ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(11):126-139
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.85, 622.88 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_126

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОЛУМАСКИ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

К.А. Кольвах[1], А.В. Корнев[1], Ю.С. Олефиренко[1], С.В. Астахов[2], И.В. Курчин[3]

[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru
[2] ООО «Респираторный комплекс», Ленинградская область, гп им. Морозова, Россия
[3] ООО «Мониторинг», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: При добыче угля подземным способом одним из основных производственных факторов, оказывающих негативное воздействие на подземный персонал, является мелкодисперсная пыль. Для снижения негативного воздействия и предотвращения развития профессиональных заболеваний работники угольных шахт обеспечиваются средствами индивидуальной защиты органов дыхания. Выделяют фильтрующие полумаски трех классов защиты с различной эффективностью, обеспечивающие защиту работников от пыли. Однако при использовании фильтрующая полумаска создает сопротивление дыханию, в подмасочном пространстве скапливается влага и возникает дискомфорт при носке. Причинами дискомфорта при использовании фильтрующих полумасок является высокая плотность материалов и их низкая проницаемость. Кроме того, ряд фильтрующих полумасок не имеют клапана выдоха, что способствует повышению температуры вдыхаемого воздуха. Основной задачей исследования являлась разработка и изготовление фильтрующей полумаски, обеспечивающей высокую степень защиты органов дыхания пользователя, а также не вызывающей дыхательного дискомфорта. Кроме того, предполагалось изготовление респиратора из фильтрующих материалов, не вызывающих дискомфорт при контакте с кожей. В рамках проведенных испытаний определялись защитные свойства разработанной фильтрующей полумаски на сертифицированном оборудовании. Были проведены тесты на проницаемость материалов, сопротивление дыханию, запыленность. При разработке полумаски использовались гипоаллергенные материалы, маска оснащалась клапаном выдоха. Полученные результаты, в частности, начальное сопротивление воздушному потоку полумаски (до запыления/после запыления) 46 и 159/677 Па на вдохе при расходе воздуха 30 и 95 дм^3/мин соответственно, 132/250 Па на выдохе при расходе воздуха 160 дм^3/мин, проницаемость по отношению к парам хлорида натрия и парафинового масла – 0,79/0,77%, подтвердили соответствие разработанной фильтрующей полумаски наиболее высокому классу защиты FFP3. Наряду с высокой степенью защиты и эргономичностью наименьшая масса фильтрующей полумаски (7,5 г) среди аналогов позволит работникам использовать ее в течение всей смены.

Ключевые слова: фильтрующая полумаска, респиратор, респирабельная пыль, угольные шахты, подземные горные работы, сопротивление дыханию, проницаемость материалов.

Для цитирования: *Кольвах К. А., Корнев А. В., Олефиренко Ю. С., Астахов С. В., Курчин И. В.* Разработка и исследование защитных свойств фильтрующей полумаски высокой степени эффективности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11. – С. 126–139. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_126.

© К.А. Кольвах, А.В. Корнев, Ю.С. Олефиренко, С.В. Астахов, И.В. Курчин. 2025.

Development and analysis of protective properties of highly effective filtering half mask

K.A. Kolvakh[1], A.V. Kornev[1], Y.S. Olefirenko[1], S.V. Astakhov[2], I.V. Kurchin[3]

[1] Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru

[2] Respiratory Complex LLC, Leningrad region, State Enterprise named after Morozov, Russia

[3] Monitoring LLC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: One of unhealthy industrial impacts exerted on personnel in underground coal mining is fine coal dust. To reduce this harmful effect and prevent development of occupational diseases, miners are equipped with respiratory protective devices. These filtering half masks of three classes of safety protect miners from the impact of dust. On the other hand, a filtering half mask creates an obstruction to breathing, or moisture can accumulate under the half mask and cause discomfort in wearing. The other causes of discomfort in wearing filtering half masks are high density and low permeability of materials the masks are made of. Furthermore, some filtering half masks have no an exhalation valve, which promotes an increase in temperature of inhaled air. The main objective of the research was the development and manufacturing of a filtering half mask ensuring high degree of protection of respiratory organs of users without discomfort to breathing. Another objective was to find filtering materials causing no discomfort when in contact with skin. The protective properties of the developed filtering half mask were tested using a certified equipment. The scope of the tests embraced permeability of the test materials, and their obstruction to breathing and prevention of dust. The half mask was manufactured using hypoallergic materials and was equipped with an exhalation valve. The obtained results, in particular, initial obstruction to air flow (before/after dust pollution) of 46 and 159/677 Pa in inhalation at an air flow rate of 30 and 95 dm3/min, respectively, and 132/250 Pa in inhalation at an air flow rate of 160 dm3/min, and permeability in terms of fumes of sodium chloride and paraffin liquid—0.79/0.77%, proved the conformity of the new-developed filtering half mask with the highest protection class FFP3. Alongside the high protection level and ergonomics, the smallest weight of the filtering half mask (7.5 g) amongst all analogs allows users to wear the mask all through the working shift.

Key words: filtering half mask, respirator, respirable dust, coal mines, underground mining, obstruction to breathing, permeability of materials.

For citation: Kolvakh K. A., Kornev A. V., Olefirenko Y. S., Astakhov S. V., Kurchin I. V. Development and analysis of protective properties of highly effective filtering half mask. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(11):126-139. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_126.

Введение

Подземные горные работы сопровождаются проявлением ряда опасных и вредных производственных факторов, воздействие которых на работников приводит к возникновению у них случаев травматизма различной степени тяжести и развитию профессиональных заболеваний [1—3]. Применительно к угольным шахтам одним из наиболее распространенных вредных производственных факторов является воздействие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД), способствующих развитию заболеваний органов дыхания работников [3—5].

Профессиональные заболевания органов дыхания, такие как бронхиты и различные виды пневмокониозов (силикозы, антракозы, карбокониозы и др.), приводят к возникновению воспалительных процессов в легких и нарушению работы органов дыхания.

Заболевания легких возникают при длительном вдыхании респирабельной фракции пыли крупностью до 10 мкм [5—7].

Более 16% горнорабочих, занятых в подземной добыче угля, имеют профессиональные заболевания органов дыхания. Вместе с тем на основе информации Ростехнадзора установлено, что около половины работников от общего числа подземного персонала угольных шахт подвергается воздействию АПФД в процессе трудовой деятельности [5, 8, 9].

Для снижения негативного воздействия АПФД на работников горнодобывающих предприятий, в т.ч. угольных шахт, применяются различные технические мероприятия, позволяющие уменьшить уровень запыленности на участке ведения горных работ.

К таким мероприятиям относятся:

- определение и применение оптимальных параметров и режимов разрушения горного массива взрывным и механизированным способами [10];
- снижение газовыделения из угля при его разрушении [11—13];
- создание водяных и туманообразующих завес, использование ультразвуковых форсунок, устанавливаемых с учетом пылераспределения в горных выработках [14, 15];
- предварительное увлажнение и орошение, с использованием растворов смачивателей [16—18], концентрация которых подбирается исходя из смачиваемости определенной марки угля [19];
- пылесвязывание пенами [20] и специальными составами [21].

Необходимо отметить, что даже с учетом проведения представленных мероприятий концентрация АПФД на участках ведения работ при подземной добыче угля многократно превышает установленные нормативы предельно допустимой концентрации (ПДК) пыли, а значит, сохраняются риски развития пневмокониозов [22, 23]. В этой связи, а также на основании Приказов Министерства труда, работники угольных шахт обеспечиваются фильтрующими полумасками.

Выделяют три класса фильтрующих полумасок различной степени эффективности: низкой, средней и высокой эффективности защиты, маркирующихся, соответственно, FFP1, FFP2 и FFP3 (аббревиатура FFP — это сокращение от словосочетания «Filtering Face Piece», которое переводится на русский язык как «фильтрующая полумаска», последующая цифра указывает на степень защиты — от низкой к высокой), а также защищающих органы дыхания работника при концентрациях пыли до 4, 12 и 50 ПДК [24].

Необходимо отметить, что, как правило, более высокая степень защиты полумаски характеризуется большим сопротивлением дыханию пользователя. В этой связи при высокой интенсивности труда на угольных шахтах в условиях повышенной запыленности работники пренебрегают мерами безопасности и при наступлении дыхательного дискомфорта снимают используемые полумаски. Кроме того, высокая плотность материалов, из которых изготовлена полумаска, и отсутствие клапана выдоха может привести к скоплению влаги и повышению температуры воздуха в подмасочном пространстве, что также будет вызывать дискомфорт и способствовать отказу от использования респиратора. Причинами отказа от применения средств индивидуальной защиты

органов дыхания (СИЗОД) могут стать также наличие дискомфорта, создаваемого креплением, ограничение обзора, сравнительно большая масса полумаски [5, 23, 24].

Влияние на защитные свойства полумаски, проницаемость материалов, а также на наличие сопротивления воздушному потоку напрямую будут оказывать материалы, из которых она изготовлена. Как правило, фильтрующая полумаска включает в себя три слоя:

- внешний;
- фильтрующий;
- гигиенический [5, 24, 25].

Внешний слой служит для очистки воздушного потока, проходящего через фильтрующую полумаску, от крупной пыли размером от 20 — 30 мкм. Фильтрующий слой, выполненный из фильтровального материала, задерживает мелкодисперсную пыль размером до 1 мкм. Выполненный из гипоаллергенного материала гигиенический слой впитывает в себя образующуюся при дыхании влагу. Также полумаска оснащается клапаном выдоха, обеспечивающим отведение избыточного тепла из подмасочного пространства и, как следствие, предотвращение скопления влаги [24, 25].

Исследование защитных свойств рассматриваемых СИЗОД осуществлялось на основе ГОСТ 12.4.294-2015. При проведении испытаний определяются коэффициенты проницаемости материалов и проникания аэрозолей, сопротивление дыханию до и после прохождения исследований на устойчивость к запылению и др.

Кроме того, определяются и эксплуатационные свойства полумаски, включающие:

- комфортность крепления;
- надежность крепления;
- нарушение поля зрения при использовании респиратора [23 — 25].

Коэффициент проникания позволяет учитывать плотность прилегания полумаски, работу клапана вдоха/выдоха, а также проницаемость материалов, из которых изготовлена полумаска. При определении коэффициента проникания исследуется 5 фильтрующих полумасок в состоянии поставки, а также 5 полумасок после температурного воздействия (24 ч при температуре +70 °С, 24 ч — при температуре –30 °С, 4 ч — при комнатной температуре). Отбирается 10 практически здоровых людей без бород и бакенбард, выполняющих пять упражнений продолжительностью 10 мин. При испытаниях фиксируются длина, ширина и глубина лица, а также ширина рта испытуемых. После усреднения полученных результатов по каждому из испытуемых работников коэффициент проникания для класса защиты FFP1 не должен превышать 22%, FFP2 — 8%, FFP3 — 2% [5, 24, 25].

Проницаемость материалов определяется по парам хлорида натрия и парам парафинового масла. Для FFP1, FFP2 и FFP3 соответственно проницаемость материалов не должна превышать 20%, 6% и 1%.

Применительно к горной отрасли важнейшее значение будет иметь начальное сопротивление воздушному потоку, так как при высоком сопротивлении дыханию работники угольных шахт зачастую снимают полумаски, вдыхая запыленный воздух с высоким содержанием респирабельной фракции пыли. Данный показатель определяется на вдохе с расходом воздуха 30 и 95 дм^3/мин, а также на выдохе при расходе 160 дм^3/мин.

Респираторы, которые проходят тест на запыление, маркируются буквой «D» (сокращение от слова «dolomite» (доломит), пыль которого используется для проведения испытаний). Исследование

проводится в пылевой камере с доломитовой пылью крупностью по седиментационному анализу от 1 до 18 мкм, до тех пор, пока произведение концентрации пыли в камере на время испытания не составит 833 мг·ч/м^3.

Для исследования на устойчивость к воспламенению используются две полумаски в состоянии поставки и две полумаски после температурного воздействия. Маска надевается на металлическую голову, совершающую движение по горизонтальному кругу над горелкой. По истечении 5 с после окончания эксперимента респиратор не должен воспламеняться при воздействии пламени либо высоких температур.

В рамках испытаний осуществляется передвижение в течение 10 мин по беговой дорожке со скоростью 6 км/ч, перемещение в помещении высотой 1,3 м и перемещение ползком в помещении высотой 0,7 м в течение 5 мин. Кроме этого, осуществляется насыпание резиновой стружки в емкость высотой 1,5 м.

На основании проведенных исследований фильтрующим полумаскам присваивается класс защиты FFP. Кроме класса защиты важную роль при выборе полумаски играют и ее эргономические свойства. На предприятиях отрасли распространена практика, когда работодатель закупает полумаски различных производителей и путем проведения опроса среди работников определяет, какие маски будет закупать в дальнейшем для обеспечения ими.

На сегодняшний день на предприятиях, ведущих добычу угля подземным способом, наиболее распространены фильтрующие полумаски различных классов защиты таких марок, как «Алина-210» с клапаном, «Respic», «У-2К», «Spirotek» и др. Кроме класса защиты фильтрующей полумаски и сопротивления дыханию важную роль играет и экономическая составляющая, а также, как указывалось выше, мнение работников предприятия.

Вопросы совершенствования конструкций фильтрующих полумасок одноразового и многоразового использования, применяемых для предупреждения пневмокониозов и инфекционных заболеваний, являются актуальными во всем мире. Во многих странах проводятся исследования влияния антропометрических показателей лица работника [26 — 28] и конструктивных элементов фильтрующих полумасок [29 — 31] на плотность их прилегания к лицу, оцениваются фильтрующие способности и сопротивление дыханию фильтрующих полумасок различных моделей после длительного их использования [32 — 34], предлагаются устройства контроля дыхательной активности и засорения фильтра в многоразовых полумасках [35].

В связи с вышеизложенным задачи представленного исследования включали в себя разработку фильтрующей полумаски, которая бы обеспечивала следующее:

- высокую степень защиты от АПФД, класс защиты FFP3;
- начальное сопротивление воздушному потоку в рамках установленной величины для класса защиты FFP3 в рамках ГОСТа;
- отсутствие дискомфорта при контакте с кожей за счет использования гипоаллергенных материалов;
- препятствие скоплению влаги в подмасочном пространстве и удаление избыточного тепла из него;
- сравнительно небольшая масса полумаски, выгодно отличающая ее от аналогов;
- наличие полосы обтюрации, позволяющей исключить подсос запыленного воздуха в подмасочное пространство;
- отсутствие дискомфорта, обусловленного жесткостью крепления полу-

маски и, при этом, его надежность без нарушения поля зрения в условиях работы с высокой интенсивностью.

Методика и методы

Экспериментальные исследования по определению защитных свойств разработанной фильтрующей полумаски проводились в рамках сотрудничества с ООО «Мониторинг». Определялись основные параметры, оказывающие влияние на эффективность защиты полумаски, а также на сопротивление дыханию работника.

При определении начального сопротивления воздушному потоку в окружающей среде поддерживаются нормальные условия: температура 23 °С, давление — 1 атм. Полумаска надевается на голову манекена, устанавливаются параметры дыхательной машины — 25 циклов в минуту и 2 дм^3/ход (рис. 1). Испытания проводятся в течение 3,5 ч. За этот период фильтрующая полумаска 10 раз снимается и вновь надевается на голову манекена. Для испытаний берется 12 фильтрующих полумасок, которые исследуются по одному разу на вдох и выдох при 3-х вышеуказанных расходах воздуха.

Проницаемость материалов определялась по парам парафинового масла и парам хлорида натрия с расходом 95 дм^3/мин. Маска плотно закреплялась под насадкой, через которую поступали пары (рис. 2). При исследовании проницаемости материалов полумаски интервалы измерений не превышали 5 мин.

Для проведения исследования по устойчивости к запылению использовалась пылевая камера с доломитовой пылью (см. рис. 3). Параметры дыхательной машины были установлены 2 дм^3/ход. Температура у ротового отверстия манекена составляла 37 °С, а влажность 95%. К полумаске с помощью патрубка присоединялась дыхательная машина,

Рис. 1. Определение начального сопротивления воздушному потоку [составлено авторами]
Fig. 1. Determination of the initial resistance to air flow [compiled by the authors]

после чего фильтрующая полумаска помещалась в камеру. После прохождения испытания на запыленность в соответствии с ГОСТом проводилось повторное определение сопротивления воздушному потоку. Данный вид испыта-

Рис. 2. Определение проницаемости материалов фильтрующей полумаски [составлено авторами]
Fig. 2. Determination of the permeability of the filter half mask materials [compiled by the authors]

Рис. 3. Пылевая камера [составлено авторами]
Fig. 3. Dust chamber [compiled by the authors]

ний проводится на трех фильтрующих полумасках в двух режимах — на вдох при расходе воздуха 95 дм^3/мин, на выдох при расходе воздуха 160 дм^3/мин.

Для сравнения с допустимыми согласно ГОСТу значениями исследованных параметров принимаются максимальные по результатам серии проведенных опытов значения начального сопротивления воздушному потоку, сопротивления дыханию и проницаемости.

Изготовление образцов фильтрующей полумаски осуществлялось на базе ООО «Респираторный комплекс». Слои полумаски скреплялись термически в виде штрих-линий по контуру полумаски, две части (закраины) полумаски соединялись центральным швом также термическим способом. В полумаске делалось отверстие для клапана выдоха, в которое он устанавливался. Ремни крепления приваривались к основной части полумаски в ее боковых частях.

Результаты

В целях создания полумаски высокой степени защиты, а также для снижения сопротивления дыханию пользователя был проведен подбор материалов слоев фильтрующей полумаски. Внешний слой для защиты органов дыхания работников от крупнодисперсной пыли был представлен 100%-ной бамбуковой тканью плотностью 45 г/м^2. Фильтрующий слой выполнялся из материала «Нева», разработанного в ООО «Респи-

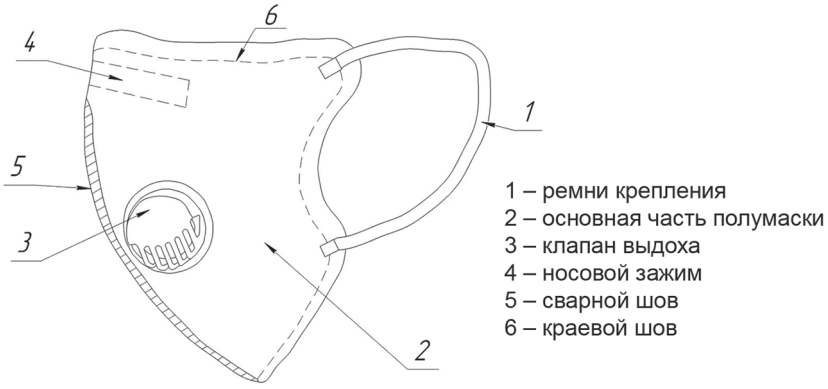

Рис. 4. Фильтрующая полумаска [составлено авторами]
Fig. 4. Filter half mask [compiled by the authors]

Таблица 1

Начальное сопротивление воздушному потоку [составлено авторами]
Initial resistance to air flow [compiled by the authors]

Расход воздуха, дм³/мин	Максимальное фактическое значение сопротивления, Па	Допустимое значение, Па
30 (вдох)	46	100
95 (вдох)	159	300
160 (выдох)	132	300

раторный комплекс». Гигиенический слой выполнялся из двух слоев гипоаллергенного материала спанбонд-мельтблаун-спанбонд (СМС) плотностью 30 г/м^2. Схема полумаски представлена на рис. 4.

Фильтрующая полумаска является складной и состоит из двух частей (закраин), соединенных между собой сварным швом. Скрепление слоев полумаски обеспечивается наличием краевого шва. Крепление полумаски на лице работника осуществляется с помощью ремней крепления, фиксирующихся за ушами пользователя. Для обеспечения плотности прилегания полумаска включает носовой зажим, расположенный между внешним и фильтрующим слоями. Для отведения тепла из подмасочного пространства и препятствия образованию влаги фильтрующая полумаска на левой закраине оснащается клапаном выдоха.

При прохождении запыленного воздушного потока через полумаску крупные частицы пыли (более 20 мкм) задерживаются внешним слоем, представленным материалом из бамбуковой ткани. Мелкодисперсная пыль диаметром от 0,01 мкм удерживается с помощью фильтрующего слоя. Препятствует образованию влаги наличие клапана выдоха, отводящего выдыхаемый воздух. При этом образовавшаяся влага впитывается гигиеническим слоем.

Эффективность разработанной полумаски была подтверждена экспериментальными исследованиями. Получаемые результаты сопоставлялись с допустимыми значениями для класса FFP3, характеризующегося наиболее высокой эффективностью защиты и наиболее жесткими требованиями по проницаемости материалов.

Результаты испытаний по начальному сопротивлению воздушному потоку (максимальные значения для исследуемых образцов) представлены в табл. 1.

При этом после прохождения исследования на устойчивость к запылению в соответствии с ГОСТ было проведено определение сопротивления воздушному потоку (табл. 2). Также было проведено исследование на проницаемость материалов по парам парафинового масла и хлорида натрия (табл. 3).

Таблица 2

Сопротивление воздушному потоку после исследования фильтрующей полумаски на устойчивость к запылению [составлено авторами]
Air flow resistance after examining the filter half mask for dust resistance [compiled by the authors]

Расход воздуха, дм³/мин	Максимальное фактическое значение сопротивления, Па	Допустимое значение, Па
95 (вдох)	677	700
160 (выдох)	250	300

Таблица 3

Проницаемость материалов по тест-аэрозолям [составлено авторами]
Permeability of materials by test aerosols [compiled by the authors]

Проницаемость, %	Пары хлорида натрия	Пары парафинового масла	Допустимое значение
	0,79	0,77	1

Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная фильтрующая полумаска по таким параметрам, как проницаемость материалов и сопротивление дыханию, в том числе при исследовании на устойчивость к запылению, соответствует классу защиты FFP3. Кроме того, масса полумаски составила 7,5 г, что значительно меньше, чем масса большинства аналогов, применяемых на угольных шахтах.

В рамках исследования подана заявка на полезную модель «Фильтрующая полумаска» № 2025104927 от 04.03.2025.

Обсуждение результатов

Ключевым результатом проведенного исследования является установление высокой эффективности защитных свойств разработанной фильтрующей полумаски. Результаты трех испытаний позволяют отнести полумаску к классу FFP3 — высокая эффективность защиты.

Вместе с тем в задачи дальнейших исследований будет входить проведение испытаний по таким показателям, как исследование на содержание CO_2, испытание клапана выдоха воздушным потоком и на механическое воздействие, устойчивость к воспламенению.

Также планируется апробация разработанной полумаски в реальных производственных условиях на предприятиях минерально-сырьевого комплекса и проведение анкетирования пользователей на предмет оценки эксплуатационных свойств полумаски. В ходе анкетирования планируется проведение сопоставления характеристик разработанной фильтрующей полумаски с аналогами, используемыми на предприятиях.

Кроме того, возможно дальнейшее проведение исследований, направленных на подбор материалов для слоев фильтрующих полумасок, обеспечивающих высокую эффективность защиты в совокупности с отсутствием дыхательного дискомфорта.

Заключение

Одним из наиболее распространенных производственных факторов на угольных шахтах России является мелкодисперсная пыль. Применение фильтрующих полумасок высокой степени эффективности направлено на снижение негативного воздействия данного фактора на подземный персонал.

В задачи данного исследования входила разработка полумаски высокой степени эффективности, не приводящей к возникновению дыхательного дискомфорта, что будет способствовать применению данной полумаски работниками в реальных производственных условиях.

Проведенные исследования показали, что разработанная полумаска, состоящая из предложенной комбинации слоев, обеспечивает как эффективную защиту пользователя от пыли, так и отсутствие дискомфорта при дыхании. Испытания полумаски осуществлялись в соответствии с методикой, представленной в ГОСТе.

Разработанная полумаска состоит из гипоаллергенных материалов, не вызывает дискомфорт при контакте с кожей, имеет сравнительно небольшую массу.

В рамках дальнейших исследований планируется испытание полумаски на реальном производственном объекте. Также по результатам исследований возможно проведение анкетирования подземного персонала угольных шахт и сопоставление полученных результатов с существующими аналогами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гендлер С. Г.*, *Прохорова Е. А.* Методические основы выбора приоритетных направлений управления охраной труда при подземной добыче угля на основе анализа динамики интегрального риска травматизма и профессиональной заболеваемости // Горный журнал. — 2023. — № 9. — С. 41—48. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.06.

2. *Баловцев С.В.* Аэрологические риски высших рангов в угольных шахтах // Горные науки и технологии. — 2022. — Т. 7. — № 4. — С. 310—319. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-08-18.

3. *Gridina E. B.*, *Kovshov S. V.*, *Borovikov D. O.* Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector // Scientific Bulletin of National Mining University. 2022, vol. 1, pp. 107—115. DOI: 10.33271/ nvngu/2022-1/107.

4. *Глебова Е. В.*, *Волохина А. Т.*, *Вихров А. Е.* Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 68—78. DOI: 10.31897/PMI.2023.12.

5. *Земсков А. Н.*, *Лискова М. Ю.* Роль средств индивидуальной защиты работников в обеспечении безопасных условий труда на горнодобывающих предприятиях // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2022. — № 3. — С. 61—70.

6. *Мохначук И. И.*, *Пиктушанская Т. Е.*, *Брылева М. С.*, *Бетц К. В.* Смертность на рабочем месте на предприятиях угольной промышленности России // Медицина труда и промышленная экология. — 2023. — № 2. — С. 88—93. DOI: 10.31089/1026-94282023-63-2-88-93.

7. *Hoebbel C. L.*, *Haas E. J.*, *Ryan M. E.* Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry // Mining Metallurgy and Exploration. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485—494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.

8. *Крупская Л., Куликова Е., Филатова М., Леоненко А.* Оценка воздействия техногенной системы на воздушный бассейн с применением методов математической статистики // Экология и промышленность России. — 2023. — № 27(8). — С. 50—57. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-8-50-57.

9. *Тихонова Г. И.*, *Пиктушанская Т. Е.*, *Горчакова Т. Ю.*, *Серебряков П. В.* Продолжительность жизни шахтеров-угольщиков с установленным диагнозом профзаболевания // Медицина труда и промышленная экология. — 2022. — № 6. — С. 419—426. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-419-426.

10. *Виноградов Ю. И.*, *Хохлов С. В.*, *Зигангиров Р. Р.*, *Мифтахов А. А.*, *Суворов Ю. И.* Оптимизация удельных энергозатрат на дробление горных пород взрывом на месторождениях со сложным геологическим строением // Записки горного института. — 2024. — Т. 266. — С. 231—245.

11. *Sidorenko S., Trushnikov V., Sidorenko A.* Methane emission estimation tools as a basis for sustainable underground mining of gas-bearing coal seams // Sustainability. 2024, vol. 16, article 3457. DOI: 10.3390/su16083457.

12. *Vasilenko T. A.*, *Islamov A., Doroshkevich A. S., Ludzik K., Chudoba D., Kirillov A., Mita C.* Permeability of a coal seam with respect to fractal features of pore space of fossil coals // Fuel. 2022, vol. 329, article 125113. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125113.

13. *Гендлер С. Г.*, *Степанцова А. Ю.*, *Попов М. М.* Обоснование безопасной эксплуатации закрытого угольного склада по газовому фактору // Записки Горного института. — 2025. — Т. 272. — С. 72—82.

14. *Colinet J. F.* The impact of black lung and a methodology for controlling respirable dust // Mining, Metallurgy & Exploration. 2020, vol. 37, no. 49, pp. 1847—1856. DOI: 10.1007/s42461-020-00278-7.

15. *Смирняков В. В.*, *Родионов В. А.*, *Смирнякова В. В.*, *Орлов Ф. А.* Влияние формы и размеров пылевых фракций на их распределение и накопление в горных выработках при изменении структуры воздушного потока // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 71—81. DOI: 10.31897/PMI.2022.12.

16. *Xia T., Xi Z., Suo L., Wang C.* Synergistic dopa-reinforced fluid hydrosol as highly efficient coal dust suppressant // Chemical Engineering Journal. 2024, vol. 479, article 147641. DOI: 10.1016/j.cej.2023.147641.

17. *Danilov A. S.* Effectiveness of carboxymethyl cellulose solutions for dust suppression in the mining industry // International Journal of Coal Preparation and Utilization. 2020, vol. 42. pp. 2345—2356. DOI: 10.1080/19392699.2020.1841177.

18. *Wang H., Cheng S., Wang H., He J., Fan L., Danilov A. S.* Synthesis and properties of coal dust suppressant based on microalgae oil extraction // Fuel. 2023, vol. 338, article 127273. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127273.

19. *Liao X., Wang B., Wang L., Zhu J., Chu P., Zhu Z., Zheng S.* Experimental study on the wettability of coal with different metamorphism treated by surfactants for coal dust control // ACS Omega. 2021, vol. 6, no. 34, pp. 21925—21938. DOI: 10.1021/ acsomega.1c02205.

20. *Ji M., Sun Z., Guo H.* The application of the foam technology to the dust control for reducing the dust injury of coal mines // Applied Sciences. 2022, vol. 12, article 10878. DOI: 10.3390/app122110878.

21. *Корнев А. В.*, *Спицын А. А.*, *Коршунов Г. И.* Повышение безопасности труда работников угольных шахт по пылевому фактору на основе использования гидрогеля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 4. — С. 5—22. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_5.

22. *Hou X., Wei Z., Jiang X., Wei C., Dong L., Li Y., Liang R., Nie J., Shi Y., Qin X.* A comprehensive retrospect on the current perspectives and future prospects of pneumoconiosis // Front Public Health. 2025, vol. 10, no. 12, article 1435840. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1435840.

23. *Горбанев С. А.*, *Сюрин С. А.*, *Фролова Н. М.* Условия труда и профессиональная патология горняков угольных шахт в Арктике // Медицина труда и промышленная экология. — 2019. — № 8. — С. 452—457. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-8-452-457.

24. *Никулин А. Н.*, *Федорова А. В.*, *Булдакова Е. Г.*, *Епифанцев К. В.*, *Кудинов В. В.* Повышение эффективности защитных свойств фильтрующих респираторов за счет их обработки пропитывающими растворами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 174—186. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_174.

25. *Krucińska I., Strzembosz W., Majchrzycka K., Brochocka A., Sulak K.* Biodegradable particle filtering half-masks for respiratory protection // Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2012, vol. 96, no. 6, pp. 77—83.

26. *Yu M., Griffin L., Durfee W. K., Arnold S.* Face anthropometry for filtering facepiece respirators: analysis of the association between facial dimensions and respirator fit // Annals of Work Exposures and Health. 2024, vol. 15, no. 68(3), pp. 312—324. DOI: 10.1093/annweh/wxae005.

27. *Santandrea A., Chazelet S.* Respiratory protective device: One size to fit them all? // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2023, vol. 20, no. 5-6, pp. 226—239. DOI: 10.1080/15459624.2023.2205466.

28. *Knobloch J. K.*, *Franke G.*, *Knobloch M. J.*, *Knobling B., Kampf G.* Overview of tight fit and infection prevention benefits of respirators (filtering face pieces) // Journal of Hospital Infection. 2023, vol. 134, pp. 89—96. DOI: 10.1016/j.jhin.2023.01.009.

29. *Lin Y. C.*, *Chen C. P.* Characterization of small-to-medium head-and-face dimensions for developing respirator fit test panels and evaluating fit of filtering facepiece respirators with different faceseal design // PLoS One. 2017, vol. 27, no. 12(11), article e0188638. DOI: 10.1371/journal.pone.0188638.

30. *Cloet A., Griffin L., Yu M., Durfee W.* Design considerations for protective mask development: a remote mask usability evaluation // Applied Ergonomics. 2022, vol. 102, article 103751. DOI: 10.1016/j.apergo.2022.103751.

31. *Niu X., Koehler R. H., Yermakov M.*, *Grinshpun S. A.* Assessing the fit of N95 filtering facepiece respirators fitted with an ear loop strap system: a pilot study // Annals of Work Exposures and Health. 2023, vol. 67, no. 1, pp. 50—58. DOI: 10.1093/annweh/wxac051.

32. *Fakherpour A., Jahangiri M., Banaee S.* Qualitative fitting characteristics of elastomeric half face-piece respirators using Isoamyl acetate agent // Industrial Health. 2021, vol. 59, no. 4, pp. 272—282. DOI: 10.2486/indhealth.2020-0199.

33. *Frund Z. N.*, *Oh S. H.*, *Chalikonda S., Angelilli S., Waltenbaugh H.* Filtration performance and breathing resistance of elastomeric half mask respirator P100 filter cartridges after repeated and ex-

tended use in healthcare settings // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2022, vol. 19, no. 4, pp. 223 — 233. DOI: 10.1080/15459624.2022.2041649.

34. *Presti D. L., Massaroni C., Zaltieri M., Sabbadini R., Carnevale A., Di Tocco J., Longo U. G., Caponero M. A., D'Amato R., Schena E.* A magnetic resonance-compatible wearable device based on functionalized fiber optic sensor for respiratory monitoring // IEEE Sensors Journal. 2021, vol. 21, no. 13, pp. 14418 — 14425. DOI: 10.1109/JSEN.2020.2980940.

35. *Aqueveque P., Díaz M., Gomez B., Osorio R., Pastene F., Radrigan L., Morales A.* Embedded electronic sensor for monitoring of breathing activity, fitting and filter clogging in reusable industrial respirators // Biosensors (Basel). 2022, vol. 8, no. 12(11), article 991. DOI: 10.3390/bios12110991. ГИАБ

REFERENCES

1. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Methodological foundations for choosing priority areas of occupational safety management in underground coal mining based on an analysis of the dynamics of the integral risk of injury and occupational morbidity. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 9, pp. 41 — 48. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.06.

2. Balovtsev S. V. Higher rank aerological risks in coal mines. *Mining Science and Technology*. 2022, vol. 7, no. 4, pp. 310 — 319. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-08-18.

3. Gridina E. B., Kovshov S. V., Borovikov D. O. Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2022, vol. 1, pp. 107 — 115. DOI: 10.33271/ nvngu/2022-1/107.

4. Glebova E. V., Volokhina A. T., Vikhrov A. E. Evaluation of the effectiveness of industrial safety culture management in fuel and energy companies. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 68 — 78. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.12.

5. Zemskov A. N., Liskova M. Yu. The role of personal protective equipment for workers in ensuring safe working conditions at mining enterprises. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 3, pp. 61 — 70. [In Russ].

6. Mokhnachuk I. I., Piktushanskaya T. E., Bryleva M. S., Betts K. V. Mortality in the workplace at enterprises of the Russian coal industry. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023, no. 2, pp. 88 — 93. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-94282023-63-2-88-93.

7. Hoebbel C. L., Haas E. J., Ryan M. E. Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry. *Mining Metallurgy and Exploration*. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485 — 494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.

8. Krupskaya L., Kulikova E., Filatova M., Leonenko A. Mathematical model for assessing the impact of a man-made system on an air basin. *Ecology and Industry of Russia*. 2023, no. 27(8), pp. 50 — 57. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-8-50-57.

9. Tikhonova G. I., Piktushanskaya T. E., Gorchakova T. Yu., Serebryakov P. V. Life expectancy of coal miners with an established diagnosis of occupational disease. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022, no. 6, pp. 419 — 426. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-419-426.

10. Vinogradov Yu. I., Khokhlov S. V., Zigangirov R. R., Miftakhov A. A., Suvorov Yu. I. Optimization of specific energy consumption for crushing rocks by explosion in deposits with complex geological structures. *Journal of Mining Institute*. 2024, vol. 266, pp. 231 — 245. [In Russ].

11. Sidorenko S., Trushnikov V., Sidorenko A. Methane emission estimation tools as a basis for sustainable underground mining of gas-bearing coal seams. *Sustainability*. 2024, vol. 16, article 3457. DOI: 10.3390/su16083457.

12. Vasilenko T. A., Islamov A., Doroshkevich A. S., Ludzik K., Chudoba D., Kirillov A., Mita C. Permeability of a coal seam with respect to fractal features of pore space of fossil coals. *Fuel*. 2022, vol. 329, article 125113. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125113.

13. Gendler S. G., Stepantsova A. Y., Popov M. M. Justification on the safe exploitation of closed coal warehouse by gas factor. *Journal of Mining Institute*. 2025, vol. 272, pp. 72 — 82. [In Russ].

14. Colinet J. F. The impact of black lung and a methodology for controlling respirable dust. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2020, vol. 37, no. 49, pp. 1847 — 1856. DOI: 10.1007/ s42461-020-00278-7.

15. Smirnyakov V. V., Rodionov V. A., Smirnyakova V. V., Orlov F. A. The influence of the shape and size of dust fractions on their distribution and accumulation in mining workings when the structure of the air flow changes. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 71 — 81. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.12.

16. Xia T., Xi Z., Suo L., Wang C. Synergistic dopa-reinforced fluid hydrosol as highly efficient coal dust suppressant. *Chemical Engineering Journal*. 2024, vol. 479, article 147641. DOI: 10.1016/j.cej.2023.147641.

17. Danilov A. S. Effectiveness of carboxymethyl cellulose solutions for dust suppression in the mining industry. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2020. vol. 42. pp. 2345—2356. DOI: 10.1080/19392699.2020.1841177.

18. Wang H., Cheng S., Wang H., He J., Fan L., Danilov A. S. Synthesis and properties of coal dust suppressant based on microalgae oil extraction. *Fuel*. 2023, vol. 338, article 127273. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127273.

19. Liao X., Wang B., Wang L., Zhu J., Chu P., Zhu Z., Zheng S. Experimental study on the wettability of coal with different metamorphism treated by surfactants for coal dust control. *ACS Omega*. 2021, vol. 6, no. 34, pp. 21925—21938. DOI: 10.1021/ acsomega.1c02205.

20. Ji M., Sun Z., Guo H. The application of the foam technology to the dust control for reducing the dust injury of coal mines. *Applied Sciences*. 2022, vol. 12, article 10878. DOI: 10.3390/app122110878.

21. Kornev A. V., Spitsyn A. A., Korshunov G. I. Enhancement of occupational safety in coal mines with respect to dust factor using hydrogel. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 4, pp. 5—22. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_5.

22. Hou X., Wei Z., Jiang X., Wei C., Dong L., Li Y., Liang R., Nie J., Shi Y., Qin X. A comprehensive retrospect on the current perspectives and future prospects of pneumoconiosis. *Front Public Health*. 2025, vol. 10, no. 12, article 1435840. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1435840.

23. Gorbanev S. A., Syurin S. A., Frolova N. M. Working conditions and occupational pathology of coal miners in the Arctic. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019, no. 8, pp. 452—457. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-8-452-457.

24. Nikulin A. N., Fedorova A. V., Buldakova E. G., Epifantsev K. V., Kudinov V. V. Improving the effectiveness of the protective properties of filter respirators by treating them with impregnating solutions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 174—186. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_174.

25. Krucińska I., Strzembosz W., Majchrzycka K., Brochocka A., Sulak K. Biodegradable particle filtering half-masks for respiratory protection. *Fibres & Textiles in Eastern Europe.* 2012, vol. 96, no. 6, pp. 77—83.

26. Yu M., Griffin L., Durfee W. K., Arnold S. Face anthropometry for filtering facepiece respirators: analysis of the association between facial dimensions and respirator fit. *Annals of Work Exposures and Health*. 2024, vol. 15, no. 68(3), pp. 312—324. DOI: 10.1093/annweh/wxae005.

27. Santandrea A., Chazelet S. Respiratory protective device: One size to fit them all? *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2023, vol. 20, no. 5-6, pp. 226—239. DOI: 10.1080/15459624.2023.2205466.

28. Knobloch J. K., Franke G., Knobloch M. J., Knobling B., Kampf G. Overview of tight fit and infection prevention benefits of respirators (filtering face pieces). *Journal of Hospital Infection*. 2023, vol. 134, pp. 89—96. DOI: 10.1016/j.jhin.2023.01.009.

29. Lin Y. C., Chen C. P. Characterization of small-to-medium head-and-face dimensions for developing respirator fit test panels and evaluating fit of filtering facepiece respirators with different faceseal design. *PLoS One*. 2017, vol. 27, no. 12(11), article e0188638. DOI: 10.1371/journal.pone.0188638.

30. Cloet A., Griffin L., Yu M., Durfee W. Design considerations for protective mask development: a remote mask usability evaluation. *Applied Ergonomics*. 2022, vol. 102, article 103751. DOI: 10.1016/j.apergo.2022.103751.

31. Niu X., Koehler R. H., Yermakov M., Grinshpun S. A. Assessing the fit of N95 filtering facepiece respirators fitted with an ear loop strap system: a pilot study. *Annals of Work Exposures and Health*. 2023, vol. 67, no. 1, pp. 50—58. DOI: 10.1093/annweh/wxac051.

32. Fakherpour A., Jahangiri M., Banaee S. Qualitative fitting characteristics of elastomeric half face-piece respirators using Isoamyl acetate agent. *Industrial Health*. 2021, vol. 59, no. 4, pp. 272—282. DOI: 10.2486/indhealth.2020-0199.

33. Frund Z. N., Oh S. H., Chalikonda S., Angelilli S., Waltenbaugh H. Filtration performance and breathing resistance of elastomeric half mask respirator P100 filter cartridges after repeated and extended use in healthcare settings. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2022, vol. 19, no. 4, pp. 223—233. DOI: 10.1080/15459624.2022.2041649.

34. Presti D. L., Massaroni C., Zaltieri M., Sabbadini R., Carnevale A., Di Tocco J., Longo U. G., Caponero M. A., D'Amato R., Schena E. A Magnetic resonance-compatible wearable device based on functionalized fiber optic sensor for respiratory monitoring. *IEEE Sensors Journal*. 2021, vol. 21, no. 13, pp. 14418–14425. DOI: 10.1109/JSEN.2020.2980940.

35. Aqueveque P., Díaz M., Gomez B., Osorio R., Pastene F., Radrigan L., Morales A. Embedded electronic sensor for monitoring of breathing activity, fitting and filter clogging in reusable industrial respirators. *Biosensors (Basel)*. 2022, vol. 8, no. 12(11), article 991. DOI: 10.3390/bios12110991.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кольвах Константин Андреевич[1] — канд. техн. наук,
ассистент кафедры, e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465,
Корнев Антон Владимирович[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,
Олефиренко Юлия Сергеевна[1] — студент,
e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com,
Астахов Сергей Владимирович — заместитель
генерального директора по развитию и инновациям,
ООО «Респираторный комплекс», e-mail: info@szpe.ru,
Курчин Иван Валентинович — руководитель испытательной лаборатории
средств индивидуальной защиты, ООО «Мониторинг»,
e-mail: kurchin@ooo-monitoring.ru,
[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.
Для контактов: Кольвах К.А., e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

K.A. Kolvakh[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant of Chair,
e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465,
A.V. Kornev[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,
Y.S. Olefirenko[1], Student,
e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com,
S.V. Astakhov, Deputy General Director
for Development and Innovation,
Respiratory Complex LLC,
188679, Leningrad Region, Morozov State Enterprise,
Russia, e-mail: info@szpe.ru,
I.V. Kurchin, Head of Testing Laboratory
of Personal Protective Equipment, LLC Monitoring,
190020, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: kurchin@ooo-monitoring.ru,
[1] Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg Russia.
Corresponding author: K.A. Kolvakh, e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 02.07.2025; получена после рецензии 14.08.2025; принята к печати 10.10.2025.
Received by the editors 02.07.2025; received after the review 14.08.2025; accepted for printing 10.10.2025.