

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРОТИВОПЫЛЕВЫХ РЕСПИРАТОРОВ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ю.И. Чеберячко, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина

В статье приведены рекомендации по выбору средств индивидуальной защиты органов дыхания на угольных предприятиях с учетом конструктивных особенностей респираторов, защитной эффективности, состава и количественного содержания вредных веществ в окружающей среде, срока защитного действия, режима труда, климатических условий, которые соответствуют ДНАОП 0.00-1.04-07 «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання».

Наиболее распространенным неблагоприятным фактором внешней среды в горной промышленности является пыль. Воздействие пыли на организм работающих может привести к развитию пневмокониозов и пылевых бронхитов. Одним из действенных средств защиты органов дыхания сегодня является противопылевой респиратор. В этой связи допущенные ошибки при его выборе существенно снижают общий защитный эффект. С другой стороны свой отпечаток накладывают сложные метеорологические условия и тяжесть выполняемых работ, а если при этом учесть, что неправильно подобранный тип средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) приводит к неоправданному перенапряжению функциональных систем организма человека, то в результате – резкое снижение трудоспособности. Поэтому регламентации применения респираторов необходимо уделять особое внимание, с тем, чтобы минимизировать их влияние на жизнедеятельность человека и максимально защитить его от воздействия вредных веществ.

С целью обоснования подбора необходимого типа защитного средства для конкретных условий труда с учетом обеспечения максимально возможной работоспособности человека, необходимо учитывать конструктивные особенности респираторов, защитную эффективность, состав и количественное содержание вредных веществ в окружающей среде, срок защитного действия, режим труда, климатические условия. Оценим каждый из факторов, характеризующий СИЗОД и влияющий на его качественные характеристики.

Конструктивные особенности. СИЗОД делятся на одноразовые и многоразовые. Одноразовые – применяются из расчета, что их срок действия будет равняться одной рабочей смене, приблизительно при концентрации вредных веществ не более 50 мг/м^3 . В случае невыполнения этого условия необходимо использовать многоразовые.

Защитная эффективность респиратора. Оценивается коэффициентом защиты K_z . Все фильтрующие СИЗОД делятся на три группы с разной эффективностью защиты: низкая ($K_z < 10$), средняя ($K_z = 10 \dots 100$), высокая ($K_z > 100$). В Европейских стандартах низкая степень защиты обозначается цифрой 1, средняя – 2 и высокая – 3 [1].

Для определения коэффициента защиты K_z , обычно экспериментально определяют коэффициент проникания K_n , выражающий отношение концентрации вредного вещества в подмачочном пространстве СИЗОД к концентрации этого вещества в окружающей среде [1]

$$K_z = 100 / K_n \quad (1)$$

В табл. 1. приведены коэффициент проникания, определенный по стандартному тест-аэрозолю масляного тумана с диаметром частичек $0,28 - 0,32 \text{ мкм}$ и коэффициент защиты для наиболее распространенных отечественных образцов СИЗОД. Как видим из табл. 1 наилучшей степенью защиты среди многоразовых респираторов обладает Пульс и РПА-ТД.

Характеристики пропивопылевых респираторов

Марка респиратора	Перепад давления при расходе воздуха 30 л/мин, Па		Коэффициент проникания по тест-аэрозолю масляный туман, K_n , %
	вдох	выдох	
РПА-ТД-1	55	30	0,5 - 2
РПА-ТД-2	25	30	0,5 - 2,5
Пульс-К	55	15	0,5 - 2
Пульс-М	25	15	0,5 - 2,5
Клен-П	30	30	0,5 - 3,5

Важным показателем СИЗОД является перепад давления, который определяется сопротивлением воздушному потоку фильтров. В качестве физиологической характеристики сопротивление дыханию представляет собой величину, которая связана с одной стороны с объемом легочной вентиляции, структурой дыхательного цикла, тяжестью выполняемой работы, а с другой стороны на нее оказывает влияние состояние окружающей среды, конструктивные особенности респираторов. Однако при фиксированных параметрах внешнего дыхания человека и окружающей среды перепад давления зависит только от свойств фильтрующего материала [1]

$$\Delta p = \frac{4v\mu\beta H}{r^2(-\lambda - 0,5 \ln \beta)}, \quad (2)$$

где v – линейная скорость течения газа, м/с; β – плотность упаковки волокон; H – толщина фильтрующего слоя, м; r – радиус волокон, м; μ – динамическая вязкость газа, Н·с/м²; λ – поправочный коэффициент, зависящий от типа фильтрующего материала.

Связь между перепадом давления и коэффициентом проникания тест-аэрозоля можно представить в виде [1]

$$K_n = \exp(-\alpha[\Delta p]) \quad (3)$$

где Δp – перепад давления на СИЗОД, Па; α – коэффициент фильтрации,

$$\alpha = \frac{2r\eta_\Sigma}{4\pi(-\lambda - 0,5 \ln \beta)v\mu},$$

где; η_Σ – суммарный коэффициент захвата частиц, обусловленный всеми механизмами фильтрации (электростатическим, инерционным, зацепления, диффузионным)

Анализируя выражение (3) приходим к выводу, что увеличение защитной эффективности можно достичь путем увеличения толщины фильтрующего слоя и плотности упаковки, а также за счет уменьшения диаметра волокон. В свою очередь это приведет к росту перепада давления на СИЗОД (рис. 1) и нагрузки на органы дыхания человека. СИЗОД высокого класса защиты нецелесообразно использовать при работах с нетоксичными веществами, поскольку производственные операции, выполняемые в противопылевых и универсальных респираторах, имеющих сопротивление 40 – 60 Па, следует относить к категориям по тяжести на один разряд выше по сравнению с такими же работами, не требующими применения респираторов [1].

С другой стороны увеличение перепада давления не всегда приводит к повышению защитных свойств респиратора. В некоторых случаях из-за несовершенной конструкции обтюлятора повышение сопротивления фильтрующих элементов приводит к увеличению подсоса неочищенного воздуха в подмасочное пространство. В работе [2] была получена зависимость защитной эффективности респиратора от защитной эффективности фильтров обусловленная величиной их сопротивления дыханию

$$K_n^p = 10^{-\alpha(R_{\phi,e}S)} + 0,8 \frac{\rho d^2}{18\eta} \sqrt{\frac{4\pi v^3}{Q_1 - \frac{\Delta p}{R_{\phi,e}}}},$$

где $R_{ф.е.}$ – сопротивление фильтра, Н·с/м⁵; S – площадь фильтра, м²; ρ – плотность частичек аэрозоля, кг/м³; d – диаметр частички аэрозоля, м; η – кинематическая вязкость воздуха, м²/с; Q – расход воздуха через респиратор, м³/ч; v – скорость движения частички, м/с.

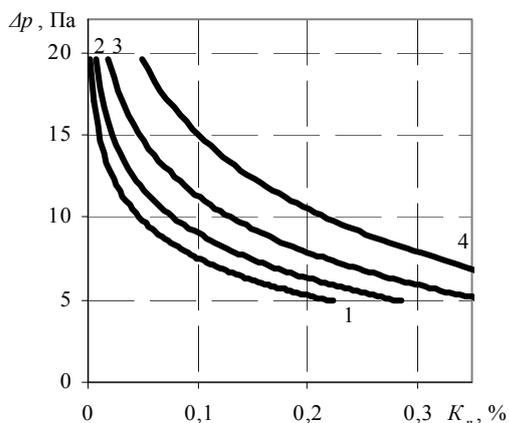


Рис. 1. Зависимость коэффициента проникания от перепада давления на СИЗОД при различных диаметрах волокна фильтрующего материала: 1 – 1,5 мкм; 2 – 2 мкм; 3 – 2,5 мкм; 4 – 3 мкм

приводит к снижению работоспособности человека.

В значительной мере коэффициент защиты респиратора и его сопротивление зависит от характеристик применяемого фильтрующего материала, из которого изготавливается один из основных элементов СИЗОД – сменный противопылевой фильтр. Наибольшее распространение получили ФПП, элефлен. В табл. 2 приведены основные характеристики фильтров [2].

Казалось бы, применение элефлена, который имеет сравнительно высокий коэффициент проникания, должно быть менее эффективно, чем тканей ФПП. Однако из-за небольшого сопротивления фильтра из элефлена защитная эффективность респиратора в целом выше, чем у СИЗОД с высокоэффективными фильтрами из ФПП 15-1,5 (табл. 2), что подтверждает предположение о перераспределении воздушных потоков в респираторе при увеличении сопротивления фильтра.

Выбор СИЗОД невозможно произвести без знания *состава и количественного содержания вредных веществ в окружающей среде*. Например, концентрация угольной пыли в зоне дыхания рабочего составит 300 мг/м³, ПДК для угольной пыли при содержании в ней SiO₂ до 10 % составляет 4 мг/м³. Следовательно, рабочему необходимо использовать СИЗОД с коэффициентом защиты не менее 75 (300/4 = 75). В табл. 3 приведены марки СИЗОД рекомендуемые к применению на угольных предприятиях в зависимости от состава и количественного содержания в воздухе вредных веществ [3].

Срок защитного действия. В условиях большой запыленности, которыми характеризуются угольные предприятия, этот показатель является одним из основных. Время эксплуатации респираторов определяется временем достижения конечного сопротивления, которое составляет согласно ГОСТ 12.4.041-89 – 100 Па, при заданном расходе воздуха через СИЗОД 30 л/мин.

В результате многочисленных экспериментальных исследований связанных с изучением механизмов осаждения частичек пыли на волокнах фильтрующих материалов было получено эмпирическое выражение для определения времени эксплуатации респиратора [4].

Существует некий оптимум, при котором обеспечивается наибольшая защитная эффективность СИЗОД (рис. 2). При этом, дальнейшее увеличение защитных свойств фильтров приводит к ухудшению защитной эффективности респиратора. Это объясняется тем, что из-за роста сопротивления воздушному потоку фильтра (неизбежно при увеличении качества его фильтрации), происходит перераспределение воздушных потоков и увеличивается подсос загрязненного воздуха через неплотности полосы обтюрации.

Сопротивление дыханию, также воздействуя на физиологическое состояние человека, и при достижении определенной величины вызывает функциональные сдвиги в дыхательной системе (удлинение фазы вдоха, увеличения объема вдоха, внутриальвеолярного давления, уменьшения частоты дыхания)

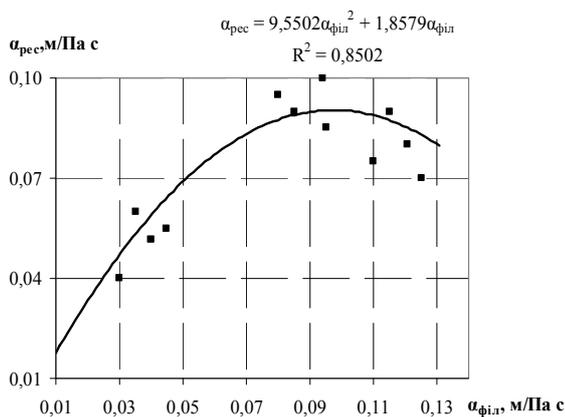


Рис. 2. Зависимость коэффициента фильтрующего действия респиратора от коэффициента фильтрующего действия фильтра

$$t = \frac{(F(\Delta p) - F_B^2) d \rho_n \varphi F_0}{4 F_B Q C}, \quad (4)$$

где $F(\Delta p) = \{ [\frac{6(100 - \Delta p_0) \pi^2 L}{k_n \rho_n \varphi F_0}] + F_B^3 \}^{2/3}$,

Δp_0 – начальный перепад давления на фильтре, Па; k_n – коэффициент пропорциональности, который зависит от скорости фильтрации, $\text{м}^4/\text{с}^2$

(5 – 8); L – общая длина волокон; F_0 – общая площадь фильтра, м^2 ; $F_B = \frac{2\beta H}{a}$ – суммарная поверхность волокон фильтра; Π – масса осевших частичек пыли на фильтре, кг; ρ_n – насыпная плотность частичек пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$; φ – коэффициент неравномерности распределения пыли по площади фильтра (1,3 – 1,5).

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний фильтров респиратора РПА-ТД

Испытуемые изделия	Перепад давления при расходе воздуха 30 л/мин, ΔP , Па	Коэффициент проникания по МТ, при расходе воздуха 30 л/мин, K_n , %	Коэффициент проникания микрошлифпорошка М-5, K_n , %
Фильтры из элефлен	54,5±2,7	0,05±0,005	0,005±0,005
Фильтры из ФПП15-1,5	73,4±3,5	0,01±0,005	0,0001±0,005
Фильтры из ФПП15-0,6	61,3 ± 2,0	0,3±0,03	0,01±0,005
Респиратор РПА-ТД с фильтрами из ФПП15-1,5	39±3,2	1,2±0,02	-
Респиратор РПА-ТД с фильтрами элефлен	25±2,4	0,9±0,05	-

Таблица 3

Рекомендации по выбору СИЗОД в зависимости от условий труда

Рекомендуемые марки СИЗОД при превышении ПДК		
до 10 раз	от 10 до 100 раз	более 100 раз
Фильтрующие полумаски Лепесток-5, Росток-3, У-2К.	Фильтрующие полумаски: Лепесток-40, Росток-2, Снежок-П, Снежок-Ф. Патронные респираторы с резиновыми полумасками: РПА-ТД, Пульс, Клен-П.	

Используя формулу (4) было рассчитано время эксплуатации фильтров к респиратору РПА-ТД при достижении критического сопротивления в 100 Па (табл. 4). В случае если фильтры будут использоваться больше указанного времени – это приведет к резкому ухудшению защитной эффективности за счет появления подсосов по полосе обтюрации.

Таблица 4

Рекомендуемое время эксплуатации фильтров к респиратору РПА-ТД

Концентрация пыли $\text{мг}/\text{м}^3$	Время эксплуатации фильтров, соответственно расходу воздуха					
	30 л/мин	95 л/мин	30 л/мин	95 л/мин	30 л/мин	95 л/мин

	из ФПП 15-1,5		из элефлена		из мелтблоуна	
50	27,8	16,7	38,9	23,3	34,4	20,7
100	13,9	8,3	19,4	11,7	17,2	10,3
200	6,9	4,2	9,7	5,8	8,6	5,2

Характер выполняемых работ. При работах требующих большого напряжения и сопровождающихся значительными объемами легочной вентиляции некоторые конструкции СИЗОД могут оказаться непригодными из-за резкого роста сопротивления дыханию. К примеру, пиковые объемы легочной вентиляции при тяжелой и очень тяжелой интенсивности работы составляют соответственно 200 и 250 л/мин, при этом начальное сопротивление дыханию респиратора по ГОСТ 12.4.041-89 определяется при расходе 30 л/мин, что не отражает реальной картины энергозатрат организма.

На рис. 3 приведены значения сопротивления дыханию для респираторов с двумя фильтрующими коробками (РПА-ТД, Пульс, Астра-2) с фильтрами изготовленных из „ФПП15 – 1,5” и элефлена при различных расходах воздуха.

Метеорологические условия. Условия на рабочих местах существенно отличаются от стандартных ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\phi = 50\%$; $P = 101,1\text{ кПа}$) при которых проводят оценку качества респираторов согласно ГОСТ 12.4.041-89. В горных выработках температура воздуха от 26 до 31 $^{\circ}\text{C}$, влажность 90 – 100 % и высокое атмосферное давление.

Проведенные исследования (рис. 4 и 5) показывают, что повышение температуры и относительной влажности воздуха приводит к увеличению перепада давления. Это объясняется тем, что сопротивление дыханию прямо пропорционально зависит от вязкости газа, которая меняется под действием температуры. Кроме того, влажный воздух, проходя сквозь фильтрующий материал, образует на поверхности волокон тонкую пленку, которая со временем лопаается и в местах контакта скрещенных волокон появляются капли. Они постепенно перекрывают поры фильтра, в результате чего возрастает сопротивление дыханию СИЗОД.

Дополнительный прирост к перепада давления на СИЗОД через повышенную температуру и влажность воздуха можно учесть

$$\Delta p = k_1 k_2 R_1 Q_1,$$

где k_1 – дополнительный перепад давления вызван увеличением температуры; k_2 – дополнительный перепад давления вызван увеличением относительной влажности воздуха (определяются экспериментально для каждого типа фильтрующего респиратора) (табл. 5, 6).

Таким образом, при выборе респиратора необходимо учитывать целый ряд факторов, а не только его эффективность фильтрации и соответственный класс защиты. Если не принимать во внимание режим труда, климатические условия – это может очень сильно снизить защитные свойства даже высококачественного СИЗОД.

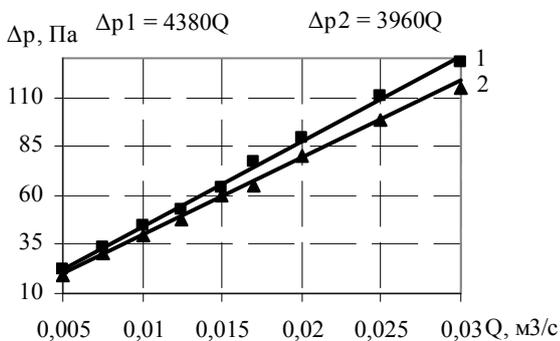


Рис. 3. Зависимость перепада давления на фильтрах респиратора (1) и респираторе РПА-ТД (2) от расхода воздуха

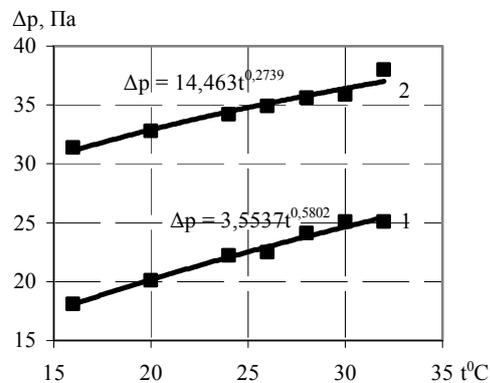


Рис. 4. Кривые зависимости перепада давления СИЗОД от температуры окружающей среды: 1 – фильтры из элефлена; 2 – фильтры из ФПП 15 – 1,5

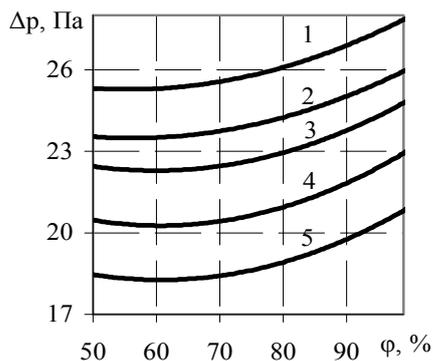


Рис. 5. Кривые зависимости перепада давки респираторов от влажности воздуха, который проходит сквозь фильтр при разной температуре окружающей среды, 0С: 1 – 30; 2 – 26; 3 – 24; 4 – 20; 5 – 16

Таблица 5
Величина поправочного коэффициента на температуру

Температура 0С	+16	+20	+24	+28	+30
коэффициент k ₁	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2

Таблица 6

Величина поправочного коэффициента на влажность воздуха

Относительная влажность воздуха, φ %	Температура воздушного потока, 0С				
	16	20	24	26	30
70	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
80	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
90	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
100	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4

Как видим из приведенных исследований, очень важно не превысить рекомендуемого времени эксплуатации фильтров, поскольку грязный фильтр характеризуется повышенным сопротивлением дыханию, увеличение которого приводит к появлению подсосов по полосе обтюрации. Кроме того, необходимо учитывать, что каждому типу респиратора соответствует свой тип фильтра, иначе можно ухудшить показатели последних. Особое внимание необходимо обращать на то чтобы полумаска плотно прилегала к лицу, чтобы она соответствовала типоразмеру; чтобы конструкция респиратора, обеспечивала минимальную „мертвую зону” в подмасочном пространстве и максимальную обзорность при выполнении работы.

Список литературы

1. Басманов П.И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Справочное руководство. / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейникова, М.Е. Трубицына / – СПб.: ГИПП «Искусство России», - 2002. – 399 с.
2. Голінько В.І Застосування респіраторів на вугільних і гірничорудних підприємствах / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко // Монографія . – Д.: НГУ. – 2008. – 99 с.
3. Каминский С.Л. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Выбор, применение, режим труда. Методические рекомендации. / С.Л. Каминский, А.В. Коробейникова / – СПб.: «Крисмас+», - 1999. – 96 с.
4. Чеберячко Ю.І. Оцінка впливу дисперсного складу пилу на захисну ефективність протипилових респіраторів / Чеберячко Ю.І. // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 8. – С. 72-74.