

Ю.І. Чеберячко, О.В. Столбченко, М.М. Наумов

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РЕСПІРАТОРІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОБІТНИКІВ

*Проведено дослідження з визначення опору диханню вітчизняних і зарубіжних зразків ЗІЗОД, оцінена робота м'язів системи дихання людини. Проаналізовано залежності впливу основних показників фільтрувальних матеріалів на працездатність трудящих. Розроблено рекомендації щодо використання респіраторів.*

---

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕСПИРАТОРОВ НА ТРУДОСПОСОБНОСТЬ

*Проведены исследования по определению сопротивления дыханию отечественных и зарубежных образцов СИЗОД, оценена работа мышц системы дыхания человека. Проанализированы зависимости влияния основных показателей фильтровальных материалов на работоспособность трудящихся. Разработаны рекомендации по использованию респираторов.*

---

### EVALUATION OF RESPIRATORY DEVICES PARAMETERS INFLUENCE ON WORKING CAPACITY

*Researches of breathing resistance determination for native and foreign samples of respiratory protective devices are carried out, the muscle system work at human breathing is evaluated. The influence dependences of filtering material on workers' efficiency are analyzed. The recommendations of respirator use are developed.*

---

#### ВСТУП

Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) часто проводиться тільки за показником захисної ефективності. Здебільшого не враховується вплив респіраторів на функціональний стан людини. Хоча, на наш погляд, саме ергономічні показники (опір диханню, маса ЗІЗОД, кількість  $CO_2$  під маскою респіатора) є найбільш суттєвими, бо вони впливають на працездатність людини. Наприклад, дуже часто спостерігається, коли гірники, через 40 – 50 хв роботи зривають респіратори, тому що неможливо в них дихати. Виникає питання, пов'язане з визначенням кількості пилу, що вдихнули за зміну працюючі без

респіатора.

Проведені дослідження з оцінки впливу наявності респіатора на працездатність людини показали, що з ростом опору дихання остання зменшується (рис. 1) [1]. Тому при виборі ЗІЗОД потрібно звертати увагу не тільки на ступінь захисту, а й на ергономічні показники респіатора та враховувати і важкість роботи, і запиленість повітря, і дисперсний склад пилу. Останній значно впливає на захисну ефективність. Дослідження показують: зі збільшенням діаметра частинок пилу значно збільшується й ефективність їх видалення (рис. 2) [2], що дозволяє використовувати фільтрувальні матеріали з меншою поверхневою щільністю упакування волокон, а отже і опором диханню. Як бачимо, найнижчий

ступінь уловлювання спостерігається для частинок аерозолі розміром 0,2 – 0,3 мкм. Вони є найбільш проникаючими частинками, тому перевірка на якість респіраторів проводиться саме за ними. Таким чином,

визначившись з діаметром частинок, які переважають у повітрі робочої зони, можна визначити ступінь захисту респіатора, який найкраще підійде при даній роботі за мінімального опору диханню.

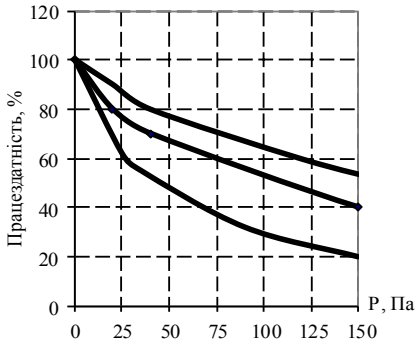


Рис. 1. Залежність працездатності людини від перепаду тиску при затрачуванні потужності: 1 – 150 Вт; 2 – 200 Вт; 3 – 250 Вт

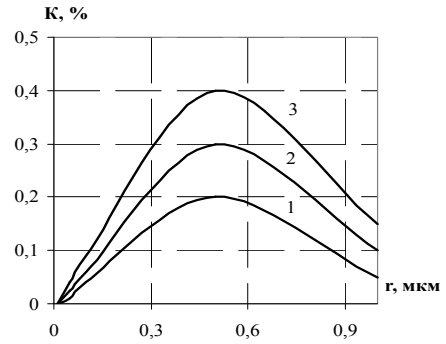


Рис. 2. Залежність коефіцієнта фільтрації фільтрувальних матеріалів: 1 – ФПП15-1,5; 2 – елфлен; 3 – мелтблун від радіуса частинок при швидкості фільтрації 0,01 м/с

Величини ергономічних показників, як і захисних, регламентуються стандартами, але вони в своїй більшості не пов'язані з психофізіологічними властивостями людини, а скоріше залежать від технічних можливостей обладнання, яке використовується для виготовлення ЗІЗОД. Тому була поставлена мета щодо визначення деяких ергономічних параметрів вітчизняних

та зарубіжних зразків протипилових респіраторів та оцінки їх впливу на працездатність. Для досліджень були відібрані протипилові одноразові респіратори: в вигляді формованої півмаски (рис. 3) та з клапаном видиху (рис. 4) і багаторазові (рис. 5) – з однією або двома фільтруючими коробками. Їх моделі, кількість та фірма-виробник наведено в табл. 1.

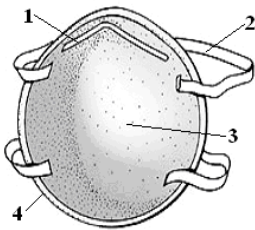


Рис. 3. Одноразовий респіратор (формована півмаска): 1 – носовий затискач; 2 – оголів'я; 3 – фільтруюча півмаска; 4 – обтюратор

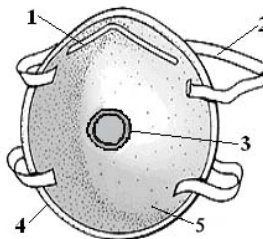


Рис. 4. Одноразовий респіратор з клапаном видиху: 1 – носовий затискач; 2 – оголів'я; 3 – клапан видиху; 4 – обтюратор; 5 – фільтруюча півмаска

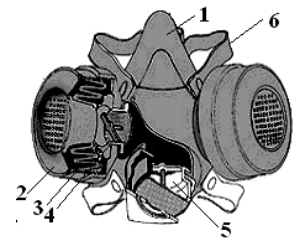


Рис. 5. Патронний респіратор: 1 – півмаска з еластичного матеріалу; 2 – фільтруюча коробка; 3 – фільтр; 4 – клапан видиху; 5 – клапан видиху; 6 – оголів'я

№ з/п	Модель респіратора	Фірма виробник	Кількість зразків	Тип респіратора
1	Лепесток	НВП «Стандарт», Україна	5	Формована напівмаска
2	Росток	НВО «Фільтр», Україна	4	
3	Moldex	Moldex, USA	3	
4	Willson	Dalloz-Safety, Germany	3	
5	ЗМ	ЗМ, USA	5	
6	Moldex	Moldex, USA	2	Напівмаски з клапаном видиху
7	Willson	Dalloz-Safety, Germany	2	
8	ЗМ	ЗМ, USA	3	
9	Пульс	НВО «Фільтр», Україна	5	Багаторазові ЗІЗОД
10	Picco	Drager, Germany	2	
11	Dustfoe 66		2	
12	Combitox-Nova	Scott Aviation, USA	2	
13	РПА-ТД	НВП «Стандарт», Україна	3	

Найбільш вагомим ергономічним показником ЗІЗОД є опір диханню. Його визначення регламентує ГОСТ 10188-74 «Коробки фільтруючі к противогазам и респіраторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку воздуха». Методика проведення дослідження наведена в [2]. Принципова схема установки на рис. 6.

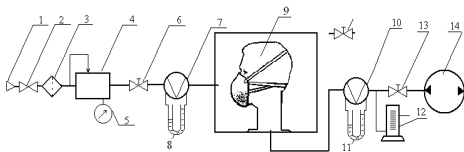


Рис. 6. Принципова схема установки для визначення перепаду тиску на ЗІЗОД: 1 – магістраль; 2 – вентиль; 3 – фільтр попереднього очищення повітря; 4 – стабілізатор тиску; 5 – манометр; 6, 13 – регулюючі вентилі; 7, 10 – діафрагми; 8, 11 – рідинні манометри; 12 – компенсаційний манометр МКВ-150; 14 – вакуум-насос

Установка працює наступним чином. Стиснуте повітря від компресора надходить через вентиль 2 на фільтр 3, де очищається від аерозольних частинок. Для зниження тиску та його стабілізації у лінію включені стабілізатор тиску 4 з манометром 5. Регулювання витрат повітря, яке надходить у випробувальну камеру 9, здійснюється вентилем 6, а контролюються ви-

трати повітря за рахунок діафрагм 7, 10, які підключені до рідинних манометрів 8, 11. З підмаскового простору респіратора повітря відсмоктується за допомогою вакуум-насоса 12, кількість повітря регулюється вентилем 13. Перепад тиску на ЗІЗОД вимірюється компенсаційним мікроманометром 12, який розміщено на повітропроводі до вакуум-насоса. Респіратор встановлюється на муляжі за ГОСТом і герметично закріплюється за смугою обтюраторі.

У ГОСТі 12.4.041 – 2001 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие» вказано: визначення перепаду тиску необхідно проводити при 30 дм<sup>3</sup>/хв, що не відбиває реальних умов застосування ЗІЗОД, бо при середніх і важких роботах витрати повітря можуть досягати до 200 дм<sup>3</sup>/хв, що суттєво впливає на фізичний стан працівників. Тому дослідження зміни опору на респіраторах для більш точної оцінки впливу ЗІЗОД на працездатність людини, проводили при витратах повітря 30 та 60 дм<sup>3</sup>/хв. Середні значення перепаду тиску на ЗІЗОД наведено у табл. 2.

Аналізуючи отримані результати приходимо до наступних висновків:

- зарубіжні зразки респіраторів відповідають вимогам ГОСТ 12.041-2001;
- перепад тиску на одноразових респіраторах при 30 л/хв коливається в діапазоні

при вдиханні 30 – 63 Па, при видиханні – 9 – 60 Па, розбіжність пояснюється наявністю клапана видиху, який зменшує опір ЗІЗОД;

– з ростом ступеня захисту зростає і перепад тиску, це пояснюється тим, що для підвищення захисної ефективності респіра- тора потрібно використовувати фільтрувальні матеріали з більшою щільністю волокон, крім того смуга обтюраторії посилюється спеціальними смужками, наприклад, з пінополіуретану, триплексу та інших, що практично ліквідує підсмоктування повітря;

– перепад тиску патронних респіраторів суттєво вищий ніж у одноразових;

– опір диханню у вітчизняних респіра- торів майже у декілька менший ніж у зарубіжних зразків. Це пояснюється конструкцією фільтруючих елементів. Для їх виготовлення використовують в основному спеціальні типи паперу, які характеризуються щільною структурою (рис. 7), тоді як для вітчизняні виготовляють з поліпропіленових матеріалів із заданим кроком складки (рис. 8).

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗІЗОД

Таблиця 2

Тип респіра- тора	Перепад тиску на ЗІЗОД, Па, при витратах повітря, дм <sup>3</sup> /хв				Ступінь захисту*	Наявність клапану видиху
	на вдиху		на видиху			
Росток – 3	20	44	20	43	FFP 2	–
Лепесток – 40	11	25	12	24	FFP 2	–
Moldex 2400	12	26	12	25	FFP 1	+
Moldex 2500	50	109	12	30	FFP 2	+
Willson2201	60	118	12	30	FFP 1	+
Willson2210	30	70	9	20	FFP 2	–
Willson2211	61	120	60	140	FFP 2	+
Willson2293	59	120	10	20	FFP 3	+
3М 8812	65	128	14	30	FFP 1	+
3М 8822	37	98	11	25	FFP 2	+
Filgif 4020	48	111	20	43	FFP 1	–
Filgif 4020 (V)	30	65	30	80	FFP 1	+
Пульс	35	72	21	50	FFP 2	+
РПА-ТД	25	70	15	32	FFP 2	–
Picco-20	22	68	30	63	FFP 3	+
Dustfoe 66	95	172	75	163	FFP 3	+

\*Ступінь захисту зарубіжних респіраторів визначали, виходячи з їх характеристик наведених виробником згідно ДСТУ EN 149; ступінь захисту вітчизняних ЗІЗОД визначали на відповідність за ДСТУ 12.4.041-2001.

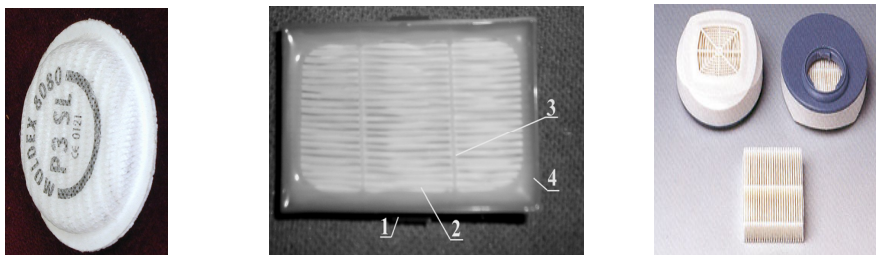


Рис. 7. Конструкції фільтруючих елементів до зарубіжних ЗІЗОД: 1 – корпус; 2 – фільтр; 3 – сепаратор; 4 – герметик

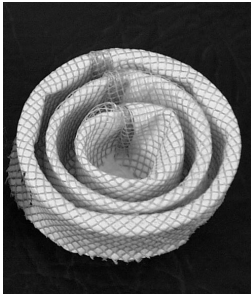
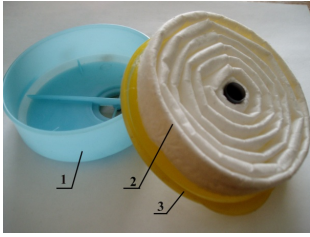


Рис. 8. Вітчизняні фільтруючі елементи типу КУГ:  
1 – корпус фільтруючої коробки; 2 – фільтруючий елемент; 3 – кришка фільтруючої коробки

Визначивши опір диханню респіраторів можемо оцінити роботу м'язів грудної клітини, як сумарний добуток загального тиску  $P$ , який прикладено до дихальної системи на об'єм повітря  $V$ , що переміщується в кожну мить [3]

$$A = PV .$$

Загальний тиск, який прикладений до дихальної системи з урахуванням респіратора, можна уявити як суму трьох тисків

$$P = P_{el} + P_{\partial} + P_r ,$$

де  $P_{el}$  – компонент тиску, який пов'язаний з еластичним опором системи;

$P_{\partial}$  – компонент тиску, пов'язаний з динамічним опором системи;

$P_r$  – компонент тиску, який пов'язаний з наявністю зовнішнього опору (ЗІЗОД) [3].

Еластичні властивості системи дихання можна оцінити за формулою  $P_{el} \approx V(1/C)$ , де  $C$  – розтяжність легенів (для здорової людини  $C$  знаходиться в діапазоні від

0,1 до 0,2 л/см вод.ст. Для визначення тиску, який повинен бути прикладений для подолання нееластичного опору диханню, можна скористатись виразом  $P_{\partial} = k_1 V^{1,3}$ , де  $k_1$  – аеродинамічний опір диханню при швидкості руху 1 л/с (складає 1,2 – 2,5 см вод.ст./л/с) [4]).

Кількісним показником газообміну в легенях є хвилинний об'єм дихання (ХОД). Він залежить від об'єму одного вдихання (ДО) і кількість дихальних рухів (ЧД) за хвилину, тобто  $\text{ХОД} = \text{ДО} \cdot \text{ЧД}$ . Дихальний об'єм характеризує глибину дихання, а число дихальних рухів – його частоту. При спокійному диханні у здорових людей робота дихальних м'язів коливається залежно від індивідуальних особливостей, за даними різних авторів, у діапазоні 1 – 5 Дж/хв, при збільшенні ХОД до 60 л/хв робота дихальних м'язів досягає 60 – 120 Дж/хв, а при граничному збільшенні МОД (близько 200 л/хв) – 2500 Дж/хв, що в багато разів перевищує цю величину при спокійному диханні. При цьому різко зростає частка кисню, що споживається дихальними м'язами [2].

У табл. 3 наведені дані, які показують про зріст роботи дихальної мускулатури в респіраторах в стані спокою. Для аналізу було взято показники функції легенів середньостатичної людини.

З табл. 3 видно, що з появою додаткового опору диханню, тобто респіратора, робота дихальних м'язів збільшилась відповідно на 16% при 20 Па порівняно з роботою легенів без ЗІЗОД, на 56% при 50 Па та 110% при 150 Па. При дослідженні біомеханіки дихання було встановлено, що величина роботи системи дихання, яка перевищує 5 Дж/хв у стані спокою, свідчить про наявність важкого дихання [3]. Тому респіратори, перепад тиску на яких складає близько 100 Па і більше, будуть призводити до утруднення процесу дихання працюючих.

Показник	Без додаткового опору диханню, Па		Додатковий опір диханню у стані спокою, Па			
	у стані спокою	при легкому навантаженні	20	50	100	150
Перепад тиску в грудній клітині, Па	375	750	395	425	475	525
ХОД, л/хв	8	20	9	11	12	12
Робота дихальних м'язів за хвилину (Дж/хв)	3	15	3,5	4,7	5,7	6,3
Відносне збільшення роботи дихальних м'язів з додатковим опором диханню	–	–	16	56	90	110

## ВИСНОВКИ

Таким чином, у результаті ергономічної оцінки респіраторів було встановлено, що найбільш придатні до експлуатації є респіратори з перепадом тиску на них менше 50 Па, бо вони не призводять до значних ускладнень процесу дихання. У ЗІЗОД з ае-

родинамічним опором диханню більше ніж 50 Па можна працювати біля 30 – 45 хв, потім необхідно обов'язково робити перерву на 15 – 20 хв. Враховуючи режим праці гірників, приходимо до висновку: використання респіраторів з перепадом тиску більше 50 Па в підземних виробках буде призводити до значного перевтомлення.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. 64 – 66.

2. 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.

3. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочное руководство / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейников [и др.]. – СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с.

4. Шик Л.Л. Биомеханика дыхания/ Л.Л. Шик. – М.: Наука, 1973. – С. 19 – 39.

## ПРО АВТОРІВ

Чеберячко Юрій Іванович – к.т.н., доцент кафедри аерології та охорони праці Національного гірничого університету.

Столбченко Олена Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри аерології та охорони праці Національного гірничого університету.

Наумов Микола Миколайович – к.т.н, асистент кафедри аерології та охорони праці Національного гірничого університету.