

УДК 614.89

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

С.И. Чеберячко¹, Ю.И. Чеберячко², Д.С. Пустовой³

¹доктор технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: sich@yandex.ua

²кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: cheberiyachkoyi@ukr.net

³кандидат технических наук, ассистент кафедры основ конструирования механизмов и машин, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены проблемы защиты работающих от пыли, недостатки фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), их выбора и организации применения. С учётом научно-обоснованной практики применения респираторов в развитых странах сделаны рекомендации по улучшению защиты рабочих с помощью СИЗОД на переходный период улучшения условий труда.

Ключевые слова: респиратор, коэффициент защиты, применимость, шахтёр, профессиональные заболевания.

EFFECTIVENESS OF RESPIRATORY PROTECTION AT MINING ENTERPRISES

Sergiy Cheberyachko¹, Yury Cheberyachko², Dmitry Pustoviy³

^{1,2}Ph.D., Associate Professor, Department of Aerology and Labour Protection, National Mining University, Dnepr, Ukraine

³Ph.D., Machinery Design Fundamental Department, National Mining University, Dnepr, Ukraine

¹e-mail: sich@yandex.ua, ²e-mail: cheberiyachkoyi@ukr.net, ³e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

Abstract. The problems the protection of workers from dust, flaws filter personal respiratory protection (RPE), and the organization of their choice application. Given the evidence-based practice a respirators in the developed countries made recommendations for improving the protection of workers using the RPD for a transitional period to improve working conditions.

Keywords: mask, protection factor, usability, miner, occupational diseases.

Введение. Переработка полезных ископаемых часто приводит к чрезмерному загрязнению воздуха пылью из-за несовершенства технологиче-

ских процессов и недостатков используемого оборудования, средств коллективной и индивидуальной защиты. В таких случаях для предотвращения профзаболеваний рекомендуется: устранять источник воздушных загрязнений; предотвращать или снижать загрязнение воздуха; использовать качественные фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Отметим, что применение респираторов в приоритетности способов защиты занимает последнее место. Это объясняется значительной нестабильностью их показателей, которые могут колебаться в широком диапазоне и у одного рабочего в разные дни; так и у разных рабочих (при сравнении средних значений эффективности каждого рабочего) [1, 2]. Непостоянство этого показателя объясняется тем, что основным путём попадания загрязнений является просачивание вредных веществ через зазоры между полумаской и лицом. При этом их размеры и форма непредсказуемо изменяются во время работы под влиянием многих факторов. Наиболее важными из которых являются: сползание во время работы, неаккуратное одевание, несоответствие лицу по форме и размеру и др. [3].

Цель работы. Оценка эффективности индивидуальных средств защиты органов дыхания, применяющихся на горных предприятиях и разработка рекомендаций по их улучшению.

Постановка задачи. Использование технических средств коллективной защиты (вентиляции; местных отсосов, встроенных в комбайн; воздушных душей; дистанционного управления комбайном; и др.) позволяет снизить запылённость в зоне дыхания до допустимой в большинстве случаев величины [3]. Однако, переход на такие технологии сегодня крайне сложен, так как внедрение новых технологий и эффективных средств коллективной защиты (вентиляция и др.) требуют реконструкции оборудования и горных машин. Поэтому единственный возможный способ уменьшения профессиональных является улучшение эффективности фильтрующих респираторов, путем усовершенствования его конструкции и организационных мероприятий, связанных с адекватным их выбором, обучением, тренировкой и контролем за правильным их использованием во время работы.

Основной материал. Для уменьшения количества вдыхаемой пыли с помощью фильтрующих респираторов необходимо обеспечить:

- высокую очистку вдыхаемого воздуха;
- надежную изоляцию органов дыхания от окружающей среды;
- своевременное и правильное использование респиратора в течении всего времени, когда запылённость превышает граничную концентрацию вредных веществ.

С первой задачей сегодня легко справиться освоенные промышленностью высокоэффективные фильтры. Для их изготовления применяются различные материалы (табл. 1). Установлено, что наиболее важными их характеристиками, которые влияют на защитные свойства фильтров и полумасок, является диаметр волокон и плотность упаковки, а также наличие электростатического заряда [4]. Сочетание этих факторов позволяет изготовить фильтры для любых условий эксплуатации.

Таблица 1 – Типы проверившихся фильтров и свойства одиночного слоя [5]

Фильтрующий материал	Плотность, г/м ²	Толщина мм	Сопротивление при 7.8 см/с, Па	Средний диаметр волокон, мкм	Коэффициент проникания, хлорида натрия при 7.8 см/с
Стекловолокно	60 – 95	0.5–0.7	60–550	1–3	1,5 - 3
полипропилен/акрил, трибозаряженный	150	3.2	8	31	1,0
волокнистая электретенная плёнка FEF	100	2.4	7	22	2,0
Электростатически заряженный полипропиленовый ВМФ	60	0.9	32	8	1,0
Электретенный полипропиленовый	60	0.9	30	1 – 3	0,05

Проведенные исследования показали, что у фильтров без электростатического заряда защитные свойства сравнительно ниже, чем у фильтров с нанесённым на поверхность зарядами. Поэтому механические фильтры (например – стекловолокнистые) обычно делают многоскладчатыми (рис. 1) – чтобы увеличить площадь и улучшить их характеристики. В то же время заряженные фильтры с волокнами большого диаметра, например – трибозаряженные или волокнистая электретенная плёнка – показывают прекрасную эффективность улавливания аэрозоля на начальном этапе работы, но по мере запыления проникание может резко возрастать, а сопротивление практически не изменяется. Это вызвано стеканием заряда с поверхности волокон, поэтому такие фильтры изготавливают многослойными (рис. 2). У полипропиленовых фильтров, которые характеризуются значительно меньшим диаметром волокон, например – ВМФ, коэффициент проникания значительно ниже, чем у фильтра из заряженных волокон большого диаметра [5]. Кроме того, часто их применяют совместно предфильтрами (рис. 3), что значительно повышает срок службы. Отметим, что полипропиленовые

фильтры также могут делать, как гофрированными (рис. 4) для увеличения их срока защитного действия так и многослойными (рис. 5).

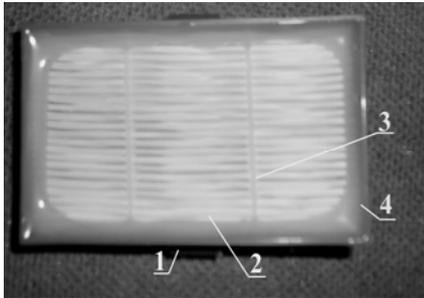


Рис. 1. – Гофрированный фильтр: 1 – корпус; 2 – фильтр; 3 – сепаратор; 4 – силикон



Рис. 2. – Многослойный фильтр

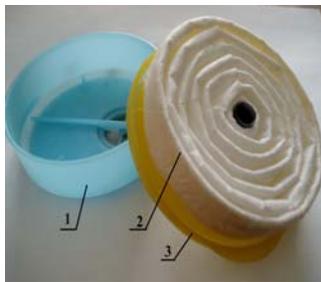


Рис. 3. – Полипропиленовый фильтр: 1 – корпус; 2 – фильтр; 3 - крышка



Рис. 4. – Предварительный фильтр

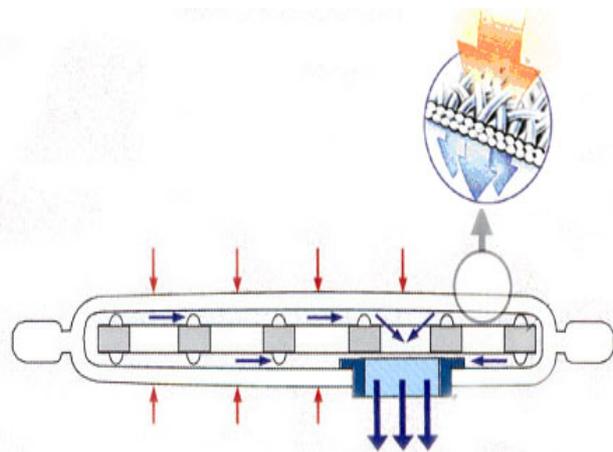
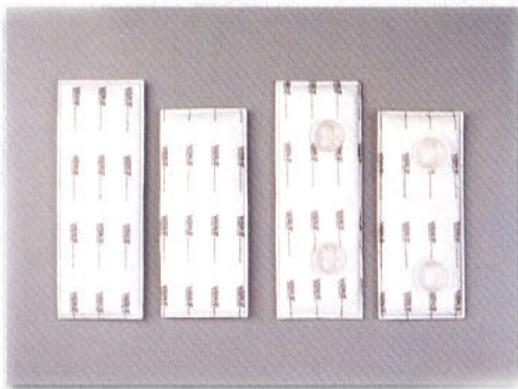


Рис. 5. – Полипропиленовый фильтр

Существуют конструкции фильтрующих респираторов с двумя фильтрами (рис. 6). Однако, они характеризуются ухудшением ряда эргономических требований, таких как, обзор видимости работников, вес респиратора, увеличенным содержанием углекислого газа (табл. 2). Кроме того, возможно снижение изолирующих свойств полумасок, за счет неравномерного распределения усилий по полосе обтюрации через недостатки оголовья

(рис. 7). Более удобными являются полумаски с одним фильтром (рис. 8), но они обладают значительно меньшей пылеемкостью, а при наклонах головы коробка с фильтром может упираться в грудь [6].

Таблица 2 – Характеристики фильтрующих респираторов

Тип респиратора	Сопротивление дыханию Па, при расходе воздуха, 30 л/хв		Ограниче- ние поля зрения, %	Коэффициент защиты
	при вдохе	при выдохе		
Респираторы с двумя фильтрующими коробками				
Picco - 20	95	75	25	FFP 3
Dustfoe - 66	74	73	24	FFP 2
„Клен - П”	30	30	25	FFP 2
РПА - ТД - 2	25	30	25	FFP 2
Респираторы с одной фильтрующей коробкой				
Advantage - 200	60	20	30	FFP 3
Affinity Pro с клапаном	60	70	17	FFP 2
РПА - ТД - 1	55	30	15	FFP 2
„Пульс - М”	45	15	15	FFP 2



Рис. 6. – Фильтрующий респиратор с двумя коробками

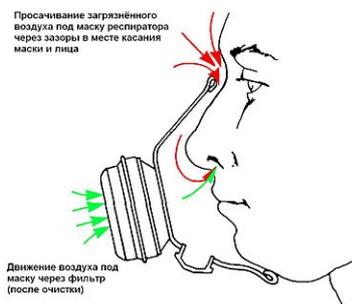


Рис. 7. – Место просачивания загрязненного воздуха



Рис. 8. – Фильтрующий респиратор с одной коробкой

Решение второй задачи достаточно сложное. Десятки исследований эффективности респираторов в производственных условиях при непрерывном и своевременном использовании показали, что она определяется просачиванием неотфильтрованного воздуха через зазоры, а не прониканием через фильтры [7]. Статистическая обработка результатов производственных исследований эффективности СИЗОД разных конструкций (при непрерывном их ношении) позволила установить ограничения области допустимого применения респираторов всех типов (табл. 3) так, чтобы своевременное их использование позволили с высокой вероятностью защитить рабочих.

Таблица 3 – Коэффициенты защиты СИЗОД (без принудительной подачи воздуха под маску) [8]

Тип СИЗОД, страна	Минимальные КЗ, требуемые для лабораторной сертификации	Ограничение области применения, ПДК	
		Прежнее	Новое с 2013 г.
Полнолицевая маска, США	>250 000**	До 100	До 50
Полнолицевая маска, Великобритания	>2000 (по газу) или >1000 (по аэрозолю)	До 900	До 40
Полумаски, США	>25 000**	До 100* (1980 г.)	До 10
Полумаски, Великобритания	>50	До 20	

* ANSI Z88.2-1980. Стандарт позволял использовать полумаски до 100 ПДК, если при индивидуальном подборе для работника лабораторный КЗ был равен или больше 100.

** 42 Code of Federal Register Part 84 Respiratory Protective Devices.

Повышение изолирующих свойств респираторов вынуждает постоянно вести поиск рациональной конструкции полумаски, которая бы учитывала антропометрические особенности лиц, изменение их параметров с возрастом, также обеспечивала равномерное распределение контактных давлений по полосе обтюрации. Для этого производители разрабатывают на основании натуральных исследований точную деформируемую модель головы (рис. 9) и уже на ее основании экспериментируют с новыми формами полумасок (рис. 10) [9].



Рис. 9. – Модель головы для расчета параметров полумасок

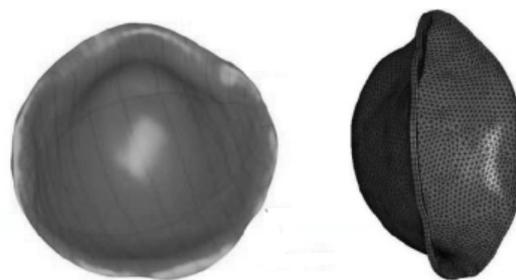


Рис. 10. – Экспериментальные формы полумасок

Особое внимание уделяют конструкции обтюлятора. Ведь именно этот элемент полумаски больше всех отвечает за изоляцию органов дыхания от внешней агрессивной среды. Сегодня существуют различные типы обтюраторов и у них разные достоинства и недостатки [10]. Большинство из них

можно отнести к single-skin respirator seal (обычный, одиночная складка), airbag (надувной обтюратор), reflex (гибкая U-образная складка, обеспечивает две полосы касания) и double-bladed respirator seal (две параллельные складки - две полосы касания маски и лица) (рис. 11).



Рис. 11. – Конструкции обтюраторов: 1 – одиночная складка; 2 – надувной обтюратор; 3 – гибкая двух полосная складка; 4 – трех полосная складка

Каждый обтюратор характеризуется своими достоинствами и недостатками. Односкладчатый обтюратор обеспечивает наихудшую герметизацию, но он простой и недорогой в изготовлении. Надувной обтюратор может подстраиваться под любую форму лица, и обеспечивает тем самым наилучшую изоляцию органов дыхания. Однако, его необходимо изготавливать отдельно от маски, а потом каким то образом их соединять, что значительно увеличивает стоимость. Уплотнитель «*reflex*» требует очень дорогостоящее оборудование, при этом он хуже подстраивается под изменение формы лица. Двойной обтюратор характеризуется высокой герметизацией маски, но его требует тщательной разработки подходящих размеров различных форм лиц. Проведенные исследования показали, что для эффективной изоляции органов дыхания полоса уплотнения маски должна быть шириной не менее 10 мм. Это уменьшает пространство, остающееся для маски, особенно у респираторов маленьких размеров.

В то же время главным сдерживающим фактом по усовершенствованию конструкции обтюратора является наличие одинаковых ограничений области применения для масок с обычным и улучшенным обтюраторами, в сочетании с большей стоимостью последнего, де-мотивируют изготовителей и потребителей изготавливать и применять такие респираторы. Необходимо законодательно стимулировать применение респираторов с таким обтюратором за счёт изменения области допустимого применения.

Для решения третьей задачи необходимо снизить негативное влияние ношения респираторов, которое проявляется в чрезмерном сопротивлении дыханию, недостаточном комфорте, проявлением перегрева кожных покровов лица и др. Одной из не решенных проблем остается накопление тепла и пота под маской происходит из-за непроницаемости оболочки ре-

спиратора, что препятствует теплоотдаче. У некоторых респираторов клапан выдоха находится в нижней точке, что позволяет удалять пот (рис. 13). Однако, это может привести к ухудшению изолирующих свойств респиратора. Пот ухудшает герметичность закрытого клапана, и способствует накоплению загрязнений на поверхности клапанов. Альтернативными способами избавления скопившегося пота является его удаление по специальному каналу, или использование адсорбентов.

Еще одной причиной не использования респираторов является их психологическая нагрузка, которая проявляется в сложно определяемых эффектах: дискомфорт, тревога, различные психосоматические расстройства.

Эти эффекты оказывают достаточно серьёзное влияние на работоспособность, и вызывают у человека необходимость снятия респиратора во время работы, его регулировке для снижения негативных ощущений. Сегодня для повышения комфорта, применяют более мягкие эластомерные материалы (рис. 14), предусматривают возможность индивидуальной подгонки полумаски. Используют яркую цветовую гамму. Важной составляющей является совместимость респираторов с другими средствами защиты (рис. 15). Одним из эффективных способов повышения комфорта является использование больших смотровых стёкол, что снижает ощущение изоляции и клаустрофобии (рис. 16).



Рис. 13. – Респиратор с клапаном выдоха с низу

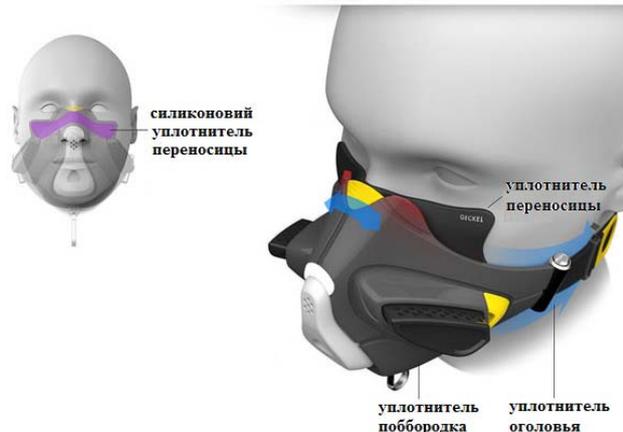


Рис. 14. – Респиратор «Comrad» у которого обтюратор усилен силиконовыми уплотнителями



Рис. 15. – Комплексное защитное средство от шума, пыли и инфракрасного излучения Speedglas 9100 от фирмы 3М



Рис. 16. – Респиратор со смотровым стеклом

Важной причиной неиспользования полумасок – невозможность общаться. Так как используют респираторы в основном для защиты от пыли, можно сделать переговорную мембрану прямо из фильтровального материала – что сделает эластомерную маску похожей на фильтрующую. Разработаны простые акустические переговорные устройства (*voice amplifier SR 324*), и возможно, они позволят общаться без снятия полумаски и в подземных условиях.

Выводы.

1. Только использование качественных респираторов позволит защитить шахтёров от профессиональных заболеваний связанных с пылевой этиологией.

2. Для повышения эффективности защиты работников горных предприятий необходимо усовершенствовать нормативную базу так, чтобы она позволяла оценить потенциальную эффективность разных видов СИЗОД, и стимулировала работодателя выбирать и применять более технически эффективные и приемлемые респираторы.

3. Ввести в практику производственные испытания СИЗОД для определения – насколько эта техническая, конструктивная эффективность может быть достигнута в разнообразных условиях работы с учётом непостоянной носки СИЗОД.

4. Разработать более совершенные конструкции респираторов (например – с фильтром большей площади, надувным обтюратором, переговорными мембранами).

5. Проводить индивидуальный подбор маски с инструментальной проверкой её соответствия лицу.

6. Планирование выполнения работы должно учитывать влияние условий труда на возможность применения респираторов (снижение тяжести выполняемой работы, регулирование температуры воздуха и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов и др. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания работающих. Медицина труда и промышленная экология. 2013. №4. С. 25-31.
2. Боллинджер Н. «Руководство по применению респираторов в промышленности NIOSH» [Электронный ресурс]: сайт Вікіпедії / Засоби індивідуального захисту органів дихання. / Н. Боллинджер, Р. Шюц. – Режим доступу: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/87-116/pdfs/87-116.pdf>.
3. Порівняльні дослідження захисної ефективності фільтрувальних респираторів в лабораторних і виробничих умовах. / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, М.М. Наумов, Ю.І. Чеберячко // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 1. – С. 139-144
4. Чеберячко С.И. Исследование влияния толщины фильтрующего слоя, диаметра волокон и плотности упаковки на основные показатели фильтрующих элементов / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук, Ю.И. Чеберячко // Зб. наук.пр. НГУ. – 2007. – № 29. – С. 224 – 229.
5. Barret Leonard W. Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media / L. W. Barret, A. D. Rousseau // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1998. – № 59. – №(8). – P. 532-539
6. Зингер Ф.К. Работоспособность и некоторые актуальные вопросы повышения эффективности профилактики пневмокониоза в угольной промышленности. / Ф.К. Зингер, Е.С.Сорокин, К.Ш.Мухина // Гигиена и санитария. – 1984. – № 5. – С. 89-91.
7. Distribution of Faceseal Leak Sites on a Half-Mask Respirator and Their Association with Facial Dimensions. / R.K. Oestenstad, H. Kenneth, D.L. Perkins, L.L. Perkins. // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1990. – № 51. – №(5). – P. 285-290
8. Голінько В.І. «Захист без захисту» Рекомендації вчених щодо створення програм респираторного захисту працюючих / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, О.В. Чиркін / Охорона праці. – 2015. - №4. – С.
9. Kovacs L. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. / L.Kovacs, A. Immermann, G. Brockmann // J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg. – 2006. - № 59. – P. 1193-1202
10. The Replacement General Service Respirator: a technology demonstration programme to evaluate candidate technologies. / Wetherell A, Brown J, Dennis M, Mathers G, Nightingale J, Rowbotham A, Slater A, Thompson D, Weir J, Williams G. // Report Dstl/TR/02269. – London. – 2001. – 126 p.