

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЗАПЫЛЕНИЮ ФИЛЬТРУЮЩИХ ПОЛУМАСОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ РАБОТНИКАМИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

К.А. Кольвах<sup>1</sup>, А.В. Корнев<sup>1</sup>, М.В. Туманов<sup>1</sup>, А.Л. Любимова<sup>1</sup>, В.А. Родионов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru

**Аннотация:** Одним из наиболее распространенных вредных производственных факторов при ведении подземных горных работ по добыче угля является образующаяся тонкодисперсная производственная пыль, вдыхание которой является основной причиной возникновения у подземного персонала профессиональных заболеваний легких и бронхов. Рассмотрен вопрос корректного определения необходимого количества фильтрующих полумасок, которое нужно выдать работнику на смену для определенных условий. На сегодняшний день, к сожалению, на предприятиях горной промышленности закупку и выдачу работникам средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) осуществляют, опираясь либо на минимальную стоимость конкретной модели, либо на справочную информацию по ее классу защиты из расчета одна полумaska на одну смену. Однако при выборе респиратора и определении требуемого количества полагаться только на указанный класс его защиты (FFP1, FFP2 или FFP3), введенный ГОСТ 12.4.294-2015 (EN 149:2001+A1:2009), не следует. Это связано с тем, что фактический дисперсный и вещественный состав взвешенной в воздухе пыли на различных рабочих местах заметно отличается от свойств доломитовой пыли, на которой производятся испытания фильтрующих полумасок. Дано описание проведенных лабораторных исследований эффективности и сопротивляемости запылению пяти наиболее доступных и распространенных на российских горных предприятиях моделей респираторов различных классов защиты «Respic RS2202», «У-2К», «Spirotek vs1200», «Алина-210», «WALL AIR 95НК». Предложена методика определения наиболее подходящей модели респиратора с наибольшим временем наступления «дыхательного дискомфорта».

**Ключевые слова:** угольные шахты, СИЗОД, фильтрующие полумаски, класс защиты респиратора, производственная пыль, профессиональные заболевания органов дыхания, дыхательный дискомфорт, сопротивление запылению.

**Для цитирования:** Кольвах К. А., Корнев А. В., Туманов М. В., Любимова А. Л., Родионов В. А. Исследование сопротивляемости запылению фильтрующих полумасок, применяемых работниками угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 164–179. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_91\_0\_164.

### Study of resistance to dusting of filtering face pieces used by coal mines workers

К.А. Kolvakh<sup>1</sup>, А.В. Kornev<sup>1</sup>, М.В. Tumanov<sup>1</sup>, А.Л. Lyubimova<sup>1</sup>, В.А. Rodionov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru

---

**Abstract:** One of the most common harmful production factors in underground coal mining is the resulting fine industrial dust, the inhalation of which is the main cause of occupational lung and bronchial diseases among underground personnel. In the article, the authors raise the issue of correctly determining the required number of filtering face pieces, which must be given to an worker for a shift for certain conditions. Today, unfortunately, at mining enterprises, the purchase and issuance of personal respiratory protection equipment (PRPE) to workers is carried out based either on the minimum cost of a particular model or reference information on its protection class at the rate of one filtering face pieces per shift. However, when choosing a respirator and determining the required amount, one should not rely only on the specified protection class (FFP1, FFP2 or FFP3), introduced by GOST 12.4.294-2015 (EN 149:2001 + A1:2009). This is due to the fact that the actual dispersed and material composition of airborne dust at various workplaces differs markedly from the properties of dolomite dust, on which filtering face pieces are tested. The paper describes the authors' laboratory studies of the effectiveness and re-sistance to dusting of the five most accessible and widespread models of respirators of various protection classes in Russian mining enterprises «Respic RS2202», «У-2К», «Spirotek vs1200», «Alina-210», «WALL AIR 95HK». A method for determining the most suitable respirator model with the maximum time for the onset of «respiratory dis-comfort» is proposed.

**Key words:** coal mines, personal respiratory protection equipment, filtering face pieces, protection class, industrial dust, occupational respiratory diseases, respiratory discomfort, resistance to dusting.

**For citation:** Kolvakh K. A., Kornev A. V., Tumanov M. V., Lyubimova A. L., Rodionov V. A. Study of resistance to dusting of filtering face pieces used by coal mines workers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(9-1):164-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_91\_0\_164.

---

## Введение

Обеспечение сохранности человеческого (трудового) ресурса и повышение его эффективности является основополагающим элементом устойчивого развития практически любой отрасли экономики. Особенно остро данная задача стоит перед руководством предприятий горной промышленности и, в частности, угольной отрасли, условия труда в которой характеризуется совокупностью наибольшего количества опасных и вредных производственных факторов [1 – 3]. Наиболее высокие профессиональные риски характерны для работников угольных шахт [4 – 6] и связаны с угрозой:

- загазованности горных выработок вследствие нарушения работы вентиляционно-дегазационной сети, избыточ-

ной газоносности пласта, сбоя в функционировании аппаратуры аэрогазового контроля (АГК), возникшего пожара и взрыва метана [7 – 9];

- создания непригодных для дыхания условий при несоблюдении требований безопасной эксплуатации дизель-гидравлических локомотивов в ограниченных пространствах выработок [10];
- резкой потери устойчивости кровлей и (или) боками выработок [11];
- повреждения органа слуха или потеря его остроты при длительном воздействии шумов, уровни которых значительно превышают нормы [12 – 14];
- развития виброболезни [12, 13];
- возникновения заболеваний опорно-двигательного аппарата при работах в тяжелых условиях [13 – 15];

- создания взрывоопасных концентраций угольной пыли в воздухе [16 – 18] и чрезмерно высокой экспозиции фиброгенного аэрозоля [14, 19, 20].

Производственная пыль является одной из основных причин возникновения профессиональных заболеваний не только подземного персонала угольных шахт, но и работников горнорудных предприятий [19, 21, 22]. К основным видам профзаболеваний пылевой этиологии относятся пневмокониозы, бронхиты, хроническая обструктивная болезнь легких [6, 13, 21]. Пневмокониозы характеризуются фиброзными изменениями легких, наступающими вследствие продолжительного вдыхания мелкодисперсной производственной пыли. Наиболее распространенными видами пневмокониозов у работников угольных шахт являются силикоз и антракоз [6, 13, 14].

В соответствии с данными Роспотребнадзора, за период 2017 – 2021 гг. 37,5% работников угледобывающей отрасли подвергались воздействию аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) [6, 23]. У 15,9% работников от общего числа подземного персонала угольных шахт были выявле-

ны заболевания дыхательных путей в результате воздействия производственной пыли. АПФД являются третьим по распространенности фактором, приводящим к появлению профзаболеваний у подземного персонала угольных шахт [6, 13, 23].

На рис. 1 представлена диаграмма распределения профзаболеваний на угольных шахтах России по обуславливающим их группам факторов.

Вопрос снижения запыленности актуален как для угледобывающих, так и для горнорудных предприятий [22, 24, 25]. Существует ряд мероприятий, применяемых для борьбы с повышенной запыленностью на угольных шахтах. К основным из них относятся: орошение, обмывка и предварительное увлажнение, создание водяных и туманообразующих завес, организация пылеотсоса, установка тканевых перегородок (лабиринтно-тканевых завес), проветривание [26, 27].

Орошение представляет собой процедуру смачивания угольной пыли в момент ее образования в целях предотвращения дальнейшего перехода частиц во взвешенное состояние. С этой целью

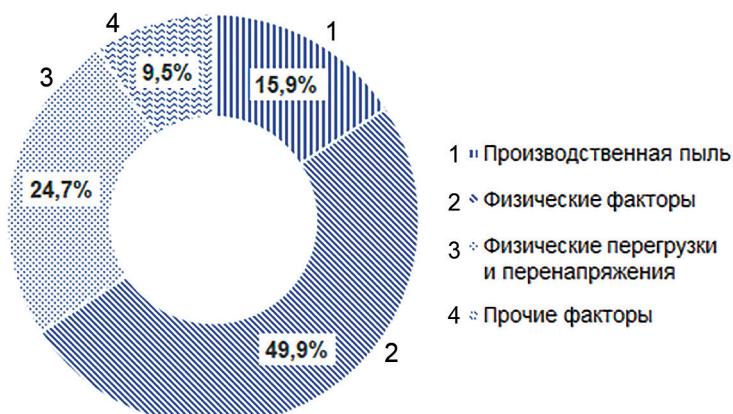


Рис. 1. Основные группы факторов, приводящих к возникновению профзаболеваний у работников угольных шахт (2017 – 2021 гг.) [диаграмма составлена авторами на основании данных источника [7]]

Fig. 1. The main groups of factors that lead to the occupational diseases in coal mine workers (2017 – 2021) [diagram is compiled by the authors based on the data of tsource [7]]

проводят и обмывку выработок с периодичностью, достаточной для поддержания влажности осевшей пыли в диапазоне от 12 до 15% [27, 28].

Орошение и обмывка проводятся, как правило, водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ), помогающих повысить эффективность смачивания углепородной пыли и уменьшить расход воды [29 – 31]. Подача составов реализуется из встроенных в систему дозаторов с помощью специальных оросителей, установленных на секциях гидравлической крепи и элементах шахтных комбайнов. Величина давления, под которым подается вода или ПАВ, зависит от типа форсунок, преобладающей крупности пылинок, степени фрикционной опасности углей и варьируется от 0,2–0,3 МПа при использовании туманообразователей до 8–12 МПа при высоконапорном орошении. Для предотвращения угрозы взрыва и минимизации концентрации пыли в подготовительных забоях, проводимых взрывным способом, осуществляется обработка их водой, пылесмачивающими или пылевязывающими составами на расстоянии не менее 20 м от груди забоя за 30 мин до взрывной отбойки [26, 27].

Предварительное увлажнение угольного массива способствует снижению пылеобразования. Мероприятия по увлажнению пластов проводятся путем нагнетания в них воды через пробуренные скважины, имеющие диаметр от 45 до 100 мм. Давление, под которым осуществляется закачка воды или растворов ПАВ в пласт, составляет от 1,5 до 30 МПа в зависимости от марки угля, определяющей его влагоемкость. Увлажнение массива горных пород необходимо при превышении прогнозируемой концентрации пыли на исходящей из очистного забоя струе относительно величины, допустимой согласно правилам безопасности ( $150 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) [32].

Водяные, лабиринтно-тканевые и туманообразующие завесы создаются путем распыления капель воды форсунками, стационарно расположенными по периметру выработки в соответствующем сечении. Количество завес или перегородок в завесе и расстояние между ними определяются условиями фактической запыленности и скоростью воздушного потока [27].

Выносу пыли из рабочей зоны забоя помогает вентиляция, способствующая снижению концентрации пыли в рудничной атмосфере при определенных скоростях движения воздуха. Так, оптимальной для очистного забоя считается скорость воздушного потока в диапазоне от 1 до 3 м/с [33].

Как показывает практика и данные анализа условий труда по АПФД, несмотря на проведение различных технических мероприятий в угольных шахтах, концентрация пыли в атмосфере забоев во много раз превышает предельно допустимые значения (ПДК) [27]. Для снижения пылевой экспозиции работникам выдают средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) – фильтрующие полумаски (респираторы), обеспечение которыми регламентировано Приказами Минтруда РФ № 766н и № 767н от 29 октября 2021 г. Следует отметить, что в данных приказах, а также в разрабатываемых на их основе локальных нормативных актах по нормам выдачи средств индивидуальной защиты (СИЗ) в отношении СИЗОД не конкретизируется их количество, предоставляемое одному работнику, а, как правило, указывается информация – «до износа». При этом износ полумаски по факту может произойти значительно позже, нежели респиратор забьется пылью, что приведет к увеличению сопротивления дыханию и заставит рабочего преждевременно снять СИЗОД и трудиться оставшуюся часть смены без него.

Требования к респираторам регламентированы ГОСТ 12.4.294-2015 (EN 149:2001+A1:2009) «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей». К основным контролируемым характеристикам респираторов относятся:

- коэффициент проникания через фильтрующую полумаску;
- проницаемость фильтрующего материала;
- начальное сопротивление воздушному потоку;
- устойчивость к запылению.

По степени защиты фильтрующие полумаски (от англ. Filtering Face Piece, сокращенно – FFP) делятся на 3 класса:

- FFP1 (низкой эффективности, защищают от аэрозолей с концентрацией твердого вещества в воздухе не более 4 ПДК, задерживают до 80% взвешенных частиц, содержащихся во вдыхаемом воздухе);
- FFP2 (средней эффективности, могут обеспечить защиту на 94% от пыли, концентрация которой в воздухе не превышает 12 ПДК);
- FFP3 (высокой эффективности, защищают на 99% от проникновения в организм вредных веществ, концентрация которых составляет не более 50 ПДК).

Остается неясным, как учитывается влияние дисперсного состава и вида пыли на эффективность защитного действия респираторов в приведенной классификации. В методике по определению устойчивости к запылению, содержащейся в вышерассмотренном стандарте, в качестве основного аэрозоля, воздействующего на органы дыхания, рассматривается только доломитовая пыль одного грансостава при одном значении запыленности. В реальных горных выработках при ведении горных работ даже в рамках одной шахты состав и параметры пылевого аэрозоля очень вариатив-

ны. Взвешенная в воздухе пыль может отличаться как по дисперсному, так и химическому и марочному составу, что нельзя не учитывать при выборе СИЗОД. В рассмотренной классификации также не конкретизируется, какой вид ПДК имеется в виду: среднесменная или максимально разовая, что непосредственно влияет на защитные свойства фильтрующих полумасок и продолжительность их «работоспособности».

Кроме того, положительный эффект действия респираторов может быть нивелирован отказом работников от их ношения в отсутствие контроля со стороны начальства. Такая позиция может быть объяснена рядом банальных причин:

- низкой эргономичностью респиратора (например, наличие металлического фиксатора, «впивающегося» в переносицу);
- негерметичностью прилегания полумаски, приводящей к попаданию пыли в подмасочное пространство;
- запотеванием защитных очков при интенсивной работе;
- затруднением дыхания в случае забивания респиратора пылью [34, 35].

Исходя из практического опыта, на многих предприятиях, в т.ч. угольных шахтах, к вопросу выбора СИЗОД для обеспечения рабочих подходят без должного обоснования. Выбор падает, как правило, на наиболее дешевые модели респираторов с низкой и средней эффективностью. В ряде случаев приобретаются, наоборот, положительно зарекомендовавшие себя, проверенные модели с более высокой ценой, в частности иностранных фирм, например, 3М.

В первом случае применяемые фильтрующие полумаски могут не отвечать в полной мере тем условиям по запыленности, в которых находятся горнорабочие, машинисты комбайнов, машинисты крепи, электрослесари и другие категории работников шахт, а выдавае-

мого на смену одного респиратора может быть недостаточно. Следовательно, работники не будут защищены надлежащим образом от АПФД, что увеличивает риски развития соответствующих профзаболеваний. Во втором случае выдача всем категориям наиболее эффективных, но и дорогих СИЗОД экономически не оправдана.

Поэтому авторами предлагается использовать дифференцированный подход к обеспечению фильтрующими полумасками (респираторами) работников угольных шахт. В основе этого подхода лежит определение в лабораторных условиях эффективности и требуемого количества респираторов, исходя из фактической пылевой нагрузки и типа воздействующей пыли.

Так как в настоящее время в России взят курс на импортозамещение во многих отраслях промышленности, то представляет интерес проведение исследования защитных свойств моделей респи-

раторов отечественного производства, широко используемых в горной промышленности [26 – 28]. Целью представленной работы было определение пригодности и числа фильтрующих полумасок, необходимых работникам на смену для обеспечения их максимальной защиты в определенных «пылевых» условиях.

С учетом того, что число профзаболеваний, обусловленных воздействием производственной пыли, у подземного персонала угольных шахт находится на стабильном и высоком уровне, данное направление исследований является актуальным [29, 31].

### Методика и методы

Для проведения лабораторных исследований были взяты наиболее доступные и распространенные на российских горных предприятиях модели респираторов различных классов защиты (рис. 2), основные параметры которых приведены в табл. 1.

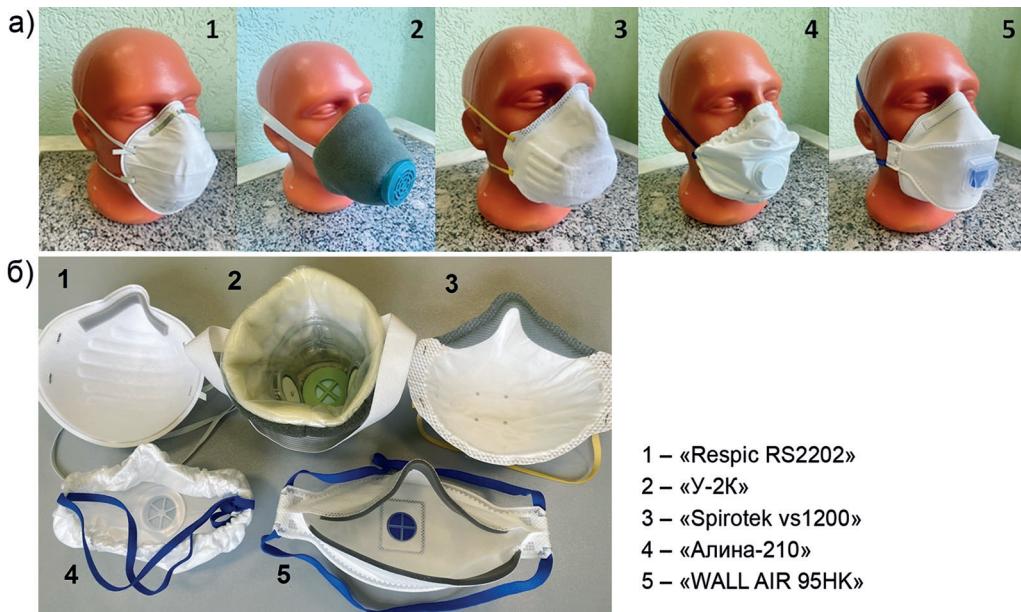


Рис. 2. Респираторы, взятые для проведения исследования: внешняя сторона (а); внутренняя сторона (б) [составлено авторами]

Fig. 2. Investigated Filtering Face Pieces: the outer side (a); the inside (b) [compiled by the authors]

Таблица 1

**Основные характеристики исследованных фильтрующих полумасок  
[составлена авторами на основании информации из каталогов СИЗ и интернет-источников]**  
**Main characteristics of the investigated Filtering Face Pieces [compiled by based on information from PPE catalogs and Internet sources]**

Наименование параметра	Respic RS2202	У-2К	Spirotek vs1200	Алина-210	WALL AIR 95НК
Класс защиты	FFP2 (до 12 ПДК)	FFP1 (до 4 ПДК)	FFP2 (до 12 ПДК)	FFP2 (до 12 ПДК)	FFP3 (до 50 ПДК)
Тип веществ	пыли средней токсичности, древесная, цементная, угольная, металлическая, минеральная, пыль удобренний и пигментов масла и воды	пыли различных видов: радиоактивная, растительная, животная, металлическая, минеральная, пыль удобренний и пигментов масла и воды	пыль угольная с содержанием диоксида кремния не более 10% SiO <sub>2</sub> , алюминиевая, кварцевая, медная, алмазная, ванадиевая, титановая, бариевая	высоко- и среднедисперсные аэрофлокулы: минеральная, металлическая, цементная, текстильная, строительная, древесная, стекловолокнистых материалов, сварочные аэрозоли	пыли: минеральная, металлическая, цементная, текстильная, строительная, древесная, стекловолокнистых материалов, сварочные аэrozoli
Тип конструкции	формованный	неформованный	формованный	неформованный	формованный
Возможность повторного использования	нет	нет	нет	нет	нет
Наличие клапана выдоха	нет	есть	нет	есть	есть
Масса брутто, г	45	60	18	18	15
Средняя Цена за однушку полумаску, руб.	38	65	65	69	185
Страна производства	Россия	Россия	Китай	Россия	Россия
О отличительные особенности	внешний слой – полипропилен, внутренний – из гипоаллергенного материала	универсальный размер, включает несколько слоев: фильтрующий наружный из пенополиуретана внутренний из полизтиленовой пленки; снабжена одним клапаном выдоха и двумя клапанами вдоха, миними-зирующим скопление влаги в подмасочном пространстве	чашеобразной формы, без носового зажима, наличие фильтра электростатического действия, наличие слоя уплотнющего материала для улучшения обтюрации в носовой зоне; эргономичная форма, позволяющая использовать полу маску с защитными и корригирующими очками, полу маска не предназначена для лиц, носящих бороду	технология 3D FLEX-TO-FIT, 4-слойная (нетканый, сорбционный, фильтрующий, гипоаллергенный волокнистый слой), универсальный размер	трехслойная складная конструкция, мягкий уплотнитель для носа с функцией против запотевания очков; мягкий уплотнитель для подбородка эффективен при работе в условиях повышенной влажности

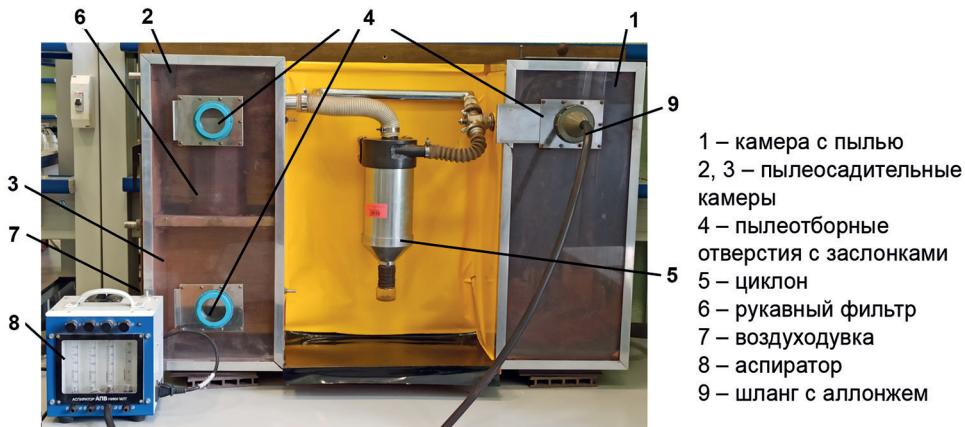


Рис. 3. Лабораторный стенд по оценке защитного действия респираторов [составлено авторами]

Fig. 3. Laboratory installation for evaluating the protective effect of Filtering Face Pieces [compiled by the authors]

Исследование проводилось на лабораторном стенде (рис. 3), состоящем из камеры 1, в которую подавалась угольная пыль, двух пылеосадительных камер 2 и 3, в одной из которых (2) установлен рукавный фильтр 6, циклона 5, расположенного после камеры 1 и предназначенного для очистки циркулирующего воздуха от грубодисперсной пыли, устройства для прокачки воздуха в замкнутом цикле (воздуходувки) 7, аспиратора 8 со шлангом и аллонжем 9, подсоединяемым к выходным отверстиям камеры 4.

В камеру 1 загружалась угольная пыль, отобранная из реального забоя действующей шахты, в таком количестве и такого грансостава, чтобы при включении воздуходувки создавались условия по запыленности, близкие к условиям высокопроизводительного очистного забоя. В частности, подавалась пыль с верхним пределом по крупности 63–80 мкм. Концентрация пыли, создаваемая в камере и поддерживаемая в ходе экспериментов, составляла порядка 140 мг/м<sup>3</sup>. При работе воздуходувки высыпанная в камеру пыль переходила во взвешенное состояние, обеспечивая необходимую запыленность. Прокачиваемый воздух перед попаданием в воздуходувку проходил

двуихстадийную очистку через циклон и рукавный фильтр. К выходному отверстию первой камеры подсоединялся аллонж с размещенным в нем фильтром АФА ВП-20, поверх которого устанавливались поочередно соответствующие по размеру образцы ткани фильтрующих полумасок.

Через аллонж с фильтром и материалом респиратора, герметично закрепленный на резьбе пылеотборного отверстия камеры, с помощью аспиратора АПВ-4 осуществлялся отбор проб воздуха. Исходный расход воздуха составлял 20 л/мин, что почти 10 м<sup>3</sup> за смену, с некоторым допущением соответствует частоте дыхания работника при выполнении им тяжелого труда (работ 3-й категории тяжести).

Для фиксации массы пыли, которая проходила сквозь фильтрующий материал респиратора, каждые 10 мин осуществлялось взвешивание фильтра, расположенного под материалом полумаски, и замена его новым. Смена исследуемых образцов материала респираторов проводилась только в конце всего эксперимента, общая продолжительность которого для одного образца материала составила 160 мин без учета перерывов на замену фильтров.

В качестве одного из критериев, по которому возможно определить необходимость замены респиратора, является снижение расхода воздуха аспиратором, моделирующим, по сути, дыхание человека. При этом необходимо учитывать и способность респиратора не пропускать через свою поверхность пыль определенной крупности.

Значительное падение (на 25% и более) расхода воздуха, прокачиваемого аспиратором, на практике будет означать весомое увеличение сопротивления дыханию работника вследствие забивки полумаски пылью и может служить индикатором необходимости ее смены на новую. Определив на лабораторном стенде время, начиная с которого происходит снижение расхода воздуха на приведенную выше величину, можно определить общее количество фильтрующих полумасок, необходимых работнику в конкретных условиях на смену.

### Результаты и обсуждения

На основании результатов проведенных исследований были построены графики изменения расхода воздуха, прокачиваемого аспиратором, по мере уве-

личения времени воздействия пылевой экспозиции (рис. 4).

Как уже было ранее отмечено, по величине снижения расхода воздуха можно судить об увеличении сопротивления дыханию и наступлению «респираторного дискомфорта», который вынудит работника прекратить использование фильтрующей полумаски.

Постоянство расхода воздуха в первые 40–50 мин отмечается у полумасок «Respic RS2202», «Spirotek vs1200», «У-2К» и «WALL AIR 95HK». При пропускании запыленного воздуха через респиратор «Алина-210» расход воздуха снижается незначительно (на 1 л/мин) уже через 30 мин, далее остается постоянным до 80-й минуты. Дольше всего – в течение 80 и 90 мин соответственно – расход воздуха остается неизменным при использовании полумасок «Respic RS2202» и «WALL AIR 95HK». На 90-й минуте у «Respic RS2202» отмечается резкое падение расхода воздуха на 35% (до 13 л/мин), который продолжает снижаться до 120-й минуты, достигнув минимума в 6 л/мин. Дальнейшее увеличение времени пылевой экспозиции не приводит к изменению сопротивления.

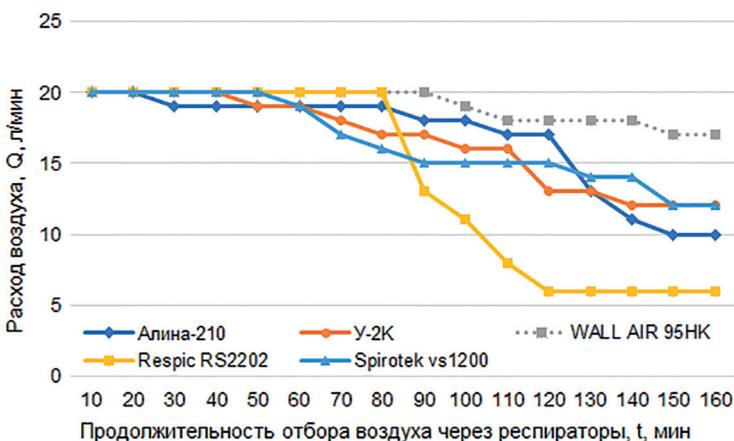


Рис. 4. Динамика снижения расхода воздуха при использовании образцов фильтрующих полумасок с разным классом защиты [составлен авторами]

Fig. 4. Dynamics of air consumption decrease in used samples of filtering face pieces with different protection classes [compiled by the authors]

В данном случае резкое снижение расхода воздуха на 90-й минуте говорит о невозможности дальнейшего использования данного респиратора и необходимости его замены на новый. На наш взгляд, при падении расхода воздуха, просасываемого через фильтрующую полумаску, на 25% создается значительное сопротивление дыханию, не позволяющее выполнять работу с первоначальной интенсивностью. В данном случае рекомендуется смена полумаски на новую. При падении расхода воздуха более чем на 50% работать в таких условиях опасно и замена респиратора обязательна.

Значения временных интервалов, через которые исследованные образцы полумасок забиваются пылью на 25 и 50%, представлены в табл. 2.

Исходя из полученных результатов, с точки зрения устойчивости к запылению лучше всего зарекомендовала себя полумаска «WALL AIR 95HK», при использовании которой отмечается незначительное снижение расхода воздуха, которое даже по истечении 2 ч 40 мин не превысило 20% (3 л/мин). Однако за время измерения в подмасочном пространстве данного респиратора (на фильтре под фильтрующим слоем полумаски) накопилось наибольшее количество пыли — 165 мг. Для сравнения масса пыли, осевшей на фильтре при испытании фильтрующего материала «Respic RS2202», составила 37 мг, У-2К — 40 мг, Spirotek vs1200 — 41 мг, «Алина-210» — 45 мг. Поэтому расход воздуха был примерно постоянен, так как значительная часть пыли не задерживалась на полумаске, создавая сопротивление просасыванию воздуха, а проходила через нее и задерживалась на фильтре. Выявленная особенность может быть объяснена тем, что рассматриваемый респиратор «WALL AIR 95HK» был либо бракованный, что визуально не замечено, либо не подходит для защиты органов дыхания от мелкодисперсной угольной пыли при создаваемой пылевой нагрузке.

Хотелось бы обратить внимание на то, что используемые в настоящее время методики испытания респираторов на предмет их устойчивости к запылению должны быть более адаптированы к тем условиям, в которых предполагается их применение. Как показали опыты, полумаска «WALL AIR 95HK» наиболее высокого класса защиты оказалась наименее эффективной в отношении задерживания угольной пыли. И наоборот, полумаска «У-2К», относящаяся к 1-му классу защиты (нижнему), по совокупно-

Таблица 2

**Параметры сопротивляемости полумасок запылению [составлена авторами]**  
**Parameters of resistance of Filtering Face Pieces to dusting [compiled by the authors]**

Характеристика загрязненности полумаски	Время, через которое увеличивается сопротивление дыханию при использовании фильтрующей полумаски, мин				
	Respic RS2202	У-2К	Spirotek vs1200	Алина-210	WALL AIR 95HK
Относительно чистая (без увеличения сопротивления дыханию)	до 80	до 40	до 50	до 20	до 90
Запыленная (падение расхода воздуха на 25%)	80 – 90	110 – 120	90	120 – 130	н/д
Крайне запыленная (падение расхода воздуха на 50%)	100 – 110	н/д	н/д	150	н/д

\* н/д — не достигается (не установлено) за время эксперимента в течение 160 мин.

сти параметров — массе накопившейся пыли и падению расхода воздуха, показала наиболее оптимальные результаты.

Таким образом, проведя ряд исследований по описанной выше методике для различных по вещественному и дисперсному составу аэрозолей с соответствующей концентрацией пылевых частиц, отражающей реальную пылевую обстановку на конкретном рабочем месте того или иного работника, можно выбрать наиболее подходящий для этих целей респиратор и рассчитать необходимое на смену количество.

### **Заключение**

В данной работе предложен подход к выбору эффективной модели респиратора с максимальным временем наступления «дыхательного дискомфорта», указывающего на необходимость замены СИЗОД при работах разной категории тяжести. Установлены зависимости снижения расхода воздуха от продолжи-

тельности ношения респираторов для моделей различных классов защиты.

На основе результатов исследований по изложенной методике можно также определить время эффективного использования респираторов разных марок и рассчитать их количество, необходимое на смену. Это позволит более обоснованно, в том числе с экономической точки зрения, подходить к вопросу обеспечения СИЗОД работникам. Данное направление исследований, на наш взгляд, является перспективным и требует дальнейшей проработки. После установления оптимальных сроков использования фильтрующих полумасок, обеспечения работников СИЗОД в необходимом количестве, с целью предупреждения нарушений, связанных со снятием респираторов, не лишним будет предложить мероприятия по контролю за своевременной их сменой и ношением.

Данные аспекты планируется осветить в последующих статьях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 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 // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2022. – № 1. – С. 107 – 115. DOI: 10.33271/nvngu/2022-1/107.
2. 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.
3. 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.
4. Gandler S., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone // Resources. 2021, vol. 10, no. 20, pp. 1 – 14. DOI: 10.3390/resources10030020.
5. Мохнатчук 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. – № 63(2). – С. 88 – 93. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-2-88-93.
6. 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. – № 63(6). – С. 419 – 426. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-419-426.

7. Каледина Н. О., Малашкина В. А. Индикаторная оценка надежности функционирования шахтных вентиляционно-дегазационных систем // Записки Горного института. – 2021. – Т. 250. – С. 553 – 561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.
8. 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.
9. 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.
10. Eremeeva A. M., Kondrasheva N. K., Khasanov A. F., Oleynik I. L. Environmentally friendly diesel fuel obtained from vegetable raw materials and hydro-carbon crude // Energies. 2023, vol. 16, no. 5, article 2121, pp. 1 – 12. DOI: 10.3390/en16052121.
11. Казанин О. И., Ильинец А. А. Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 41 – 48. DOI: 10.31897/PMI.2022.1.
12. Хоменко А. О., Якшина Н. В., Мушников В. С., Ильин С. М., Самарская Н. А., Чекмарева М. А. Влияние вибраакустических факторов на безопасность и здоровье работников промышленных предприятий // Экономика труда. – 2022. – Т. 9. – № 12. – С. 2175 – 2196. DOI: 10.18334/et.9.12.116410.
13. Мартынова Н. А., Кислицына В. В. Профессиональная заболеваемость шахтеров (обзор литературы) // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2017. – № 5. – С. 46 – 52. DOI: 10.5281/zenodo.1115460.
14. 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.
15. Фомин А. И. Анализ условий и охраны труда на предприятиях угольной отрасли Кузбасса // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2020. – № 3. – С. 57 – 61. DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.53.88.007.
16. Макаров В. Н., Макаров Н. В., Угольников А. В., Свердлов И. В. Энергоэффективная технология локализации техногенных аварий в шахтах на базе математической модели гидровихревой коагуляции // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019. – № 2. – С. 118 – 127. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-2-118-127.
17. Забурдяев В. С. Прогноз и предотвращение рисков формирования взрывоопасных смесей в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 6. – С. 65 – 69. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-65-69.
18. Luo Y., Wang D., Cheng J. Effects of rock dusting in preventing and reducing intensity of coal mine explosions // International Journal of Coal Science and Technology. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 102 – 109. DOI: 10.1007/s40789-017-0168-z.
19. Ворошилов Я. С., Фомин А. И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли // Уголь. – 2019. – № 4. – С. 20 – 25. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24.
20. Габов В. В., Нгуен Van Суан, Задков Д. А., Чан Даык Тхою Увеличение содержания крупных фракций в добываемой массе угля комбайном с использованием парных срезов // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 764 – 770. DOI: 10.31897/PMI.2022.66.
21. Чеботарев А. Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий // Горная промышленность. – 2018. – № 3. – С. 66 – 70. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70.
22. Коршунов Г. И., Каримов А. М., Магомедов Г. С., Толькин С. А. Снижение аэротехногенного воздействия респирабельной фракции пыли на персонал карьера при проведении массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 132 – 144. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_132.

23. Корнева М. В. Разработка и обоснование мероприятий по снижению концентрации тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле угольных шахт: Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГУ, 2020. – 20 с.
24. Иванов А. В., Смирнов Ю. Д., Чупин С. А. Разработка концепции инновационной лабораторной установки для исследования пылящих поверхностей// Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 757 – 766. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.15.
25. Бухтияров И. В., Чеботарев А. Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. – 2018. – № 5. – С. 33 – 36. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35.
26. 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.
27. Корнев А. В., Спицын А. А., Коршунов Г. И., Баженова В. А. Обеспечение пылевзрывобезопасности подземных горных выработок в угольных шахтах: методы и современные тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 133 – 149. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_133.
28. Курносов И. Ю. Оценка влияния параметров орошения на скорость пылеосаждения в горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 150 – 162. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_150.
29. Borowski G., Smirnov Y. D., Ivanov A. V., Danilov A. S. Effectiveness of carboxymethyl cellulose solutions for dust suppression in the mining industry // International Journal of Coal Preparation and Utilization. 2020, vol. 1, no. 1, pp. 1 – 13. DOI: 10.1080/19392699.2020.1841177.
30. 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.
31. Xiaoxue Liao, Bo Wang, Liang Wang, Jintuo Zhu, Peng Chu, Zibin Zhu, Siwen Zheng 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.
32. Скопинцева О. В., Вертинский А. С., Иляхин С. В., Савельев Д. И., Прокопович А. Ю. Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // Горный журнал. – 2014. – № 5. – С. 17 – 20.
33. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V., Pekarchuk D. S., Orlov F. A. Analysis of methane and dust explosions in modern coal mines in Russia // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1917 – 1929.
34. 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.
35. Сараев И. В., Бубнов А. Г. Разработка методики выбора средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения пожарных на основе показателя относительной общей пользы // Технологии гражданской безопасности. – 2017. – Т. 14. – № 1 (51). – С. 76 – 79. ГИАБ

## REFERENCES

1. 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. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022, vol. 1, pp. 107 – 115. DOI: 10.33271/nvngu/2022-1/107.
2. 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.

3. Glebova E. V., Volokhina A. T., Vikhrov A. E. Assessment of the efficiency of occupational 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.
4. Gandler S., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. *Resources*. 2021, vol. 10, no. 20, pp. 1 – 14. DOI: 10.3390/resources10030020.
5. Mokhnachuk I. I., Piktushanskaya T. E., Bryleva M. S., Betts K. V. Workplace mortality at coal industry enterprises of Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023, no. 63(2), pp. 88 – 93. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-2-88-93.
6. Tikhonova G. I., Piktushanskaya T. E., Gorchakova T. Yu., Serebryakov P. V. Life expectancy of coal miners with an established diagnosis of occupational diseases. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022, no. 63(6), pp. 419 – 426. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-419-426.
7. Kaledina N. O., Malashkina V. A. Indicator assessment of the reliability of mine ventilation and degassing systems functioning. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 553 – 561. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.
8. 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.
9. 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.
10. Eremeeva A. M., Kondrasheva N. K., Khasanov A. F., Oleynik I. L. Environmentally friendly diesel fuel obtained from vegetable raw materials and hydro-carbon crude. *Energies*. 2023, vol. 16, no. 5, article 2121, pp. 1 – 12. DOI: 10.3390/en16052121.
11. Kazanin O. I., Ilinets A. A. Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 41 – 48. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.1.
12. Khomenko A. O., Yakshina N. V., Mushnikov V. S., Ilyin S. M., Sa-marskaya N. A., Chekmareva M. A. The influence of vibroacoustic factors on the safety and health of industrial employees. *Ekonomika truda*. 2022, vol. 9, no. 12, pp. 2175 – 2196. [In Russ]. DOI: 10.18334/et.9.12.116410.
13. Martynova N. A., Kislytsyna V. V. The occupational morbidity of the miners (literature review). *Health. Medical ecology. Science*. 2017, no. 5, pp. 46 – 52. [In Russ]. DOI: 10.5281/zenodo.1115460.
14. 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.
15. Fomin A. I. Analysis of conditions and labor protection at enterprises of Kuzbass coal industry. *Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Environmental Safety*. 2020, no. 3, pp. 57 – 61. [In Russ]. DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.53.88.007.
16. Makarov V. N., Makarov N. V., Ugolnikov A. V., Sverdlov I. V. Energy-efficient technology of technogenic accidents containment in mines based on a numerically simulated model of hydro vortex coagulation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2019, no. 2, pp. 118 – 127. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-2-118-127.
17. Zaburdaev V. S. Prognosis and prevention of risks of formation of explosive mixtures in coal mines. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 6, pp. 65 – 69. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-65-69.
18. Luo Y., Wang D., Cheng J. Effects of rock dusting in preventing and reducing intensity of coal mine explosions. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 102 – 109. DOI: 10.1007/s40789-017-0168-z.

19. Voroshilov Ya. S., Fomin A. I. The influence of coal dust on the occupational morbidity of coal industry workers. *Ugol'*. 2019, no. 4, pp. 20–25. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24.
20. Gabov V. V., Xuan N. V., Zadkov D. A., Tho T. D. Increasing the content of coarse fractions in the mined coal mass by a combine using paired cuts. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 764–770. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.66.
21. Chebotarev A. G. Risks of development of occupational diseases of dust etiology in workers of mining enterprises. *Russian Mining Industry Journal*. 2018, no. 3, pp. 66–70. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70.
22. Korshunov G. I., Karimov A. M., Magamedov G. S., Tyulkin S. A. Reduction of respirable dust-induced impact on open pit mine personnel in large-scale blasting. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 7, pp. 132–144. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_132.
23. Korneva M. V. *Razrabotka i obosnovanie meropriyatiy po snizheniyu kontsentratsii tonkodispersnykh fraktsiy v pylevom aerozole ugol'nykh shakht* [Development and justification of measures to reduce the concentration of fine fractions in the dust aerosol of coal mines], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, SPbGU, 2020, 20 p.
24. Ivanov A. V., Smirnov Y. D., Chupin S. A. Development of the concept of an innovative laboratory installation for the study of dust-forming surfaces. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 757–766. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.15.
25. Bukhtiyarov I. V., Chebotarev A. G. Hygienic problems of improving working conditions at mining enterprises. *Russian Mining Industry Journal*. 2018, no. 5, pp. 33–36. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35.
26. 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.
27. Kornev A. V., Spitsyn A. A., Korshunov G. I., Bazhenova V. A. Preventing dust explosions in coal mines: Methods and current trends. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 3, pp. 133–149. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_133.
28. Kurnosov I. Y. Effect of operational parameters of spraying on dust suppression rate in roadways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 3, pp. 150–162. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_150.
29. Borowski G., Smirnov Y. D., Ivanov A. V., Danilov A. S. Effectiveness of carboxymethyl cellulose solutions for dust suppression in the mining industry. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2020, vol. 1, no. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1080/19392699.2020.1841177.
30. 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.
31. Xiaoxue Liao, Bo Wang, Liang Wang, Jintuo Zhu, Peng Chu, Zibin Zhu, Siwen Zheng. 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.
32. Skopintseva O. V., Vertinskiy A. S., Ilyakhin S. V., Savelev D. I., Prokopovich A. Yu. Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no. 5, pp. 17–20. [In Russ].
33. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V., Pekarchuk D. S., Orlov F. A. Analysis of methane and dust explosions in modern coal mines in Russia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1917–1929.
34. 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 due to their treatment 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.

35. Saraev I. V., Bubnov A. G. Development of a methodology for the selection of personal protective equipment for respiratory organs and vision of firefighters based on the indicator of relative overall benefit. *Civil security technology*. 2017, vol. 14, no. 1 (51), pp. 76–79. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кольвах Константин Андреевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
ассистент, e-mail: kaaspmin@yandex.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465,

Корnev Антон Владимирович<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,

Туманов Максим Валентинович<sup>1</sup> – канд. мед. наук,  
доцент, e-mail: maxfog@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-3795-1005,

Любимова Анастасия Леонидовна<sup>1</sup> – студент,  
e-mail: anastasua1@mail.ru,  
ORCID ID: 0009-0007-7394-3500,

Родионов Владимир Алексеевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: Rodionov\_VA@pers.spmi.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-2398-5829,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

**Для контактов:** Корнев А.В., e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

K.A. Kolvakh<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant, e-mail: kaaspmin@yandex.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465,

A.V. Kornev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,

M.V. Tumanov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Med.),  
Associate Professor, e-mail: maxfog@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-3795-1005,

A.L. Lyubimova<sup>1</sup>, Student,  
e-mail: anastasua1@mail.ru,  
ORCID ID: 0009-0007-7394-3500,

V.A. Rodionov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Associate Professor,  
e-mail: Rodionov\_VA@pers.spmi.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-2398-5829,

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University,  
199106, Saint-Petersburg, Russia.

**Corresponding author:** A.V. Kornev, e-mail: Kornev\_AV@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 17.06.2023; получена после рецензии 07.08.2023; принята к печати 10.08.2023.  
Received by the editors 17.06.2023; received after the review 07.08.2023; accepted for printing 10.08.2023.

