления на респираторах при тяжелых работах приводит к значительным расхождениям в полученных результатах, поскольку не учитывается влияние дополнительного „мертвого пространства“, изменение положения тела, температура воздуха, неравномерность распределения скорости фильтрации.

Научная новизна. Установлено, что перепад давления на одноразовых фильтрующих полумасках во время дыхания можно описать гармоническим законом только при выполнении легкой работы, тогда как определение перепада давления на СИЗОД при тяжелых работах приводит к погрешности более 40%.

Практическая значимость. Определены показатели перепада давления противопылевых респираторов при различных видах нагрузки на пульсирующем потоке, что позволяет уточнить процедуру проверки сопротивления дыханию фильтрующих респираторов.

Ключевые слова: *противопылевой респиратор, перепад давления, сопротивление дыханию, частота дыхания, глубина дыхания, нагрузка*

Purpose. Determination of the basic laws affecting the ergonomics of dust respirators.

Methodology. The evaluation of pressure difference in the respirators was carried out in accordance with DSTU EN 149:2003 (for non-reusable half masks) and DSTU EN 140:2004 (for reusable half masks). Change of pressure was determined using the special electronic gauge Testo 512. The load was simulated using the treadmill Proteus CBM-1050. The display of the treadmill shows all the

parameters needed for the study (testing time, heart rate of the tester and load).

Findings. According to the DSTU EN 149:2003 we have designed the stand for determination of the breathing resistance of the dust respirators in conditions when the tester is subject to different load. We have found that the external respiration during light work can be described as harmonic vibrations, while the pressure difference in the respirators during heavy work leads to significant distortion. The proposed theoretical relationship between the pressure difference in the respirator and air velocity during inspiration and expiration does not take into account the effect of clearance pocket, changes of body position, air temperature, and uneven distribution of velocity on the filter area.

Originality. We have found that pressure drop through non-reusable filtering half masks at breathing performing light work can be described by a harmonic law, while pressure drop determination during heavy physical activity leads to significant distortion.

Practical value. We have determined of pressure drop in the dust respirators during activity of different intensity at pulsating flow. This helps to clarify the process of the pressure drop testing of the filtering half masks.

Keywords: *dust respirator, differential pressure, breathing resistance, respiratory rate, depth of breathing, load*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.М. Кузьменком. Дата надходження рукопису
18.03.13.*