

УДК 614.89

**В.І. Голінько, д-р техн. наук, проф.,**  
**С.І. Чеберячко, канд. техн. наук, доц.,**  
**М.М. Наумов,**  
**Ю.І. Чеберячко, канд. техн. наук**

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

## ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ У ЛАБОРАТОРНИХ І ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

**V.I. Golinko, Dr. Sci. (Tech.), Professor,**  
**S.I. Cheberiachko, Cand. Sci. (Tech.), Associate**  
**Professor,**  
**M.M. Naumov**  
**Yu.I. Cheberiachko, Cand. Sci. (Tech.), Associate**  
**Professor,**

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: golinko@nmu.org.ua

## COMPARATIVE STUDY OF RESPIRATOR PROTECTIVE EFFICIENCY IN LABORATORY AND IN PRODUCTION ENVIRONMENT

**Мета.** Метою роботи є підвищення захисної ефективності протипилових респіраторів шляхом дослідження в лабораторних і виробничих умовах.

**Методика.** Визначення коефіцієнту проникнення фільтрувального протипилового респіратора в лабораторних умовах виконували за методикою, описаною у ДСТУ EN 143-2002. У виробничих умовах концентрацію пилу в повітрі до та після респіратора визначали відповідно до „Інструкції з виміру концентрації пилу на шахтах та обліку пилових навантажень“.

**Результати.** Коефіцієнт захисту протипилового респіратора у виробничих умовах на початку його експлуатації має високий показник, який можна зіставити з аналогічним при лабораторних випробуваннях з урахуванням підсмоктування через обтюратор. Однак з часом, при накопиченні пилового осаду та зростанні опору диханню, а також через сповзання півмаски під час виконання трудових завдань і необхідності розмовляти, він погіршується за рахунок збільшення підсосу нефільтрованого повітря через нещільність смуги обтюрації

**Наукова новизна.** Встановлено, що коефіцієнт проникнення респіратора зі збільшенням концентрації вугільного пилу з часом погіршується за рахунок різкого зменшення пор між волокнами через збільшення осідання крупнодисперсної фракції вугільного пилу, росту опору диханню та додаткового підсмоктування частинок за смугою обтюрації.

**Практична значимість.** Полягає у визначенні основних причин зниження коефіцієнту захисту респіратора на вугільних підприємствах.

**Ключові слова:** *протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, затиленість, дисперсний склад вугільного пилу*

**Постановка проблеми.** Умови праці на вугільних підприємствах здебільшого визначаються пиловим фактором, тобто залежать від вмісту пилу в повітрі робочої зони, його викидів та пиловідкладення поблизу джерел пилу або у вентиляційних каналах, включаючи гірничі виробки. При цьому властивості пилу обумовлюють вибір відповідних заходів для боротьби з ним.

Повністю обезпилити гірничі виробки практично неможливо, крім того цей процес потребує значних

матеріальних витрат. Тому діючими нормативними документами з охорони праці встановлюється санітарно-гігієнічні норми, а при неможливості їх забезпечення – рівні пилового навантаження працюючих. Також для захисту гірників передбачено видачу засобів індивідуального захисту органів дихання. Вибір останніх регламентований декількома стандартами [1,2]. Вважається, що, при правильному виборі фільтрувального респіратора, він надійно захищає людину від захворювання на пневмоконіози й пилові бронхіти. Незважаючи на те, що використання індивідуальних засобів захисту є обов'язковим, кількість хво-

рих на пилову етіологію з кожним роком збільшується. Тому дослідження ефективності використання протипилових фільтрувальних респіраторів у виробничих умовах є досить актуальними.

**Виділення невирішеної проблеми.** У діючих правилах з вибору фільтрувальних респіраторів НПАОП 0.00-1.04-07 „Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання“ вказано, що необхідний коефіцієнт захисту засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) визначається, виходячи з відношення концентрації шкідливої речовини в повітрі робочої зони до її гранично допустимої концентрації. Вибір респіратора проводять шляхом порівняння необхідного коефіцієнта захисту з коефіцієнтом захисту респіратора, визначеного в лабораторних умовах, якщо останній більший, то респіратор можна використовувати [1]. Отже, коефіцієнт захисту респіраторів визначають у лабораторії. Виникає питання у правомірності такого підходу. Чи достовірною буде процедура вибору ЗІЗОД за результатами лабораторних випробувань?

**Аналіз досліджень і публікацій.** Вітчизняних публікацій з цієї проблеми небагато й вони є суперечливими. Так, перші відомості про високу ефективність фільтрувальних респіраторів були опубліковані в монографії „Лепесток. Легкі респіратори“ авторів В.І. Петрянова, В.С. Кошчева та ін. На основі порівняння медичних перевірок працівників, що використовували ЗІЗОД та ні, стверджувалось, що рівень професійної захворюваності знизився на 80% у гірників. У наш час автори П.І. Басманов, С.Л. Камінський у своєму довіднику [3] також, посилаючись на різні вітчизняні та зарубіжні публікації, говорять про значну ефективність фільтрувальних респіраторів.

З іншого боку існують публікації, в яких ставиться під сумнів значне зниження захворюваності органів дихання при використанні ЗІЗОД. Так, на основі двадцятирічного дослідження причин погіршення здоров'я у гірників Донбасу, авторами Ф.К. Зінгером, Е.С. Сорокіним, К.Ш. Мухінін підкреслено, що використання респіраторів суттєво не вплинуло на показники пилової експозиції, а тільки відтягнуло виникнення захворювання. Автори стверджують, що: „наявність респіраторів, безперечно, зменшує ризик захворювання, але не ліквідує загрози здоров'ю“. У той же час, Я.І. Трумпайц і Е.М. Афанасьєва, проаналізувавши ефективність протигазового респіратора РУ-67м у виробничих умовах, що виготовляється зі стандартної гумової півмаски ПР-7, як і більшість вітчизняних ЗІЗОД, показали, що інколи його коефіцієнт проникнення сягає 20%, тоді як при лабораторних випробуваннях фіксують не більше 2–3%.

Подібні результати наводять у своїх роботах Б.М. Тюріков і А. П. Гавришук. Отримані ними коефіцієнти проникнення коливалися в діапазоні від 20 до 0,5%, що вказує на нестабільність цього показника у виробничих умовах. Ці дослідження підштовхнули до розробки ЗІЗОД з примусовою подачею повітря.

У той же час на основі чисельних досліджень захисної ефективності фільтрувальних респіраторів рі-

зними зарубіжними дослідниками було встановлено, що їх захисна ефективність – величина не постійна та може змінюватися в широкому діапазоні [4]. Ці результати призвели до того, що в більшості європейських країн знизили границю області допустимого використання фільтрувальних півмасок з високоефективними фільтрами до 50ПДК, а зі звичайними – до 10ПДК. У США суттєва різниця між лабораторними та виробничими результатами випробувань ЗІЗОД призвела до того, що останні стали одними з основних вимог при сертифікаційній перевірці якості респіраторів. Крім того, було введено нову термінологію для шести різних коефіцієнтів захисту. З'явилися поняття „очікуваного коефіцієнта захисту респіраторів“, „коефіцієнта захисту при імітуванні виконуваної роботи“, „коефіцієнта захисту на робочому місці“, „коефіцієнта безпеки“ та інші [5].

Останні дослідження коефіцієнта захисту респіратора у США базуються на використанні нового унікального портативного приладу, що дозволяє визначати розрахункові концентрації частинок пилу зовні й під маскою респіратора під час роботи в реальному часі, ураховуючи оптичний діаметр частинок (5 діапазонів розмірів) [5]. Результати цих досліджень дозволяють уточнити коефіцієнт проникнення аерозолу фільтрувальних півмасок на робочому місці для виявлення факторів, що погіршують їх захисну ефективність.

**Формулювання мети роботи.** Метою роботи є визначення різниці між показниками захисної ефективності протипилових респіраторів, визначених у лабораторних і виробничих умовах на вугільній шахті, за рахунок проведення порівняльних досліджень.

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження були використані багаторазові респіратори з гумовими або силіконовими півмасками з одним або двома фільтрувальними елементами. Фільтри відповідали другому класу захисту. Вони виготовлені з поліпропіленового фільтрувального матеріалу та відповідали вимогам ДСТУ EN 143-2002, що підтверджувалось сертифікатом якості. Для зменшення похибки випробувань захисної ефективності респіраторів, було визначено опір повітряному потоку фільтрів, щоб відібрати для експериментів респіратори тільки з однаковим перепадом тиску.

Коефіцієнт проникнення, що представляє відношення концентрації аерозолу „до“ та „після“ респіратора, розраховувався за формулою [1]

$$K_n = \frac{C_1}{C_2} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $C_1$  – концентрація пилу в підмасковому просторі респіратора, мг/м<sup>3</sup>;  $C_2$  – концентрація пилу в навколишньому середовищі, мг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт захисту – це обернено пропорційна величина коефіцієнту проникнення [1]

$$K_s = \frac{100}{K_n}.$$

У лабораторних умовах коефіцієнт проникнення респіраторів вивчали за методикою, описаною у ДСТУ EN 143-2002. Тільки замість тест-аерозолю „доломітовий пил“ (рекомендується вищезгаданим стандартом) було використано звичайний вугільний пил. Для імітування рудникової атмосфери використовували спеціальний вібраційний генератор для „приготування“ та подачі свіжоутвореного вугільного пилу з наперед заданим дисперсним складом до випробувальної камери.

На рис. 1 наведено схему установки для визначення захисних властивостей протипилових респіраторів. Вона працює наступним чином. Під тиском повітря від компресора потрапляє через фільтр попереднього очищення 1 на стабілізатор 2. Кількість цього повітря регулюється вентилем 4 і контролюється манометром, виходячи з перепаду тиску на каліброваній діафрагмі 5 (20–50 л/хв). Для утворення пилового аерозолю у вібраційній генератор пилу 9 подається від 2 до 10 л/хв чистого повітря залежно від наперед заданої концентрації пилу. Він представляє собою сталевий стакан із впускним і випускним штуцерами, в який завантажуються попередньо подрібнені куски вугілля загальною масою близько 100 г. У результаті вібрації камери відбувається інтенсивне самоподрібнення цих кусків до пилового стану. Для прискорення подрібнення передбачено завантаження до камери генератора сталевих шарів діаметром 10–15 мм. За допомогою вентиля 6 і ротаметра 8 здійснюється регулювання кількості повітря, що надходить до генератора. Завдяки цьому можна отримати не тільки різну концентрацію пилу, а й різний дисперсний склад. Інша частина чистого повітря обсягом 20–30 л/хв. подається до випробувальної камери 11 в обхід генератора та регулюється вентилем 7 для забезпечення заданої концентрації. Респіратор розміщується на спеціальному муляжі голови (рис. 2), де герметично закріплюється. Повітря з підмаскового простору відбирається через алонж із фільтром АФА 12 за допомогою дихальної машини 13 у кількості 30 л/хв. Накопичення пилу на захисному виробі контролюється завдяки зростанню аеродинамічного опору, що визначається за показниками мікроманометра 10 (МК-2500). Кількість пилу, що проник через фільтри ЗІЗОД, визначається за допомогою фільтрів АФА, які попередньо зважуються на аналітичних вагах (ВЛО-200). Виходячи з різниці маси запиленого та чистого аналітичного фільтра та фільтрів респіатора визначали коефіцієнт проникнення за формулою

$$K_n = \frac{M_1 - M_\phi}{(M_1 - M_\phi) + (M_2 - M_p)} \cdot 100 \cdot$$

де  $M_1$  – маса запиленого фільтра АФА, що встановлений після респіатора, г;  $M_2$  – маса запиленого фільтра респіатора, г;  $M_\phi$  – маса чистого фільтра АФА, г;  $M_p$  – маса чистих фільтрів респіатора, г.

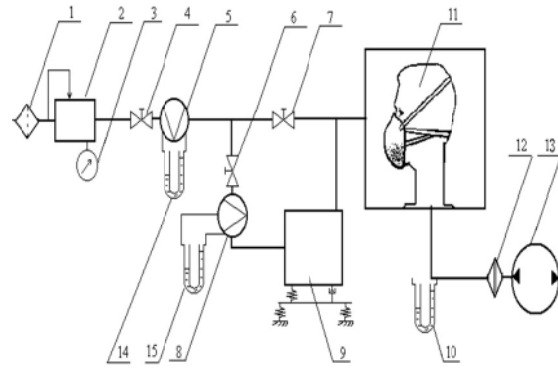


Рис. 1. Схема установки для випробування ЗІЗОД: 1 – фільтр попереднього очищення; 2 – манометр; 3 – стабілізатор тиску; 4, 6, 7 – регулювальні вентилі; 5 – діафрагма; 8 – ротаметр; 9 – генератор пилу; 10 – мікроманометр; 11 – випробувальна камера з муляжем; 12 – алонж з фільтром АФА; 13 – дихальна машина



Рис. 2. Муляж голови та дихальна машина: 1 – пробовідбірник з підмаскового простору ЗІЗОД; 2 – шеффілдський муляж голови; 3 – дихальна машина

Проведення виробничих досліджень фільтрувальних респіраторів виконували на шахтах Західного Донбасу. В експерименті приймали участь гірники наступних професій: машиніст, помічник машиніста, гірники. Їм видавалися досліджувані ЗІЗОД. Відмітимо, що півмаски підбирались відповідно до розміру обличчя. Додаткових тренувань для навчання працівників, які приймали участь у дослідженнях, правильній експлуатації ЗІЗОД, окрім тих, що передбачені програмою первинного інструктажу, проведено не було.

На рис. 3 показана схема експериментальної установки, що складається з аспіратора АЕРА, алонжа з фільтрами АФА, повітропроводів із силіконової гуми та пробовідбірника, пропущеного через півмаску. Для зменшення похибки, проби повітря відбирали одночасно: перша – з підмаскового простору респіатора; друга з навколишнього середовища з витратою

повітря 2 л/хв. Алонж з аналітичним фільтром для визначення концентрації пилу в робочій зоні закріплювали на рівні плечей. Такий спосіб кріплення для визначення забрудненості повітря, що вдихається, часто використовують, і він дає мінімальну похибку вимірювань.

Виконували п'ять відборів проб, проби відбирали кожну годину. Тривалість вимірювань становила 30 хв, оскільки робітникам незручно носити аспіратор тривалий час. Після проведення експерименту фільтри АФА акуратно вкладали в індивідуальні пакети для подальшого вимірювання їх ваги з пилом і визначення його дисперсного складу.

Концентрацію пилу в робочій зоні та в підмасковому просторі визначали відповідно до „Інструкції з виміру концентрації пилу на шахтах та обліку пилових навантажень“ за формулою [6]

$$C = \frac{10^3(m_2 - m_1)}{Qt},$$

де  $m_1$  – маса фільтра АФА, мг;  $m_2$  – маса фільтра АФА з пилом після відбору проби, мг;  $Q$  – витрата повітря, л/хв;  $t$  – час відбору проби повітря, хв.

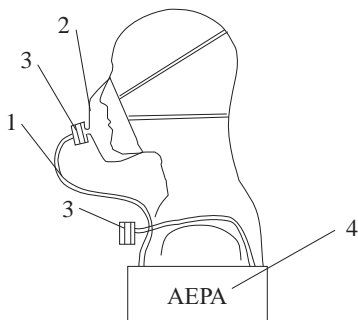


Рис. 3. Схема відбору проб для визначення коефіцієнта проникнення респіратора у виробничих умовах: 1 – протипиловий респіратор; 2 – алонж із фільтром АФА; 3 – повітропроводи; 4 – аспіратор АЕРА

**Результати.**

У табл. 1 наведені результати порівняльних вимірювань коефіцієнта проникнення респіраторів у лабораторних і виробничих умовах

Таблиця 1

Порівняння значень коефіцієнта проникнення респіраторів у лабораторних і у виробничих умовах

Респіратор	Вимірювання в лабораторних умовах			Вимірювання у виробничих умовах		
	Кількість вимірювань	Діапазон $K_p, \%$	Середній $K_p, \%$	Кількість вимірювань	Діапазон $K_p, \%$	Середній $K_p, \%$
з двома фільтрами	5	0,02–0,5	0,08	5	2,5–14,2	8,6
з одним фільтром	5	0,04–0,8	0,1	5	2,1–12,3	9,3

Аналіз отриманих результатів показує, що у виробничих умовах коефіцієнт проникнення респіраторів більший, ніж у лабораторних. Навіть, з урахуванням величини коефіцієнта підсмоктування півмасок за смугою обтюраторії, що, відповідно до ДСТУ EN 140-2004, повинна бути не більше 5%, середній коефіцієнт проникнення ЗІЗОД у лабораторних умовах складає не більше 5,1%. Однак, потрібно відмітити, що у виробничих умовах були зафіксовані й мінімальні показники проникнення аерозоллю через респіратори. Це говорить про високу захисну ефективність останніх. Здебільшого, такі результати були отримані на початку експлуатації ЗІЗОД, при перших відборах проб, а потім поступово коефіцієнт проникнення збільшувався (рис. 4). Це спостерігалось на відміну від лабораторного запылення фільтрів, де з часом їх захисна ефективність тільки покращувалась (рис. 5). Пояснити таку розбіжність результатів можна тим, що при накопиченні пилу на фільтрі зменшуються розміри пор між волокнами й тим самим ефективність уловлювання аерозольних частинок покращується. При цьому зростає опір повітряному потоку, що може сприяти зростанню підсмоктувань за нещільністю смуги обтюраторії. Цей процес детально описаний у декількох роботах [7,8]. Ураховуючи, що у деяких працівників півмаски респіраторів не забезпечували надійну герметичність обтюратора – це і є одна з головних причин погіршення захисної ефективності респіраторів на виробництві.

Збільшення підсмоктувань також можливе через сповзання півмаски респіраторів під час поворотів голови або нахилів тулуба, що було відмічено при тестуванні ЗІЗОД. Така ситуація виникає при недостатній силі притискання ЗІЗОД до обличчя або із-за недоліків оголів'я, або через нерівномірність розподілу зусиль за смугою обтюраторії.

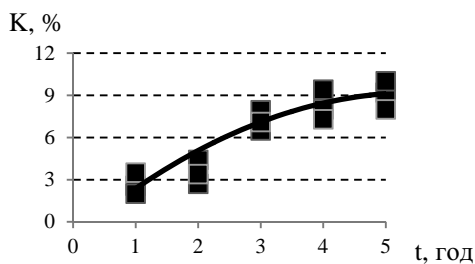


Рис. 4. Залежність коефіцієнта проникнення від часу експлуатації респіратора у виробничих умовах

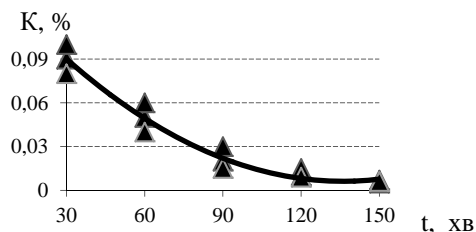


Рис. 5. Залежність коефіцієнта проникнення від часу експлуатації фільтра у лабораторних умовах

Таблиця 2

Розподіл пилу за фракціями

Місця накопичення пилу	Розміри часток за фракціями, мкм			
	0,1-5	5-10	10-30	більше 30
Розподіл маси пилу в повітрі гірничої виробки, %	10	12	49	29
Розподіл маси пилу на фільтрі респіра-тора від загальної кількості пилу в гірничій виробці, %	8	11	48	33
Розподіл маси пилу під маскою респіра-тора від загальної кількості пилу в гірничій виробці (відбирались на фільтр АФА), %	91	9		

Також були зафіксовані випадки знімання півмаски працівниками для розмови. У цій ситуації про захист органів дихання не може йти мови. У гірничих виробках, особливо в лаві та конвеєрному штреку, дуже шумно, без переговорної мембрани в респіраторі почути мову майже неможливо.

Цікаві результати були отримані при визначенні залежності коефіцієнта підсмоктування від концентрації пилу. Відповідно до формули (1), коефіцієнт проникнення – це відносна величина, що характеризує властивість респіра-тора уловлювати аерозольні частинки. Однак, як видно з рис. 6, зі збільшенням кількості пилу в повітрі робочої зони захисна ефективність респіраторів поступово погіршується. Імовірно, крупнодисперсна фракція вугільного пилу, що складає в порівнянні більший відсоток, ніж дрібнодисперсна, швидко закупорює пори між волокнами фільтра. Відповідно, виникає достатня величина опору диханню, що збільшує підсмоктування нефільтрованого повітря.

Встановлена залежність має важливе значення для правильного вибору ЗІЗОД. Оскільки коефіцієнт захисту респіраторів у лабораторних умовах за ДСТУ EN 143-2002 визначається за двома тест-аерозолями (хлориду натрію з концентрацією у випробувальній камері  $(8 \pm 4)$  мг/м<sup>3</sup> і парафінової оливи –  $(20 \pm 5)$  мг/м<sup>3</sup>), то необхідно вводити поправку, якщо концентрація шкідливої речовини в повітрі робочої зони буде значно більша.

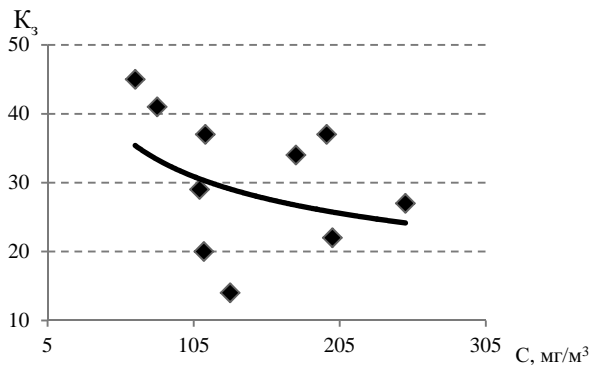


Рис. 6. Залежність захисної ефективності від концентрації пилу

Аналіз дисперсного складу осілого пилу на фільтрах респіра-тора показав, що на них переважає крупнодисперсна фракція, на відміну від фільтрів АФА (проби під маскою), де, здебільшого, осідали дрібнодисперсні частинки (табл. 2). Ці результати підтверджують зроблені висновки, оскільки за нещільністю смуги обтюрації найбільше проникає дрібних частинок пилу. Крім того, виникає необхідність у визначенні коефіцієнта проникнення респіра-тора саме у виробничих умовах для уточнення величини пилового навантаження. За цим показником розраховується кількість осілого пилу в легенях гірників і встановлюється час безпечного перебування їх у контакті з пилом [6]. Зрозуміло, що лабораторний коефіцієнт проникнення призведе до завищення цього показника.

**Висновки.** Коефіцієнт проникнення протипилових респіраторів без урахування підсмоктувань через нещільність обтюра-тора, отриманий у лабораторних умовах за тест-аерозолем „вугільний пил“, значно менший, ніж у протестованих ЗІЗОД у гірничих виробках.

Коефіцієнт захисту протипилового респіра-тора у виробничих умовах на початку його експлуатації має високий показник, який можна зіставити з аналогічним при лабораторних випробуваннях з урахуванням підсмоктування через обтюра-тор. Однак, з часом при накопиченні пилового осаду та зростанні опору диханню, а також через сповзання півмаски під час виконання трудових завдань і необхідності розмовляти, він погіршується за рахунок збільшення підсосу нефільтрованого повітря через нещільності смуги обтюрації.

Встановлено, що зі збільшенням концентрації пилу в гірничій виробці коефіцієнт проникнення респіра-торів погіршується за рахунок різкого зменшення пор між волокнами через збільшення осідання крупнодисперсної фракції вугільного пилу, росту опору диханню та підсмоктування частинок за смугою обтюрації.

Визначено, що під маскою респіра-тора переважає дрібнодисперсна фракція пилу, яка є основною причиною виникнення захворювань на пилову етіологію.

Для підвищення захисної ефективності респіра-торів у виробничих умовах необхідно: ретельно підбирати півмаску до обличчя працівника для забезпечення надійної герметизації за смугою обтюрації; проводити навчання з правильної експлуатації ЗІЗОД; визначати коефіцієнт захисту респіра-тора для уточнення пилового навантаження на робочих місцях працівників.

**Список літератури / References**

1. Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання: ДНАОП 0.00-1.04-07 – [чинний від 28.12.2007 р.] – К.: Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – № 331.

DNAOP 0.00-1.04-07 (2007), *Pravyla vyboru ta zastosuvannya zasobiv individualnoho zakhystu organiv dykhannia* [Rules of Respiratory Protective Devices Selection and Use], No. 331, valid since December 28, 2007, State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labour Safety and Mines Inspectorate, Kyiv, Ukraine.

2. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации относительно выбора, использования, ухода и обслуживания. Инструкция (EN 529:2005, IDT): DSTU EN 529:2006.

DSTU EN 529:2006 (2006), *Sredstva individualnoy zashchity organov dykhaniya. Rekomendatsyi otnositelno vybora, ispolzovaniya, ukhoda i obsluzhivaniya* [Respiratory Protective Devices. Recommendations on Selection, Use, Care and Maintenance], (EN 529:2005, IDT): DSTU EN 529:2006, Ukraine.

3. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: справ. рук-во / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейников, М.Е. Трубицына. – СПб.: ГИПП „Искусство России“, 2002. – 399 с.

Basmanov, P.I., Kaminskiy, S.L., Korobeinikov, A.V. and Trubitsina, M.Ye. (2002), *Sredstva individualnoy zashchity organov dykhaniya: Spravochnoe rukovodstvo* [Respiratory Protective Devices: Manual], GIPP “Iskusstvo Rossii”, St. Petersburg, Russia.

4. Кириллов В.Ф. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания работающих (обзор литературы) / В.Ф. Кириллов, А.А. Бунчев, А.В. Чиркин // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. – № 4. – С. 25–31.

Kirillov, V.F., Bunchev, A.A. and Chirkin, A.V. (2013), “About respiratory protective devices for workers (literature review)”, *Meditsyna truda i promyshlennaya ekologiya*, no.4, pp. 25–31.

5. Campbell, D.L., Coffey, C.C. and Lenhart, S.W. (2001), “Respiratory Protection as a Function of Respirator Fitting Characteristics and Fit-Test Accuracy”, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 62, no. 1–2, pp. 36–44.

6. Інструкції з виміру концентрації пилу на шахтах та обліку пилових навантажень. 36. інстр. до Правил безпеки у вугільних шахтах. – [чинний від 18.11.02.] – К., 2003. – № 662. – С. 151–161.

*Instruktsii z vymiru kontsentratsii pylu na shakhtakh ta obliku pylovykh navantazhen* [Instruction on Estimation of Dust Concentration and Load in Mines], Instruction Book in Addition to Safety Rules in Coal Mines, No. 662, valid since November 18, 2002, pp. 151–161.

7. Janssen, Larry L., Nelson, Thomas J. and Cuta, Karen T. (2007), “Workplace Protection Factors for an N95 Filtering Facepiece Respirator”, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol 4, no. 9, pp. 698–703.

8. Анализ и оценка защитной эффективности фильтрующих респираторов / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко, В.Е. Колесник, А.С. Ищенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 12. – С. 33–36.

Golinko, V.I., Cheberiachko, S.I., Kolesnik, V.Ye. and Ishchenko, A.S. (2004), “Analysis and estimation of respirator protective efficiency”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 12, pp. 33–36.

**Цель.** Целью работы является повышение защитной эффективности противопылевых респираторов путем исследования в лабораторных и производственных условиях.

**Методика.** Определение коэффициента проникновения фильтровального противопылевого респиратора в лабораторных условиях выполняли по методике, описанной в DSTU EN 143-2002. В производственных условиях концентрацию пыли в воздухе до и после респиратора определяли в соответствии с „Инструкцией по замеру концентрации пыли в шахтах и учете пылевых нагрузок“.

**Результаты.** Коэффициент защиты противопылевого респиратора в производственных условиях в начале его эксплуатации имеет высокий показатель, который можно сопоставить с аналогичным при лабораторных испытаниях с учетом подсоса через обтюратор. Однако со временем, при накоплении пылевого осадка и росте сопротивления дыханию, а также из-за сползания полумаски при выполнении трудовых заданий и необходимости разговаривать, он ухудшается за счет увеличения подсоса нефилтрованного воздуха через неплотность полосы обтюрации.

**Научная новизна.** Установлено, что коэффициент проникновения респиратора с увеличением концентрации угольной пыли со временем ухудшается за счет резкого уменьшения пор между волокнами из-за увеличения оседания крупнодисперсной фракции угольной пыли, роста сопротивления дыханию и дополнительного подсоса частиц за полосой обтюрации.

**Практическая значимость.** Заключается в определении основных причин снижения коэффициента защиты респиратора на угольных предприятиях.

**Ключевые слова:** противопылевой респиратор, перепад давления, сопротивление дыханию, запыленность, дисперсный состав угольной пыли

**Purpose.** To carry out laboratory and in the field studies on the dust respirator protective efficiency improvement.

**Methodology.** Laboratory estimation of the penetration coefficient of the dust filtering respirators has been carried out by the method described in DSTU EN 143-2002. In the field estimation of the dust concentration in the air before and after filtering by the respirator has been carried out according to the guidelines “Manual on dust Concentration and Dust Load Estimation in Mines.”

**Findings.** The respirator protective efficiency in production environment is high at the start of its use. Its performance is commensurable with the same in laboratory environment when air leaks-in through the shutter. But sooner or later the dust accumulation, breathing resistance increase, slipping of half-mask and necessity to talk during the work lead to its degradation due to the unfiltered air inflow through the shutter contact line leak.

**Originality.** Authors have determined that the respirator penetration coefficient degrades as the dust content rises because of sharp reduction of the size of filter

pore spaces caused by deposition of coarse particles of coal dust between the fibers, breathing resistance increase and additional dust inflow through shutter contact line.

**Practical value.** Authors have determined main causes of the respirator protective efficiency degradation in the production environment of coal mines.

**Keywords:** *dust respirator, differential pressure, breathing resistance, dust content, size-consist of coal dust*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Кузьменком. Дата надходження рукопису 23.05.13.*

УДК 622.232.72.001.57:658.386

**В.Г. Шевченко, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
М.С. Зайцев**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова  
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua

## МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

**V.G. Shevchenko, Senior Research Fellow,  
M.S. Zaitsev**

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National  
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk,  
Ukraine, e-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua

## SIMULATION OF SAFE WORKING CONDITIONS WHEN USING THE DEVICE OBTAINING MORE INFORMATION ABOUT MINING OBJECTS

**Цель.** Разработка математической модели безопасных условий труда при использовании устройств получения дополнительной информации и установление закономерностей изменения показателей эффективности работы системы „человек–техника–технология“ для повышения безопасности труда на горных предприятиях.

**Методы.** Теории информации, теории надежности, методы системного, математического анализа, математическое моделирование безопасных условий труда.

**Результаты.** Разработан способ и устройство оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств. Разработано индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеoinформации для работников урановых шахт, обеспечивающее оперативный контроль и получение видеoinформации на информационный комплекс прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности, обеспечивающий управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Разработан алгоритм моделирования системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий, учитывающий влияние психофизических параметров горнорабочего, интегрального уровня его информированности, качественных характеристик и количества поступающей к нему информации на безопасность и производительность системы. Показано, что производительность системы уменьшается в логарифмической зависимости с увеличением количества передаваемой машинисту информации, увеличивается в логарифмической зависимости от параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию, и линейно возрастает с увеличением ресурса времени реализации решения и показателя уровня достоверности информации.

**Научная новизна.** Впервые установлены закономерности изменения безопасности и производительности системы от психофизических параметров горнорабочего, качественных характеристик информации и ее количества.

**Практическая значимость.** Разработаны способы и устройства получения дополнительной информации о горнотехнических объектах: способ оперативного визуального контроля над состоянием выработок и технических средств на шахтах, индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеoinформации и информационный комплекс прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** *безопасные условия труда, способы и устройства получения дополнительной информации, горнотехнические объекты, моделирование, закономерности*

**Постановка проблемы и ее связь с важными научными или практическими заданиями.** Потребность в совершенствовании научно-прикладных

методов исследования процессов функционирования сложной технологической системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий обуславливает необходимость разработки средств и устройств, позволяющих получать наиболее полную, достоверную и своевременную