

УДК 614.894.3+612.215:622

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ

Чеберячко С. І., Фрундін В. Ю., Чеберячко Ю. І., Столбченко О. В., Радчук Д. І.

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпро

Вступ. Визначення взаємозв'язку між опором вдиху працівників, які використовують фільтрувальні респіратори, та його працездатністю становить значний інтерес. Ці залежності важливі для розробки, проектування та вдосконалення фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання.

Мета дослідження – вивчення впливу умов мікроклімату на працездатність працівників при використанні респіраторів.

Матеріали та методи дослідження. ДСТУ ГОСТ 12.4.061:2008. «Система стандартів безпеки праці. Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты».

Результати. При виконанні завдання на біговій доріжці з навантаженням з використанням респіратора типу РПА з фільтрами класу Р2 при опорі диханню 75–80 Па і різних параметрів мікроклімату було встановлено, що працездатність знижується на 26 % в оптимальних умовах (температура і відносна вологість повітря $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ і $(65 \pm 2)\%$) і на 64 % при роботі в екстремальних умовах (температура і відносна вологість повітря $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ і $(85 \pm 2)\%$). Отримані результати можливо використовувати обмежено для респіраторів типу РПА з фільтрами класу Р2 і лише для виробничого середовища з аналогічними умовами (близькими до умов гірничих виробок), які моделювались у даному дослідженні.

Висновки. Отримані нові дані про вплив кліматичних умов праці, аналогічних умовам на вугільних шахтах, на працездатності людини при використанні респіратора.

Ключові слова: респіратор, півмаска, фільтр, мікроклімат, працездатність

Вступ

Визначення взаємозв'язку між опором вдиху працівників, які використовують фільтрувальні респіратори, на його працездатність становить значний інтерес. Ці залежності важливі для розробки, проектування та вдосконалення фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання.

На жаль, результати досліджень, які нещодавно проводили, мають ряд недоліків. Johnson and Cummings [1] досліджували вплив тривалості використання респіраторів (5–15 хв) на розвиток стресу. При великій інтенсивності навантаження було зафіксовано погіршення показників серцево-судинної системи. Stemler and Craig [2] провели серію експериментів, у яких визначали тривалість відновлення організму після роботи в індивідуальних захисних засобах органів дихання. У цих експериментах опір вдиху змінювався від 0 до 37 Па, при цьому тривалість роботи в респіраторі при максимальному опорі зменшилася на 38 %.

Caretti and Whitley [3] визначали час роботи при споживанні кисню 80–85 % від максимального, і при чотирьох різних опорах вдиху (від 14 до 35 Па). При цьому додатковий опір диханню в респіраторі створювали штучно за допомогою спеціальної

насадки. У цих дослідженнях тривалість виконання завдання знижувалася до 30 % при використанні респіраторів з найбільшим опором диханню.

Інші дослідники [4, 5], вивчаючи вплив опору вдиху на тривалість виконання завдання, не враховували вплив фізичного навантаження на працівника при випробуваннях. Тому вони і не виявили великих відмінностей у тривалості виконання роботи з респіратором і без нього. Як підсумок, на підставі цих результатів вони зробили висновок, що опір вдиху при використанні ЗІЗОД мало впливає на працездатність. Це твердження, на нашу думку, для навантажень, які наближаються до максимально можливих, помилкове. При цьому в роботах не наводиться інформація щодо можливості застосування отриманих даних для інших умов праці. При виконанні важкої роботи з респіратором витрати енергії значно зростають. Відзначимо, що умови проведення досліджень у всіх проаналізованих роботах були близькі до нормальних, тоді як на вугільних шахтах температура повітря коливається в діапазоні від 24 до 30 °C, а відносна вологість – від 86 до 98 %.

Відомо, що вологість повітря може значно впливати на величину опору диханню респіратора [6]. Також при виконанні роботи в умовах підвищеної

температури погіршується теплообмін з навколишнім середовищем і знижується працездатність людини. Тому виникає завдання у визначенні впливу параметрів мікроклімату в робочій зоні на працездатність людини з використанням фільтрувальних респіраторів, особливо в умовах підвищених температур і високої вологості повітря.

Мета дослідження — визначення впливу умов мікроклімату на працездатність працівників з використанням респіраторів.

Матеріали та методи дослідження

Для уточнення впливу деяких параметрів мікроклімату на базі НВО «Стандарт» було проведено дослідження з оцінки реакцій робітників на зростаюче навантаження в різних умовах тепловіддачі з використанням респіраторів. У дослідженні брали участь сім студентів гірничого факультету ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпро).

Перед початком дослідження в учасників визначали: зріст, вагу та максимальне споживання кисню (табл. 1). Для цього обстежували виконували східчасто-зростаюче навантаження при початкових витратах енергії 75 Вт, які поступово збільшували, і визначали кількість споживання кисню. При цьому встановлювали для кожного випробувача відповідно до методу запропонованого Н. Андерсом (рис. 1) швидкість руху бігової доріжки і кут нахилу, які відповідали рівню споживання кисню 80–85 % від максимального (за відсутності респіатора) [7]. Для визначення хвилинної витрати, об'єму вдиху, споживання кисню використовували спірометр ССП (ТОВ НВФ «Стандарт-М», м. Запоріжжя, вул. Електрозаводська, 3), уміст кисню в повітрі, яке видихали, визначали за допомогою газоаналізатора ГХ-6. Також використовували програмне забез-

печення для запису та опрацювання результатів дослідження під час проведення експерименту. Тривалість кожного ступеня навантаження — 5 хв, паузи відпочинку між ними — 1 хв (рис. 2). Через кожні 5 хв роботи реєстрували артеріальний тиск.

Для випробувань у спеціальній випробувальній камері (рис. 3) створювали і підтримували два мікрокліматичних режими з температурою та відносною вологістю $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ і $(65 \pm 2)\%$ (комфортний режим відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 табл. 1 роботи середньої важкості та важкі, теплий період року) і $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ і $(85 \pm 2)\%$ (екстремальний режим, шкідливі умови праці) за умов однакової в усіх випадках швидкості руху повітря, яка дорівнює $(0,3 \pm 0,1)$ м/с. У камері використовували систему вентиляції PRANA 150 і зволожувач Electrolux ENAW 7510D / 7515D / 7525D. Температуру та вологість повітря вимірювали за допомогою датчиків TFA 303177.

Учасники в респіаторах йшли по біговій доріжці до тих пір, поки не зупинялися (добровільно). Експерименти проводили з перервою не менше ніж 1 день. Експерименти проводили в першій і другій половині дня. Усього було отримано 72 показники результатів випробувань, які оброблювали методами варіаційної статистики на ПЕОМ з застосуванням пакета прикладних програм обробки даних (Excel-2007) з достовірністю за критерієм Стьюдента $p < 0,05$.

При проведенні дослідження учасники використовували респіратор РПА з фільтрами класу Р2, виробник «Стандарт». Їхній опір коливався в діапазоні 73–84 Па при витраті повітря 95 л/хв. До вузла клапана видиху респіатора приєднували мундштук спірометра. Також кожні 2 хв під час експерименту записували частоту серцевих скорочень (ЧСС) (інформацію знімали на табло бігової доріжки) і оцінювали сприйняття втоми. У кінці виконання завдання відзначали його тривалість.

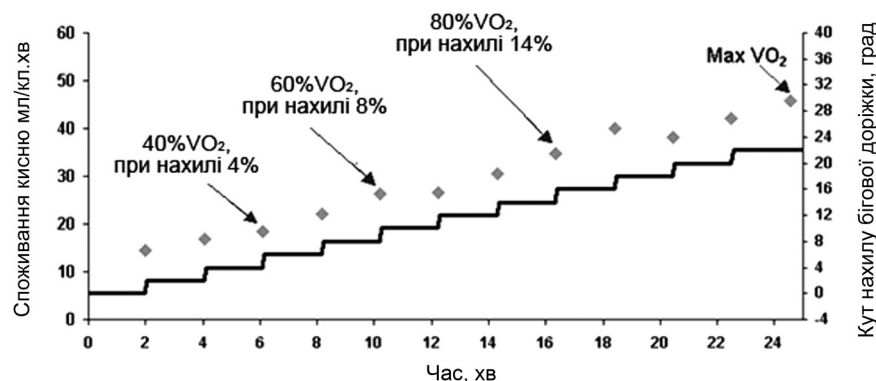


Рис. 1. Вимірювання витрати повітря під час виконання вправ за методом, описаним у дослідженні [7]

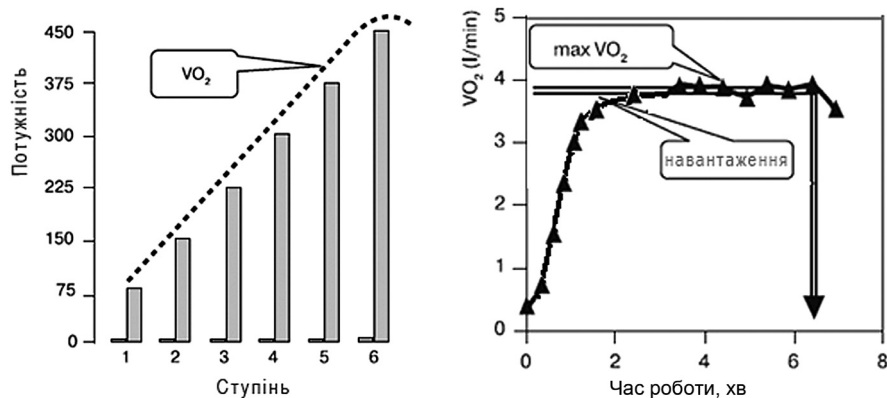


Рис. 2. Схема динаміки навантажень і рівня O₂-споживання [8]

Таблиця 1

Опис учасників (N = 7)

Вік, років	20,2 ± 2, 4
Стать	чоловіча
Зріст, см	174,2 ± 9,5
Вага, кг	76,2 ± 10,0

Результати дослідження та їх обговорення

У ході проведення першого етапу експерименту (без респіратора) було виявлено, що в умовах комфортного та екстремального мікроклімату тривалість виконуваної роботи до досягнення втоми була однаковою й у середньому склала (17,0 ± 0,3) хв. Однак робота в екстремальних умовах характеризувалася значними показниками серцевої діяльності. Якщо для оптимальних умов при навантаженні витрати енергії в 225 Вт у кінці випробування частота серцевих скорочень склала в середньому (132 ± 2) уд/хв, то для екстремальних – (144 ± 2) уд/хв. Крім того, фізичне навантаження в екстремальних умовах викликало зрушення показників зовнішнього дихання – збільшилася частота дихання.

Також було зафіксовано в екстремальних умовах збільшення температури тіла на 0,5 °С. Це обумовлено погіршенням умов теплообміну людини з навколишнім середовищем (практично всі складові теплообміну були обмежені, а теплообмін конвекцією та випромінюванням практично дорівнював нулю). При цьому зростає ризик теплового удару, а посилене виділення поту викликає порушення водно-сольового балансу тіла – дегідратацію та прискорює стомлюваність.

На другому етапі експерименту при використанні респіраторів час виконання м'язової роботи скоротився для оптимальних умов приблизно на 26 % (12,7 ± 1,5) хв), а в екстремальних умовах на 64 % (6,2 ± 2,14) хв). Зменшення часу роботи для піддослідних у респіраторі пояснюється збільшенням навантаження на дихальну систему (зменшується глибина та збільшується частота дихання) і погіршенням умов теплообміну з навколишнім середовищем (практично виключається також теплообмін випаровуванням). Крім того, збільшується вміст вуглекислого газу, що вдихається людиною з підмасочного простору.

Отриманий результат не суперечить опублікованим даним Johnson and Cummings [1] і Arthur T. Johnson [5], які вказали, що використання маски з опором диханню 80 Па знизило працездатність на 25–30 %. Як відзначають дослідники, при диханні через респіратор споживання кисню зменшується. Це частково пояснюється тим, що в підмасочному просторі накопичується вуглекислий газ.

Отримані результати підтверджуються дослідженнями, проведеними з імітацією робіт при виконанні різних технологічних операцій в умовах, наближених до шахтних. Характер отриманих залежностей свідчить про те, що енерговитрати при виконанні важких робіт у респіраторі приблизно на 50 % більші, ніж без нього [9].

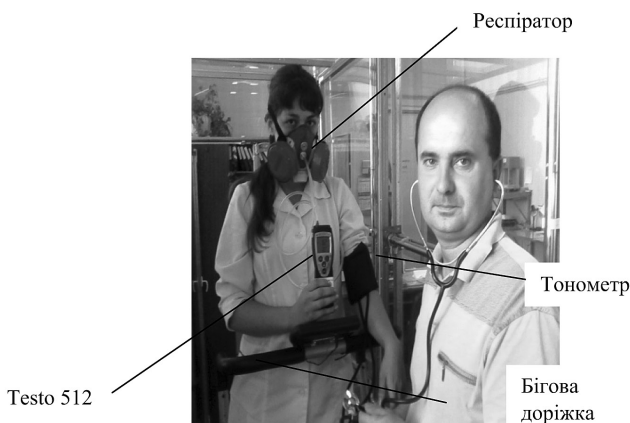


Рис. 3. Вид випробувальної камери

Таблиця 2

Результати дослідження

Параметр, що вимірювався	Без використання респіратора		З використанням респіратора	
	оптимальні умови	екстремальні умови	оптимальні умови	екстремальні умови
Опір при витраті повітря, 95 л/хв (Па)	77,5	79,2	76,4	81,7
Тривалість виконання завдання, хв	17,0 ± 0,30 (7)		12,70 ± 3,70 (6)	5,20 ± 2,14 (4)
Споживання кисню, л/хв	2,48 ± 0,32 (7)	3,10 ± 0,37 (7)	1,98 ± 0,67 (6)	1,60 ± 0,88 (4)
Оцінка навантаження у балах, яка сприймається від 0 до 10	3,40 ± 1,10 (7)	5,20 ± 1,20 (7)	8,78 ± 0,97 (6)	8,0 ± 1,0 (4)

Примітка. Наводяться середні значення ± стандартні відхилення, у дужках – число учасників.

Висновки

У разі виконання завдання з навантаженням на бігівій доріжці з використанням респіратора РПА з фільтрами класу Р2 при опорі диханню 75–80 Па за різних параметрів мікроклімату було встановлено, що працездатність знижується приблизно на 26 % в оптимальних умовах (температура і відносна вологість повітря (20 ± 2) °С і (65 ± 2) %) і на 64 % при роботі в екстремальних умовах (температура і від-

носна вологість повітря (30 ± 2) °С і (85 ± 2) %). В умовах порушення теплообміну з навколишнім середовищем (жарке і вологе повітря) посилюється робота дихальної та серцево-судинної систем і зменшується працездатність організму.

Отримані результати можливо використовувати обмежено для респіраторів типу РПА з фільтрами класу Р2 і лише для виробничого середовища з аналогічними умовами, які моделювали у даному дослідженні.

Література

1. Johnson A. T. Mask design considerations / A. T. Johnson, E. G. Cummings // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1975. – № 36. – P. 220–228.
2. Stemler F. W. Effects of respiratory equipment on endurance in hard work / F. W. Stemler, F. N. Craig // J. Appl. Physiol. – 1977. – № 42. – P. 28–32.
3. Caretti D. M. Exercise performance during inspiratory resistance breathing under exhaustive constant load work / D. M. Caretti, J. S. Whitley // Ergonomics – 1998. – № 41. – P. 501–511.
4. Deno N. S. Physiological responses to resistance breathing during short and prolonged exercise / N. S. Deno, E. Kamon, D. M. Kaiser // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1981. – № 42. – P. 616–623.
5. Effect of Respirator Inspiratory Resistance Level on Constant Load Treadmill Work Performance / T. Johnson, W. H. Scott, Ch. G. Lausted [et al.] // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1999. – № 60 (4). – P. 474–479.

6. Методология и методы определения функциональных возможностей спортсменов / Е. А. Ширковец, Э. С. Озолин, М. В. Арансон, Л. Н. Овчаренко // Вестник спортивной науки. – 2010. – № 4. – С. 3–8.

7. Peak Inspiratory Flows of Adults Exercising at Light, Moderate and Heavy Work Loads / N. J. Anderson, P. E. Cassidy, L. L. Janssen, D. R. Dengel // Journal of the International Society for Respiratory Protection. – 2006. – V. 23. – P. 53–61.

8. Коц Я. М. Спортивная физиология: учебник для институтов физической культуры / Я. М. Коц. – Москва : Физкультура и спорт, 1990. – 368 с.

9. Шевченко В. Г. Исследование особенностей изменения показателей труда горняков при выполнении различных технологических операций / В. Г. Шевченко, Р. А. Дякун, В. Н. Светличный // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./ ИГТМ НАН Украины. – 2014. – Вып. 115. – С. 86–92.

Чеберячко С. И., Фрундин В. Е., Чеберячко Ю. И., Столбченко Е. В., Радчук Д. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРУЮЩИХ РЕСПИРАТОРОВ

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр

Определение взаимосвязи между сопротивлением вдоха работников, использующих фильтрующие респираторы, и его работоспособностью представляет значительный интерес. Эти зависимости важны для разработки, проектирования и совершенствования фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Цель исследования – изучить влияние условий микроклимата на работоспособность работающих, которые использовали респираторы.

Материалы и методы исследования. ДСТУ ГОСТ 12.4.061:2008. «Система стандартов безопасности труда. Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты».

Результаты. При выполнении задания на беговой дорожке с нагрузкой с использованием респиратора при опоре дыханию 75–80 Па и различных параметрах микроклимата было установлено, что работоспособность снижается на 26 % в комфортных условиях (температура и относительная влажность воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(65 \pm 2)\%$) и на 64 % при работе в экстремальных условиях (температура и относительная влажность воздуха $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(85 \pm 2)\%$).

Выводы. Получены новые данные о влиянии респираторов-воздухоочистителей на работоспособность человека в климатических условиях, сходных с условиями работы рудника.

Ключевые слова: респиратор, полумаска, фильтр, микроклимат, работоспособность

Cheberiachko S. I., Frundin V. E., Cheberiachko Yu. I., Stolbchenko E. V., Radchuk D. I.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE INFLUENCE OF MICRO-CLIMATE PARAMETERS ON A PERSON'S WORKING CAPACITY WHILE USING AIR PURIFYING RESPIRATORS

State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipro

Introduction. Defining the interrelation between the inspiration resistance in workers using air purifying respirators and their working capacity is of significant interest. These relations are important for designing, engineering and improving filtering personal respiratory protective equipment (RPE).

Purpose of the study is to study the influence of microclimatic conditions on workers' working capacity while using respirators.

Materials and methods. DSTU GOST 12.4.061:2008 «The Occupational safety standard system. Method for determination of working capacity of man fitted with individual protection means».

Results. While performing a task on a running machine with a load, using a respirator with P2 class filters and the inspiration resistance of 75–80 Pa and different microclimatic parameters it is established that working capacity decreases by 26 % under comfortable conditions (temperature and relative humidity are $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(65 \pm 2)\%$) and by 64 % when the work is in extreme conditions (temperature and relative humidity are $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(85 \pm 2)\%$).

Conclusions. New data on the influence of air purifying respirators on a person's working capacity in climatic conditions similar to those of mine workers has been obtained.

Key words: respirator, half mask, filter, microclimate, working capacity

References

1. Johnson A. T., Cummings E. G., 1975, «Mask design considerations», Am. Ind. Hyg. Assoc. J., no. 36, pp. 220–228.
2. Stemler, F. W., Craig F. N., 1977, «Effects of respiratory equipment on endurance in hard work», J. Appl. Physiol., no. 42, pp. 28–32.
3. Caretti, D. M., Whitley J. S., 1998, «Exercise performance during inspiratory resistance breathing under exhaustive constant load work», Ergonomics, no. 41, pp. 501–511.
4. Deno, N. S., Kamon, E., Kaiser, D. M. 1981, «Physiological responses to resistance breathing during short and prolonged exercise», Am. Ind. Hyg. Assoc. J., no. 42, pp. 616–623.
5. Johnson, T., Scott, W. H., Lausted, Ch. G. et. al. 1999, «Effect of Respirator Inspiratory Resistance Level on Constant Load Treadmill Work Performance», Amer. Ind. Hyg. Assoc. J., no. 60 (4), pp. 474–479.
6. Shirkovets, E. A., Ozolin, E. S., Aranson, M. V. et. al. 2010, «Methodology and methods of determining sportsmen's functionality», Vestnik sportivnoy nauki, no. 4, pp. 3–8 (in Russian).
7. Anderson, N. J., Cassidy, P. E., Janssen, L. L. et. al. 2006, «Peak Inspiratory Flows of Adults Exercising at Light, Moderate and Heavy Work Loads», Journal of the International Society for Respiratory Protection, no. 23, pp. 53–61.
8. Kots, Y. M. 1990, Sports Physiology. A manual for Institutes of Physical Culture. Moscow: Fizkultura i sport, 368 p.
9. Shevchenko, V. G., Dyakun, R. A., Svetlichnyi, V. N. 2014. Peculiarities of changes of work indicators in miners, when performing various technological operations, Geotechnical Mechanics: Collection of works, IGTM NAS of Ukraine, no. 115, pp. 86–92.

Надійшла: 25 травня 2017 р.

Контактна особа: Столбченко О. В., Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», буд. 19, пр. Яворницького, м. Дніпро, 49050. Тел.: +38 0 50 5897028. Електронна пошта elena_aot@ukr.net