

УДК 614.89

Чеберячко Ю.І., канд.техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ОПОРУ КЛАПАНІВ ВИДИХАННЯ
РЕСПИРАТОРІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЛЮДИНИ**

Чеберячко Ю.И., канд.техн. наук, доцент
(Государственный ВУЗ "НГУ")

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛАПАНОВ ВЫДОХА
РЕСПИРАТОРА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА**

Cheberyachko Y. I., Ph.D. (Tech.),
(State H E I «NMU»)

**ASSESSMENT OF IMPACT OF EXHALATION VALVE RESISTANCE
IN RESPIRATORS ON HUMAN PERFORMANCE**

Анотація. Метою дослідження є визначення взаємозв'язку втрати працездатності випробувачів з різними опорами при видиху на постійному навантаженні.

Дослідження з оцінки впливу перепаду тиску на фазі видихання повітря із засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) на функціональний стан людини, проводились за стандартною методикою згідно з ГОСТ 12.4.061-88 «Метод визначення працездатності людини у засобах індивідуального захисту».

Визначено взаємозв'язок втрати працездатності випробувачів з різним опором видихання при постійному навантаженні. Досліджено, що при збільшенні опору видиху відбувається лінійне зниження працездатності при виконанні постійної роботи та рух на біговій доріжці.

Встановлено, що опір при вдиханні в 2 - 3 рази більше впливає на зміну функціонального стану, ніж опір видиху, тому тільки обмеження рівня опору при видиху дозволить отримати таке зниження працездатності, яке буде прийнятним при виконанні поставлених виробничих завдань. Тому для проектування фільтрувальних респираторів необхідна інформація про вплив опору диханню фільтрів на працездатність робітників.

Ключові слова: фільтрувальний респиратор, опір дихання, працездатність, захисна ефективність, клапан видиху.

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 CO₂ під маскою респиратора) є дуже суттєвими, оскільки вони впливають і на працездатність людини і на час використання півмасок. Наприклад, досить часто при виконанні важких підземних робіт спостерігається ситуація, коли гірники через 40 - 50 хв. роботи зривають респиратори, тому що неможливо в них дихати. Тому для проектування фільтрувальних респираторів необхідна інформація про вплив опору диханню фільтрів на працездатність робітників. Зрозуміло, що такі дані допоможуть визначити область застосування ЗІЗОД, час їх використання, дозволять з коригувати

конструкції клапанів видихання, повітроводів, щоб не завдати підвищеного навантаження на працівників. Також ці відомості необхідні для створення комп'ютерних моделей, які зможуть передбачати зниження працездатності від зміни опору фільтрів під час накопичення пилу.

Аналіз останніх публікацій. Проведені дослідження з оцінки впливу наявності респіратора на працездатність людини показали, що з ростом опору дихання остання зменшується [1 - 5]. Так, оцінка впливу респіратора на фізичний стан працівників під час праці показала наявність додаткових змін у структурі дихання: збільшується тривалість фаз вдиху і видиху, зростає потреба у кисні, а також щохвилинний об'єм і частота дихання, змінюється глибина самого дихання. Дихальні рухи рідшають і поглиблюються для компенсування браку кисню, який активно витрачається у процесі фізичного навантаження. Крім того, спостерігаються зміни і в роботі серця [1]. Отримані дані у роботі [2], які виконувались на велгометрі вказують на погіршення функціонального стану досліджуваних у респіраторах порівняно з виконанням тестових вправ без ЗІЗОД. Вказується, що, 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%. Про зміну фізичної активності при використанні ЗІЗОД засвідчує і зростання пульсу, що значно підвищується. Особливо це відчутно, коли опір дихання досяг 40 Па. У Роботі [3] було розраховано втрату працездатності можна оцінити і за роботою м'язів грудної клітки, яку визначають як сумарний добуток загального тиску P на об'єм повітря V . виявлено, що з появою додаткового опору диханню, тобто респіратора, дихальні м'язи при 20-ти Па запрацювали інтенсивніше на 16 % порівняно з легеневим навантаженням без ЗІЗОД, на 56 % при 50-ти Па чи на 110 % при 150-ти Па відповідно. Під час дослідження біомеханіки дихання встановлено, що величина роботи системи дихання, яка перевищує 5 Дж/хв. у спокої, підтверджує наявність стану, близького до задихання. Подібні результати були отримані іншими дослідниками, які також показали, що збільшення опору ЗІЗОД, призводить до зменшення працездатності [4, 5].

Необхідно відмітити, що у останніх публікаціях проводилась оцінка опору дихання на фазі вдиху, як ці результати, можуть бути застосовані для визначення впливу опору при фазі видихання невідомо. Така задача не була вирішена. Цей недолік можна пояснити тим, що в більшості опублікованих робіт досліджувалися респіратори з порівняно низьким опором дихання клапанів. До того ж він був фіксованим відповідно до державного стандарту. Зараз з'являються нові матеріали для виготовлення клапанів видиху [4]. Також міняється конструкція півмасок, що потребує зміни і клапанного вузла, а це може значно підвищити опір видиху.

Методика досліджень. Дослідження з оцінки впливу перепаду тиску на фазі видихання ЗІЗОД на функціональний стан людини проводились за стандартною методикою згідно з ГОСТ 12.4.061-88 „Метод визначення працездатності людини у засобах індивідуального захисту”. Для цього було підібрано 15 добровольців, які дали згоду на проведення експерименту і були фізично здорови-

ми.

На початку випробувань проводилося визначення максимального споживання кисню дослідників без респіратору, за допомогою виконання роботи з підвищеним навантаженням. Перед кожним випробуванням визначалися швидкість руху і кут нахилу бігової доріжки (HT-9052HP), необхідні для створення навантаження 80-85% від максимального споживання кисню. Після того, як випробувачі відпочили, вони виконували ті самі вправи, але з респіратором так, щоб споживання кисню склало 80-85% від максимального. Середня швидкість руху на біговій доріжці складала 2.03 ± 0.11 м / с, (від 1.88 до 2.24) і кут нахилу $6.3 \pm 1.8\%$ (від 3 до 9) - для всіх випробувачів. Визначення працездатності людини в ЗІЗ полягало у встановленні різниці часу до досягнення допустимого збільшення частоти серцевих скорочень при навантаженні 1-го ступеня до 110 хв. Також вимірювалося артеріальний тиск (АТ) за допомогою тонометра, до початку випробування, в кінці кожного циклу фізичного навантаження. Припустиме збільшення АТ при навантаженні 1-го ступеня до 145/90 мм рт.

Кожний випробувач виконував 3 проби у респіраторі при заданій інтенсивності роботи. Дослідження проводили на респіраторі РПА - півмаска без примусової подачі повітря з двома протиаерозольними фільтрами високої ефективності, які закріплюються з боку еластичними ремнями оголів'я (рис. 1). Повітря, яке видихалось через трубку, подавалось у спеціальну камеру, де встановлювалися спеціальні пробки, з різними отворами. За допомогою яких, забезпечувався різний опір диханню у діапазоні від 10 до 100 Па. При виконанні всіх випробувань рівень опору фільтрів при вдиханні становив приблизно 25 Па при постійній швидкості потоку 95 л / хв.



Рисунок 1 - Загальний вигляд експериментального обладнання

Результати та їх обговорення. На рис. 2 показано середній час виконання вправи для всіх умов проведення випробувань. Практично у всіх випробувачах відзначалася лінійне зниження часу тривалості навантаження при збільшенні опору видихання. При збільшенні опору видиху середнє споживання кисню а також хвилинна вентиляція також лінійно зменшувалось. У табл. 1 наводиться

діапазон даних про частоту серцевих скорочень (ЧСС), записані в кінці проведення випробування для різних значень опору диханню. Для всіх умов ЧСС була ідентичною. Це показує, що у всіх випадках учасники виконували роботу однакової інтенсивності.

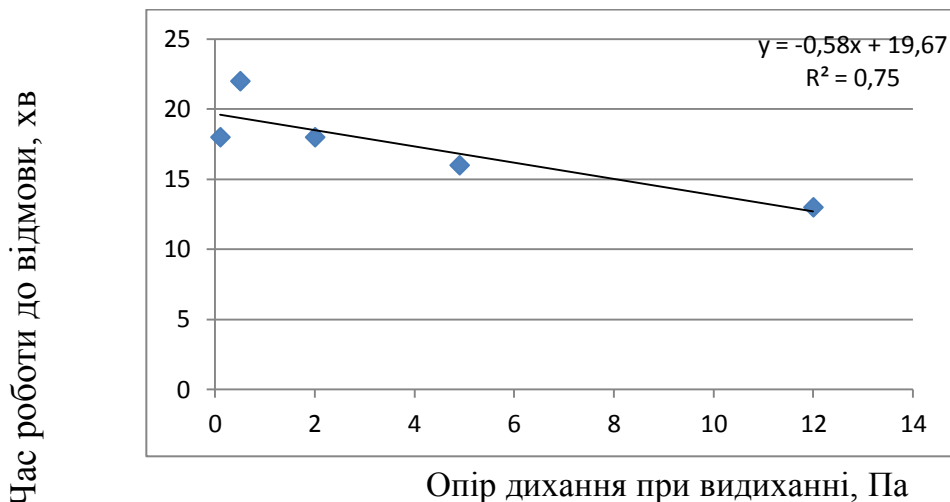


Рисунок 2 - Залежність працездатності від опору дихання

Таблиця 1 - Зміна основних показників фізіологічних характеристик дослідників під час випробувань

Показники	Витрата енергії, Вт	Частота серцевих скорочень, уд./хв	Артеріальний тиск	Частота дихання, цикл/хв.
Величина	80 - 95	110 - 115	140/90 – 150/95	14 - 17

Аналіз результатів досліджень показує, що між опором видиху і працездатністю існує лінійний взаємозв'язок – при збільшенні опору видиху працездатність знижується. Встановлено, що навіть при мінімальному значенні опору видиху 15 Па, який сьогодні виготовляється промисловістю, фізіологічний стан людини дещо погіршується. Тому, розробникам ЗІЗОД необхідно подбати про можливість зменшення опору клапанів видиху. Однак, оскільки клапани видиху запобігають потраплянню невідфільтрованого повітря у підмасковий простір зміна їх параметрів може також погіршити захисні властивості респіраторів. Крім того, необхідно обмежити величину опору видихання в нормативних документах з вибору респіраторів, особливо для важких і дуже важких робіт.

Отримані результати, дуже схожі на результати аналогічних досліджень, які були опубліковані в роботах [3, 5, 6]. Наприклад, автори [5] стверджують, що працездатність лінійно залежить від опору при вдиху. Однак, при порівнянні отриманих даних опір диханню при вдиху сильніше впливає на фізіологічний стан людини ніж опір при видиху. Якщо зіставити умови досліджень, для отримання еквівалентного зниження працездатності при збільшенні опору диханню при видиху воно приблизно буде менше в 2 - 3 чим при вдиханні (таблиця 2). Опір диханню при видиху переноситься краще, ніж при вдиху (при вико-

нанні тяжкої фізичної роботи). Для того, щоб точніше встановити та підтвердити цей взаємозв'язок необхідні додаткові дослідження.

Таблиця 2 – Результати дослідження опору при вдиху та при видиху

Опір при вдиху Па [4]	Час роботи до відмови, хв.	Опір при вдиху Па	Час роботи до відмови, хв.
7,8	6,2	10	19
16,4	5,1	20	17
27,3	5,48	30	16
64,7	3,5	60	14

Висновки. Таким чином, результати дослідження показують, що при збільшенні опору видиху відбувається лінійне зниження працездатності - при виконанні постійної роботи при русі на біговій доріжці. Також, встановлено, що опір при вдиханні у 2 – 3 рази більше впливає на зміну функціонального стану, чим опір видиху. З точки зору проектування респіраторів, результати цього дослідження наводять на думку, що тільки обмеження рівня опору при видиху дозволить отримати таке зниження працездатності, яке буде прийнятним при виконанні поставлених виробничих завдань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Каминский, С.Л. Сопротивление дыханию в респираторах и противогазах как источник дополнительного рабочего напряжения / С.Л. Каминский // Физиологические вопросы охраны труда. – М.: ВЦНИОТ, 1977. – с. 66-73.
2. 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.
3. Голінко, В.І. Застосування респіраторів на вугільних і гірничорудних підприємствах: Монографія / В.І. Голінко, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко. – Д.: НГУ, 2008 – 99 с.
4. Caretti, D.M. Exercise performance during inspiratory resistance breathing under exhaustive constant load work / D.M. Caretti, J.A. Whitley // Ergonomics, 1998. - no. 41. – P. 501-511.
5. Johnson, A.T. Effect of Respirator Inspiratory Resistance Level on Constant Load Treadmill Work Performance / A.T. Johnson, W.S. Scott, C. G. Lausted // American Industrial Hygiene Association Journal, 1999. –Vol. 60(4). – P. 474-479.
6. Шевченко, В.Г. Дослідження особливостей зміни показників праці гірників під час виконання різних технологічних операцій / В.Г. Шевченко, Р.А. Дякун, В.Н. Светличный // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. - Вып. 115. - С. 86-93.

REFERENCES

1. Kaminsky, S.L. (2006), "Rating ergonomic properties imported inputs personal respiratory protection", *Fiziologicheskie voprosy okhrany truda*, vol. 3, pp.66-73.
2. Cheberyachko, S.I. and Cheberyachko, Y.I. (2007) "Assessing the impact of personal respiratory protection to human performance", *Naukovyi visnyk Natsionalnogo hirnychogo universytetu*, vol 7, pp. 60-63.
3. Golinko, V.I., Cheberyachko, S.I. and Cheberyachko, Yu.I. (2008), *Zastosuvannya respiratoriv na vugilnikh i girnychorudnykh pidpriemstvakh* [The use of respirators in the coal and mining companies], SHEI «NMU», Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Caretti, D.M. and Whitley, J.A. (1998), "Exercise performance during inspiratory resistance breathing under exhaustive constant load work", *Ergonomics*, no. 41, pp.501-511.
5. Johnson, A.T., Scott, W.S. and Lausted, C.G. (1999), "Effect of Respirator Inspiratory Resistance Level on Constant Load Treadmill Work Performance", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 60(4), pp. 474-479.

6. Shevchenko, V.G. (2014) "Research of changes in rates of miners by various manufacturing operations", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 115, pp. 86-93.

Про автора

Чеберячко Юрій Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» (ДВУЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, intruder@hotbox.ru.

About the author

Cheberyachko Yuriy Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of department Aerology and protection of labour, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, intruder@hotbox.ru.

Аннотация. Целью исследования является определение взаимосвязи потери работоспособности испытуемых с различными сопротивлениями при выдохе на постоянной нагрузке. Исследования по оценке влияния перепада давления на фазе выдоха из средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) на функциональное состояние человека, проводились по стандартного методике согласно ГОСТ 12.4.061-88 "Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты".

Определена взаимосвязь потери работоспособности испытуемых с разным сопротивлением выдыхания при постоянной нагрузке. Исследовано, что при увеличении сопротивления выдоха происходит линейное снижение работоспособности при выполнении постоянной работы и движении на беговой дорожке.

Установлено, сопротивление при вдыхании в 2 - 3 раза больше влияет на изменение функционального состояния, чем сопротивление выдоха, поэтому только ограничение уровня сопротивления при выдохе позволит получить такое снижение работоспособности, которое будет приемлемым при выполнении поставленных производственных задач. Поэтому для проектирования фильтрующих респираторов необходима информация о влиянии сопротивления дыханию фильтров на работоспособность рабочих.

Ключевые слова: фильтрующий респиратор, сопротивление дыхания, работоспособность, защитная эффективность, клапан выдоха.

Abstract. Interdependence between the workers' performance at constant load and different levels of exhalation valve resistance. Studies on estimating an impact of pressure drop at the phase of air breathing out from the personal respiratory protection equipment on functional state of a person were conducted by a standard method according to GOST 12.4.061-88 "Method for Determining Performance of a Man Having a Personal Protective Equipment On".

Correlation between the worker's performance at constant load and different levels of exhalation resistance was specified. It is stated that, when a man is performing a continuous work by running on the treadmill, increasing level of exhalation resistance leads to linear decrease of the man's performance.

It is further stated that inhalation resistance affects 2 - 3 times more on the functional state of a man than exhalation resistance, thus, limitation of exhalation resistance levels only can provide such decrease of the man's performance which would be acceptable for fulfilling the given jobs. Therefore, in order to design proper filter respirators, information on impact of filter breathing resistance on the workers' performance is required.

Keywords: filter respirator, breathing resistance, performance, safety performance, exhalation valve.

Статья поступила в редакцию 17.09.2014

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