

УДК 622.817: 622.411.5

**Наумов М.М.**, канд. техн. наук,  
**Столбченко О.В.**, канд. техн. наук,  
(Державний ВНЗ «НГУ»)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВІРКИ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПИРАТОРІВ ЗА ПИЛОВИМ АЕРОЗОЛЕМ**

**Наумов Н.Н.**, канд. техн. наук, асистент  
**Столбченко Е.В.**, канд. техн. наук, доцент  
(Государственный ВУЗ «НГУ»)

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОВЕРКИ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ РЕСПИРАТОРОВ ПО ПИЛЕВОМУ АЭРОЗОЛЮ**

**Naumov M.M.**, Ph.D. (Tech.),  
**Stolbchenko O.V.**, Ph.D. (Tech.)  
(State H E I «NMU»)

## **IMPROVING OF FILTER RESPIRATOR PROTECTIVE PROPERTIES TEST BY DUST FACTOR**

**Анотація.** Фракції пилу мають високу швидкість осідання в повітрі, і в значній кількості присутні лише безпосередньо біля джерел пилоутворення. Тому дисперсний склад промислового пилу, тобто розмір частинок можна вважати таким, що змінюються в діапазоні від 2 до 60 мкм. Саме цей діапазон слід брати до уваги при випробуваннях засобів індивідуального захисту органів дихання робітників, призначених, зокрема, для гірничорудних підприємств і вугільних шахт.

Було розроблено спеціальний стенд для випробовувань засобів пилозахисту, який з одного боку враховує особливості рудникової атмосфери, а з іншого відповідає вимогам європейських стандартів.

Досліджено декілька режимів роботи стенду з метою визначення максимально близького розподілу пилових частинок у випробувальній камері до їх розподілу в очисних і підготовчих вибоях. Встановлена маса пило утворюючого матеріалу в генераторі пилу та витрата повітря для забезпечення стабільних показників на протязі всього часу випробувань.

**Ключові слова:** протипиловий респіратор, запиленість, дисперсний склад вугільного пилу.

**Вступ.** Багато властивостей пилу, в тому числі її патологічний вплив, визначаються дисперсним складом пилу [1-2]. Відповідно до класифікації, пил – це аерозольна система з розмірами частинок від 1 до 100 мкм. Слід зазначити, що частки малих розмірів (менше 2 мкм) складають незначну частину в загальній масі пилу, більша частина яких видихається і не загрожує захворюваннями [3]. Це ж стосується і частинок великих розмірів (більше 60 ... 70 мкм), їх роль у розвитку професійних захворювань теж істотно падає через інтенсивне затримання цієї фракції в носоглотці. Ці фракції пилу мають високу швидкість осідання в повітрі, і в значній кількості присутні лише безпосередньо біля джерел

пилоутворення. Тому дисперсний склад промислового пилу, тобто розмір частинок можна вважати таким, що змінюються в діапазоні від 2 до 60 мкм. Саме цей діапазон слід брати до уваги при випробуваннях засобів індивідуального захисту органів дихання робітників (ЗІЗОД), призначених, зокрема, для гірничорудних підприємств і вугільних шахт [4, 5].

**Постановка задачі.** Виходячи з вище сказаного, логічно досліджувати якість протипилових респіраторів за пиловим аерозолем. Крім того, такі випробування ЗІЗОД є обов'язковими за гармонізованими стандартами ДСТУ EN 143-2002 та ДСТУ EN 149-2003. Тому, виникла необхідність у розробці спеціального стенду для випробовувань засобів пилезахисту, який з одного боку враховував особливості рудникової атмосфери, а з іншого відповідав вимогам європейських стандартів.

Аналіз проведених досліджень свідчить проте, що подібні установки існують [6].

#### **Матеріали і методи дослідження.**

Вимірювання захисної ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання за тест-аерозолем вугільний пил виконується за допомогою гравіметричного методу, який полягає у в осадженні з відомого об'єму повітря випробувальної камери частинок пилу на спеціальні фільтри за допомогою аспірації і визначення потім їх маси.

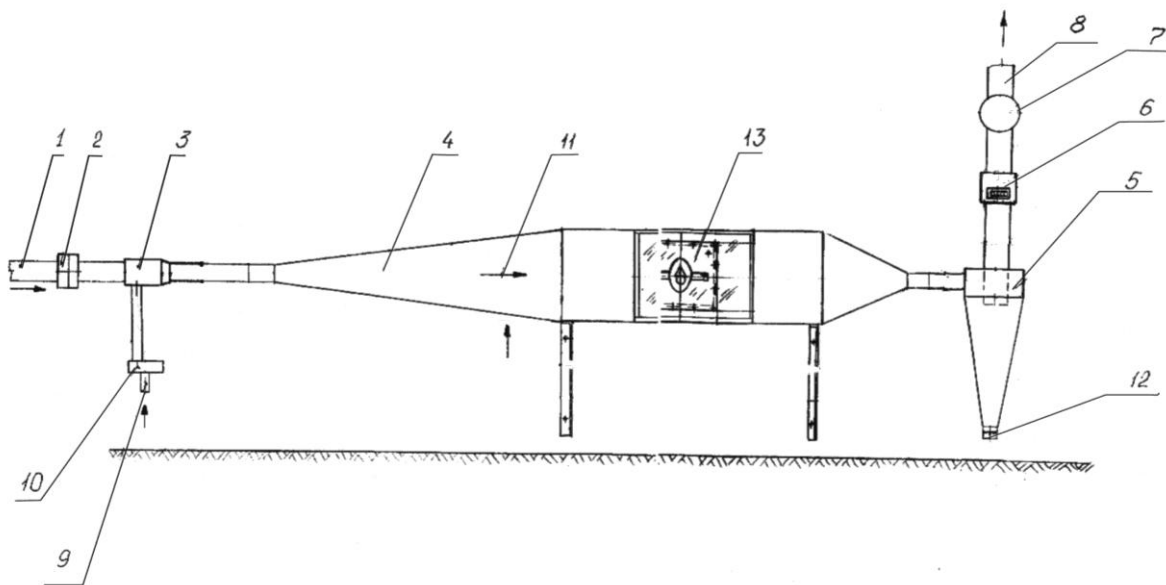
Період випробувань залежить від досягнення:

- клапанними протипиловими фільтрувальними півмасками граничного опору дихання при вдиханні за постійного потоку повітря 95 дм<sup>3</sup>/хв. 4 мбар – для першого класу захисту, 5 мбар – для другого та 7 мбар – для третього або при видиханні 1,8 мбар за постійного потоку повітря 160 дм<sup>3</sup>/хв.;

- безклапанними фільтрувальними півмасками граничного опору дихання при вдиханні за постійного потоку повітря 95 дм<sup>3</sup>/хв. 3 мбар – для першого класу захисту, 4 мбар – для другого та 5 мбар – для третього;

- фільтрами до респіраторів граничного опору дихання за постійного потоку повітря 95 дм<sup>3</sup>/хв. 4 мбар – для першого класу захисту, 5 мбар – для другого та 7 мбар для третього.

Для проведення таких випробувань був розроблений універсальний стенд, що забезпечує приготування та подачу свіжовиготовленого вугільного пилу (рис. 1). Особливий інтерес представляє та його частина, яка забезпечує підготовку вугільного пилу, що вигідно відрізняє стенд від інших установок аналогічного значення, де вдувається заздалегідь приготований порошок. Це дає змогу імітувати реальний процес пилоутворення зі збереженням усього комплексу властивостей, властивих вугільному пилу (розвиненість поверхні, відсутність конгломератів, вологості, електрзарядженості та ін.). У цьому випадку важливе значення набувають режими подрібнення пиломатеріалу і видування частинок аерозолу, при яких буде забезпечена відтворювана подача необхідного дисперсного складу і діапазону концентрацій.



1, 9 – вхідний патрубок від компресора; 2 – фільтр; 3 – ежектор; 4 – конус; 5 – циклон; 6 – редуктор; 7, 13 – заслінка; 8 – вихідний патрубок; 10 – генератор пилу; 11 – розподільувач пилу; 12 – випробувальна камера

Рисунок 1 - Загальний вигляд випробувального стенду:

Випробувальний стенд 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. Для утворення пилового аерозолу в вібраційний генератор пилу 9 подається від 2 до 10 л/хв. чистого повітря залежно від наперед заданої концентрації пилу. Вібраційний генератор пилу являє собою сталевий стакан з впускним і випускним штуцерами, в який завантажуються попередньо роздрібнені куски вугілля загальною масою близько 100 г. В результаті вібрації камери відбувається інтенсивне самоподрібнення цих кусків до пилового стану. Для прискорення подрібнення передбачено завантаження в камеру 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 подається в випробувальну камеру 11 з розміщеним в ній респіратором. Очищене повітря з підмасочного простору ЗІЗОД, в кількості 30 л/хв. відводиться через алонж з фільтром АФА 12, за допомогою вакуум насоса 13. Накопичення пилу на захисному виробі контролюється завдяки зростанню аеродинамічного опору, який визначається за показаннями мікроманометра 10. Кількість пилу, що не затримався в ЗІЗОД, тобто потрапив у легені людини, визначається за допомогою фільтрів АФА.

#### **Методика проведення випробування ЗІЗОД**

Перед випробуваннями визначаємо початкову масу аналітичних фільтрів АФА і фільтрувальних елементів респілятора. Засипаємо в бункер генератору підготовлений пил, включаємо пиловий генератор і виходимо на робочий ре-

жим. Визначаємо вихідну концентрацію пилу у випробувальній камері. Для цього встановлюємо в алонж, аналітичний фільтр. Включають аспіратор та встановлюємо витрату повітря  $2 \text{ дм}^3/\text{хв.}$  та секундомір для визначення часу запилення (час запилення  $1 \text{ хв.}$ ).

Концентрацію пилу  $C$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , визначаємо за формулою

$$C = \frac{m_1 - m_2}{Vt} 1000,$$

де  $m_1$  – маса запиленого аналітичного фільтру,  $\text{мг}$ ;  $m_2$  – вихідна маса аналітичного фільтру,  $\text{мг}$ ;  $V$  – витрата повітря через фільтр,  $\text{дм}^3/\text{хв.}$ ;  $t$  – час запилення фільтра,  $\text{хв.}$

Встановлюємо на спеціальний муляж півмаску з фільтрувальними елементами або фільтрувальну півмаску, а також аналітичні фільтри після півмаски. Приєднуємо аспіратор і приводимо його в дію на визначений період випробувань, витрату повітря встановлюють  $95 \text{ дм}^3/\text{хв.}$  За допомогою мікроманометра через однакові проміжки часу контролюємо приріст опору дихання.

Опір диханню респіратора або фільтра визначаємо за формулою

$$R = (n_i - n_0)K_1,$$

де  $q_i$  – відлік опору за мікроманометром,  $\text{мм. вод. ст.}$ ;  $q_0$  – власний опір мікроманометра  $\text{мм. вод. ст.}$ ;  $K_1$  – поправковий коефіцієнт на температуру і атмосферний тиск.

Після досягнення критичного опору дихання, випробування респіратора припиняють за допомогою вимкнення аспіратора і пилового генератора. Запилений фільтр респіратора або фільтрувальну півмаску та аналітичний фільтр, який знаходився після респіратора зважують на вагах для визначення маси накопиченого пилу. Виходячи з різниці між запиленим і чистим фільтрами АФА коефіцієнт проникнення:

$$K_p = \frac{M_1 - M_\phi}{(M_1 - M_\phi) + (M_2 - M_p)},$$

де  $M_1$  – маса запиленого фільтра АФА,  $\text{г}$ ;  $M_2$  – маса запилених фільтрів респіратора,  $\text{г}$ ;  $M_\phi$  – маса фільтра АФА,  $\text{г}$ ;  $M_p$  – маса фільтрів респіратора,  $\text{г}$ .

Результати досліджень заносять до спеціального журналу.

**Результати дослідження режимів роботи установки**. Для випробувань протипилових респіраторів або вимірювальних приладів, призначених для експлуатації у вугільних шахтах, необхідний щоб вугільний аерозоль, який би максимально наближався до дисперсного складу і концентрації пилу у вугільних шахтах. Зважаючи на велике розмаїття пилу, що зустрічається у вугільних шахтах, повторити всі можливі види розподілу дисперсного складу на установці важко, тому ставилося завдання отримати типовий для основних технологічних

процесів аерозоль. Згідно з узагальненими експериментальними даними Мак-НДІ про дисперсний склад зваженого пилу в гірничих виробках шахт Донбасу при веденні очисних і підготовчих робіт слід орієнтуватися на аерозоль, параметри якого представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Середній процентний вміст маси окремих фракцій зваженого пилу в очисних і підготовчих виробках

Розмір частинок, мкм	менше 5	5 - 10	10 - 30	більше 30	Середній медіанний розмір, мкм
<i>Очисні вибої</i>					
Масова частка частинок, %	9	13	46	32	22
<i>Підготовчі забої</i>					
Масова частка частинок, %	3	5	29	63	38

Проби для аналізу дисперсного складу відбиралися з пилу, що осів на фільтрі випробуваного респіратору і аналізувалися на установці "Коултер". Вибіркові результати аналізу дисперсного складу пилу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Дисперсний склад пилу, отриманий на установці

Розмір частинок, мкм		менше 5	5 - 10	10 - 30	більше 30	Середній медіанний розмір, мкм
Масова частка частинок в пробі при різних швидкостях повітряного потоку, %	№1	9	12	49	30	21
	№2	8	11	48	33	22
	№3	4	8	45	41	27
	№4	3	5	30	62	36

Для отримання аналогічного або близького до нього розподілу дисперсного складу пилу на запропонованій установці було обрано 4 режими роботи генератору пилу, що відрізнялися витратою повітря, яке подається у випробувальну камеру. Номер режиму відповідав об'ємній витраті в  $\text{дм}^3/\text{хв}$ . При цьому, створювана концентрація пилу в камері залежить від об'ємної витрати повітря і змінювалась, від  $350 \text{ мг}/\text{м}^3$  при об'ємній витраті  $60 \text{ дм}^3/\text{хв}$ . до  $1600 \text{ мг}/\text{м}^3$  - при витраті  $300 \text{ дм}^3/\text{хв}$ . Менші значення концентрації пилу можна було отримати збільшенням подачі чистого повітря.

**Обговорення результатів.** Аналіз розподілу дисперсного складу отриманої пилу за даними табл. 2 показує, що при витраті повітря  $300 \text{ дм}^3/\text{хв}$ . він співпадає з розподілом в очисних і підготовчих вибоях. При похибка склала не більше 10 % в межах кожної фракції. Підтримання постійного дисперсного складу за-

безпечується відповідною кількістю пилоутворюючого матеріалу в розміщеного в генераторі, що забезпечує стабільність концентрації випробувального аерозолю протягом трьох годин роботи установки, що є хорошим показником відтворюваності, так як тривалість одиничного випробування зазвичай не перевищує десяти хвилин, а серія дослідів включає, як правило, 5 дослідів в різних точках діапазону концентрацій.

### Висновки.

1. Розроблений стенд для визначення захисної ефективності ЗІЗОД за тест-аерозолем вугільний пил, який відповідає вимогам ДСТУ EN 143-2002 та ДСТУ EN 149-2003.

2. Запропонована методика проведення випробування ЗІЗОД з ви значенням коефіцієнту проникнення респіраторів та опру дихання і пило місткості фільтрів.

3. Досліджено декілька режимів роботи стенду з метою визначення максимально близького розподілу пилових частинок у випробувальній камері до їх розподілу в очисних і підготовчих вибоях. Встановлена маса пило утворюючого матеріалу в генераторі пилу та витрата повітря для забезпечення стабільних показників на протязі всього часу випробувань.

---

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голінько, В.І. Застосування респіраторів на вугільних і гірничорудних підприємствах : Монографія / В.І.Голінько, С.І.Чеберячко, Ю.І. Чеберячко. – Д.:НГУ, 2008.– 99 с.
2. Влияние ПАВ на дисперсность кварцевой пыли при взрывном разрушении углепородного массива / В.И.Голинько, Д.В.Савельев, Я.Я.Лебедев [и др.] // Розробка родовищ: щорічний науково-технічний збірник. - Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. -Сс.431-435.
3. Campbell, D.L. Respiratory Protection as a Function of Respirator Fitting Characteristics and Fit-Test Accuracy / D.L. Campbell, C.C. Coffey, S.W. Lenhart // *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2001. - Vol.62, no.1-2. - pp. 36- 44.
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.25–30.
5. Каминский, С.Л. Основы рациональной защиты органов дыхания на производстве: Учебное пособие/ С.Л. Каминский– СПб.: Проспект науки, 2007.– 208 с.
6. Evaluation of Exhalation Valves /Yu-Mei Kuo, Chane-Yu Lai, Chin-Chine Chene Bo-Hong Lu, Sheng-Hsiu Huang, Chun-Wan Chen // *British Occupational Hygiene Society*, 2005.– Vol.49. -№7 – pp. 563-568.

---

### REFERENCES

1. Holinko, V.I., Cheberiyachko, S.I. and Cheberiyachko, Yu.I. (2008) *Zastosuvannya respyratoriv na vugilnykh ta girnychorudnykh pidpryemstvakh* [Use of respirators at coal and ore mining and processing enterprises], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Holinko, V.I., Savelev, D.V., Lebedev, Ya.Ya., Ishchenko, K.S. and Kratkovsky, I.L. (2014), “Influence of surfactants on the dispersion silica dust in explosive destruction of the surrounding coal-array”, *Rozrobka rodovyishch -2014: shchorichnyy naukovo-tekhnichnyi zbirnyik*, pp. 431-435.
3. 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.
4. Kirillov, V.F., Bunchev, A.A. and Chirkin, A.V. (2013), “About respiratory protective devices for workers (literature review)”, *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, no.4, pp.25-31.
5. Kaminskiy, S.L. (2007), *Osnovy ratsionalnoy zashchity organov dykhaniya na proizvodstve* [Bases of efficient protection of respiratory organs at factories], Prospect Nauki, St.Peterburg, Russia.

6. Yu-Mei Kuo, Chane-Yu Lai, Chin-Chine Chene Bo-Hong Lu, Sheng-Hsiu Huang and Chun-Wan Chen (2005), "Evaluation of Exhalation Valves", *British Occupational Hygiene Society*, vol.49, no.7, pp. 563-568.

---

#### Про авторів

**Наумов Микола Миколайович**, кандидат технічних наук, асистент кафедри Аерології та охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, [mpw-07@mail.ru](mailto:mpw-07@mail.ru).

**Столбченко Олена Володимирівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, [elena\\_aot@ukr.net](mailto:elena_aot@ukr.net).

#### About the author

**Naumov Mykola Mykolayovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Assistant of Department Aerology and Protection Of Labour, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, [mpw-07@mail.ru](mailto:mpw-07@mail.ru).

**Stolbchenko Olena Volodymyrivna**, 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, [elena\\_aot@ukr.net](mailto:elena_aot@ukr.net).

---

**Аннотация.** Фракции пыли имеют высокую скорость оседания в воздухе, и в значительном количестве присутствуют только непосредственно у источников пылеобразования. Поэтому дисперсный состав промышленной пыли, т.е. размер частиц можно считать изменяющимся в диапазоне от 2 до 60 мкм. Именно этот диапазон следует принимать во внимание при испытаниях средств индивидуальной защиты органов дыхания рабочих, предназначенных, в частности, для горнорудных предприятий и угольных шахт.

Разработан специальный стенд для испытаний средств пылезащиты, который с одной стороны учитывает особенности рудничной атмосферы, а с другой соответствует требованиям европейских стандартов.

Исследовано несколько режимов работы стенда с целью определения максимально близкого распределения пылевых частиц в испытательной камере до их распределения в очистных и подготовительных забоях. Установлена масса пыле образующего материала в генераторе пыли и расход воздуха для обеспечения стабильных показателей на протяжении всего времени испытаний.

**Ключевые слова:** противопылевой респиратор, запыленность, дисперсный состав пыли.

**Abstract.** Dust fractions have a high sedimentation rate in the air, so dust is mainly accumulated near the source of dust. Therefore, particulate composition of industrial dust, that is particle size, can be regarded as changing within the range from 2 microns to 60 microns. This range should be taken into account when testing personal respiratory protective equipment designed, in particular, for workers of mining companies and coal mines.

A special stand has been designed for testing dust-proofing means which takes into account specific atmosphere in concrete mine and meets European standards.

Different modes of the stand operation were tested in order to determine maximally true distribution of dust particles in the test chamber prior to their distribution in longwalls and preparatory faces. Weight of dust-forming material in the dust generator and air consumption were determined in order to ensure stable parameters throughout the whole time period of the testing.

**Keywords:** dust respirator, dust contents, particulate composition of dust.

*Статья поступила в редакцию 11.09.2014*

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