

сурс. Режим доступа к документу: [http://ko.com.ua/ochki\\_dopolnennoj\\_realnosti\\_jeto\\_ochen\\_prosto\\_61240](http://ko.com.ua/ochki_dopolnennoj_realnosti_jeto_ochen_prosto_61240).

6. Исследование динамики деформаций образца балки при изгибе с использованием методик визуального внутрисквжинного контроля (ВВК) / В.Г. Перепелица, М.С. Зайцев, Р.А. Дякун, В.Н. Светличный // Геотехническая механика. – 2010. – Вып. 89. – С. 203-210.

**УДК 614.89**

Кандидати техн. наук С.І. Чеберячко,  
Д.І. Радчук  
(ДВНЗ «НГУ»)

### **ЕРГОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕСПІРАТОРІВ**

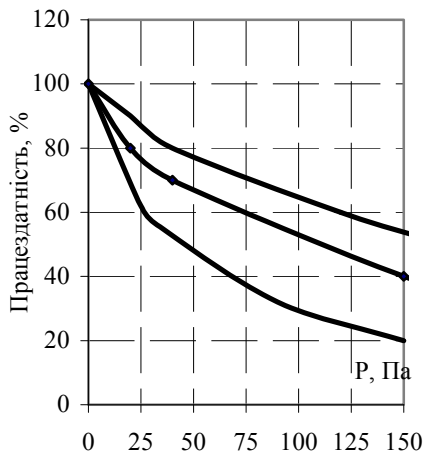
Проведены исследования по определению сопротивления дыханию отечественных и зарубежных образцов СИЗОД, оценена работа мышц системы дыхания человека. Проанализированы зависимости влияния основных показателей фильтрующих материалов на работоспособность трудящихся. Разработаны рекомендации по использованию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

### **ERGONOMICAL ASESSTMENT OF RESPIRATORS**

Researches of breathing resistance determination for native and foreign samples of respiratory protective devices are carried out, evaluated the muscle system work at human breathing. Analyzed influence dependences of filtering material basic characteristics to workers efficiency. Developed recommendation of respirators using.

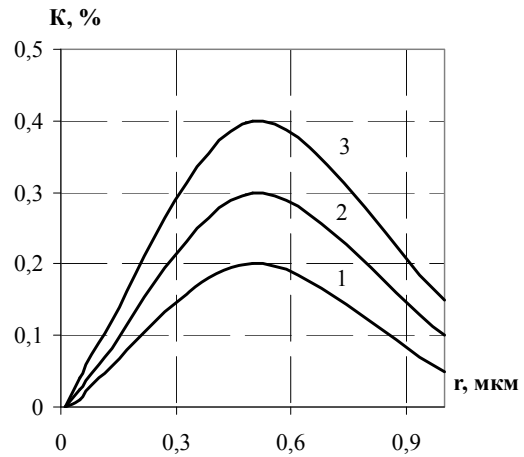
Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) часто проводиться тільки за показником захисної ефективності. Здебільшого не враховується вплив респіраторів на функціональний стан людини. Хоча на наш погляд саме ергономічні показники (опір диханню, маса ЗІЗОД, кількість CO<sub>2</sub> під маскою респіатора) є найбільш суттєвими так як 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 запитання 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 і враховувати і важкість роботи і запиленість повітря, і дисперсний склад пилу. Останній значно впливає на захисну ефективність. Дослідження показують: зі збільшенням діаметру часток пилу значно збільшується і ефективність їх видалення (рис. 2) [2], що дозволяє використовувати фільтруючі матеріали з меншою поверхневою щільністю упаковки волокон, а значить і опором диханню. Як бачимо найнижча ступінь уловлювання спостерігається для часток аерозолу 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 часток, які переважають в повітрі робочої зони можна визначити ступінь захисту респіатора, який найкраще підійде при даній роботі за мінімального опору дихання.



1 – 150 Вт; 2 – 200 Вт; 3 – 250 Вт

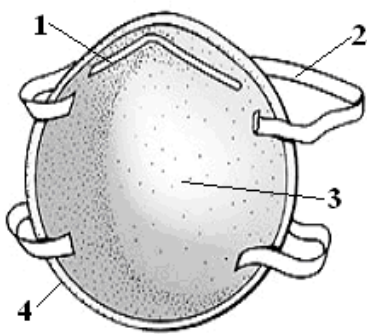
Рис. 1 - Залежність працездатності людини від перепаду тиску при затрачуваній потужності



1 - ФПП15-1,5,

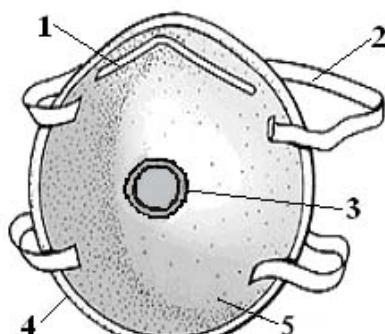
2 – Елефлен, 3 – Мелтблоун від радіусу часток при швидкості фільтрації 0,01 м/с  
Рис. 2 - Залежність коефіцієнта фільтрації фільтруючих матеріалів

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.



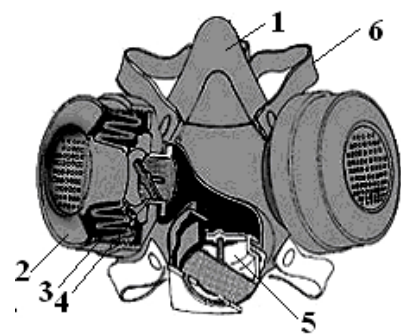
1 – носовий затискач, 2 – оголів'я, 3 – фільтруюча півмаска  
4 – обтюратор

Рис. 3 - Одноразовий респіратор (формована півмаска)



1 – носовий затискач, 2 – оголів'я,  
3 – клапан видиху  
4 – обтюратор;  
5 – фільтруюча півмаска

Рис. 4 - Одноразовий респіратор з клапаном видиху



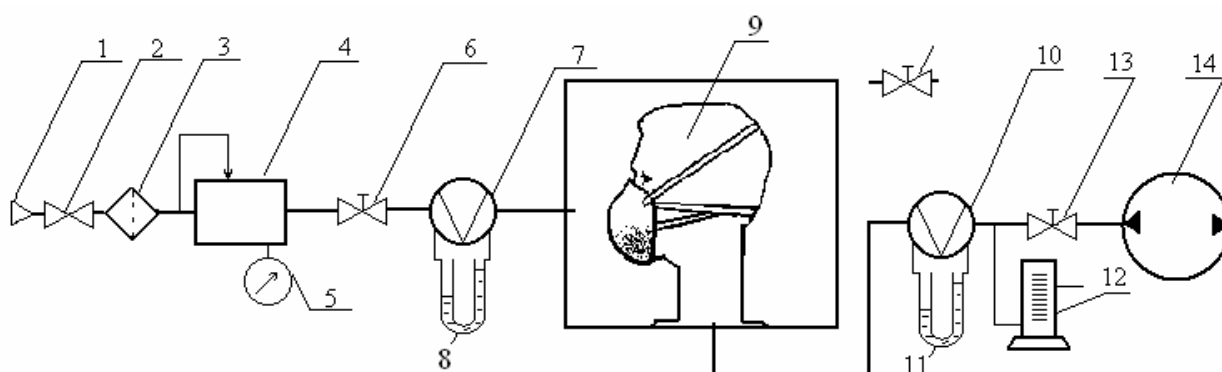
1 – півмаска з еластичного матеріалу, 2 – фільтруюча коробка,  
3 – фільтр, 4 – клапан вдиху,  
5 – клапан видиху, 6 – оголів'я

Рис. 5 - Патронний респіратор:

Таблиця 1 – Моделі та типи респіраторів

№	Модель респіра- тора	Фірма виробник	Кількість зразків	Тип респіра- ра
1	Лепесток	НВП «Стандарт», Україна	5	Формована на- півмаска
2	Росток	НВО «Фільтр», Україна	4	
3	Moldex	Moldex, USA	3	
4	Willson	Dalloz-Safety, Germany	3	
5	ЗМ	ЗМ, USA	5	
7	Moldex	Moldex, USA	2	Напівмаски з клапаном ви- диху
8	Willson	Dalloz-Safety, Germany	2	
9	ЗМ	ЗМ, USA	3	
10	Пульс	НВО «Фільтр», Україна	5	Багаторазові ЗІЗОД
11	Picco	Drager, Germany	2	
12	Dustfoe 66		2	
13	Combitorx-Nova	Scott Aviation, USA	2	
14	РПА-ТД	НВП «Стандарт», Україна	3	

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



- 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

Рис. 6 - Принципова схема установки для визначення перепаду тиску на ЗІЗОД

Установка працює наступним чином. Стиснуте повітря від компресора надходить через вентиль 2 на фільтр 3, де очищається від аерозольних часток. 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 витрати повітря за рахунок діафрагм 7, 10, які підключені до рідинних манометрів 8, 11. З підмаскового простору респірація повітря відсмоктується за допомогою вакуум-насоса 12, кількість повітря регулюється вентилем 13. Перепад тиску на ЗІЗОД вимірюється

компенсаційним мікроманометром 13, який розміщено на повітропроводі до вакуум-насоса. Респіратор встановлюється на муляжі за ГОСТ і герметично закріплюється за смугою обтюрції.

В ГОСТ 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 так, як при середніх і важких роботах витрат повітря може 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 табл. 2.

Таблиця 2 - Результати дослідження ЗІЗОД

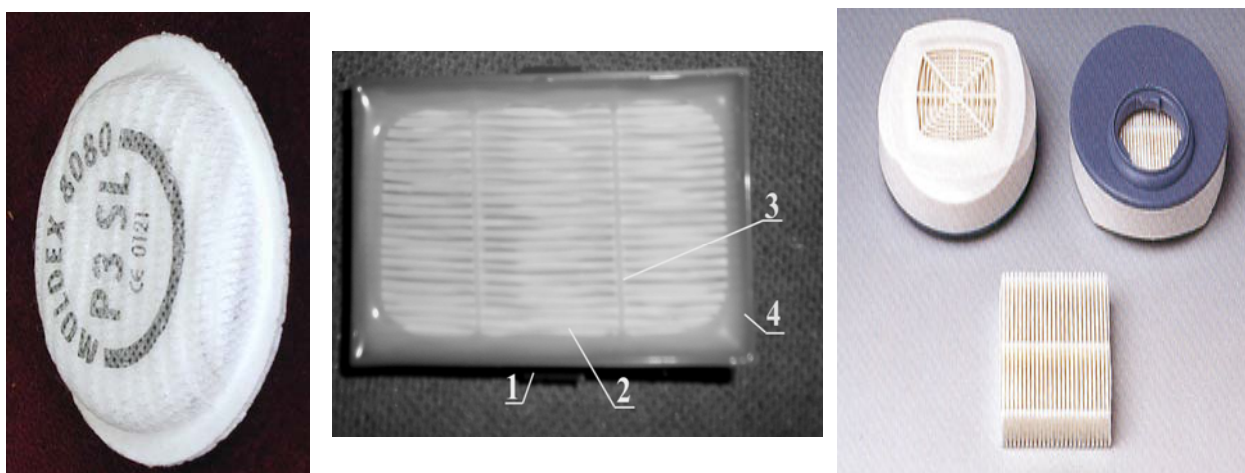
Тип респіратора	Перепад тиску на ЗІЗОД, Па, при витратах повітря, дм <sup>3</sup> /хв				Ступінь захисту*	Наявність клапану видиху
	на вдиху		на видиху			
Росток – 3	20	44	20	43	FFP 2	-
Лепесток – 40	11	25	12	24	FFP 2	-
Moldex 2400	12	26	12	25	FFP 1	+
Moldex 2500	50	109	12	30	FFP 2	+
Willson2201	60	118	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 2	+

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

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 ступені захисту зростає і перепад тиску, це пояснюється тим, що для підвищення захисної ефективності респіратора потрібно використовувати фільтруючі матеріали з більшою щільністю волокон, крім того смуга обтюрації посилюється спеціальними смужками, наприклад, з пінополіуретану, триплексу та інших, що практично ліквідує підсос повітря;
- перепад тиску патронних респіраторів суттєво вищий ніж у одноразових;
- опір диханню у вітчизняних респіраторів майже у декілька менший ніж 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 з заданим шагом складки (рис. 8).



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



1 – корпус фільтруючої коробки; 2 – фільтруючий елемент; 3 – кришка фільтруючої коробки

Рис. 8 - Вітчизняні фільтруючі елементи типу КУГ:

Визначивши опір диханню респіраторів, можемо оцінити роботу м'язів грудної клітини, як сумарний добуток загального тиску  $P$ , який прикладене 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 представити 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, що пов'язаний 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 числа 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 в залежності від індивідуальних особливостей, за даними різних авторів в діапазоні 1 - 5 Дж/хв. При збільшенні ХОД до 60 л/хв. робота дихальних м'язів досягає 60 – 120 Дж/хв. При граничному збільшенні МОД (близько 200 л/хв) робота досягає 2500 Дж/хв., що в багато разів перевищує цю величину при спокійному диханні. При цьому різко зростає доля кисню, що споживається дихальними м'язами [2].

В табл. 3 наведені дані, які показують про зріст роботи дихальної мускулатури в респіраторах в стані спокою. Для аналізу було взято показники функції легенів середньо статичної 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 в стані спокою, свідчить про наявність важкого дихання [3]. Тому респіратори, перепад тиску на яких складає близько 100 Па і більше, будуть приводити до утруднення процесу дихання працюючих.

**Висновки.** Таким чином, в результаті ергономічної оцінки респіраторів було встановлено, що найбільш придатні до експлуатації є респіратори з перепадом тиску на них менше 50 Па, так як вони не призводять до значних ускладнень процесу дихання.

Таблиця 3 – Показники роботи дихальної системи людини

Показники	Без додаткового опору диханню, Па		Додатковий опір диханню, в стані спокою, Па			
	спокій	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

У ЗІЗОД з аеродинамічним 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. – В кн. 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, М.Е. Трубицына. – СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с.
4. Шик Л.Л. Биомеханика дыхания / Л.Л. Шик. – В кн. Физиология дыхания. – М.: Наука. – 1973. – с. 19-39.

Д-р техн. наук І.О.Садовенко  
(ДВНЗ «НГУ»)  
канд. фіз.-мат. наук В.А. Мащенко  
(Рівненський державний гуманітарний  
університет)

## МЕТОД ОЦІНКИ ВЕЛИЧИНИ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД

В рамках моделі поверхневих дефектів пропонується метод оцінки поверхневої енергії горних порід. Локалізація поверхневих дефектів в горних породах визначається розповсюдженням поверхневих акустических хвиль Рэлея. На основі рівняння Рэлея для продольних, поперечних і поверхневих хвиль проведена оцінка коефіцієнта поверхневого натяження горної породи і проведено розрахунок енергії руйнування при динамічному техногенному процесі.

## METHOD FOR EVALUATING RATE OF SURFACE ENERGY IN THE ROCKS

Within the model of surface defects, a method for evaluating rate of surface energy in the rocks is proposed. Localization of the surface defects in rocks is determined by propagation of surface acoustic Rayleigh's waves. Basing on the Rayleigh equation for the longitudinal, transverse and surface waves, coefficient of the rock surface tension is evaluated, and breaking energy in dynamic technological processes is calculated.

### Вступ.

Аналіз природи динамічних техногенних процесів є актуальним і важливим питанням з точки зору безпечної експлуатації геотехнічних систем (ГТС). Техногенні явища, що обумовлені безпосередньою і опосередкованою дією геомеханічних рухів на об'єкти ГТС визначаються процесом реакції гірського масиву внаслідок накопичення запасів потенціальної енергії пружних деформацій гірської породи в геотехнічній системі і обмеженої її дисипації. В процесі динамічного техногенного явища енергія різних частин гірських масивів змінюється і перерозподіляється у відповідності із законом збереження енергії, а її баланс при такому процесі в ГТС можна представити наступним чином [1]

$$\sum_i W_i = W_p + \Delta K + W_B + W_C + W_B, \quad (1)$$

де  $W_i$  – складові енергії, що надходить і акумулюється в ГТС за рахунок динамічних процесів та пружних деформацій в гірських породах;  $W_p$  – енергія, що витрачається на руйнування оточуючих порід;  $\Delta K$  – кінетична енергія уламків матеріалу, що руйнується;  $W_B$  – енергія, що поглинається боковими породами поблизу місця динамічного техногенного явища;  $W_C$  – енергія сейсмічних коливань;  $W_B$  – енергія ударної повітряної хвилі.

Головним чинником при аналізі енергетичного балансу є розрахунок величини  $W_p$ , важливий не тільки для оцінки перерозподілу енергії при динамічному техногенному процесі, а і для визначення фізичних умов нестійкості (в тому