ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(11-1):152-166
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.8:614.894.3:613.62 DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_152

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ПОЛУМАСОК РАБОТНИКАМИ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А.В. Корнев[1], И.А. Барабошкин[1], Ю.С. Олефиренко[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru

Аннотация: Профессиональные заболевания органов дыхания (хроническая обструктивная болезнь легких, пылевые бронхиты, пневмокониозы) являются одними из наиболее распространенных среди работников угольной отрасли. Основной причиной их развития является длительный контакт с тонкодисперсной угольной и углепородной пылью, концентрация которой в воздухе горных выработок превышает предельно допустимую. В условиях недостаточного обеспыливания рудничной атмосферы коллективными средствами ключевым мероприятием по снижению пылевой нагрузки остается использование средств индивидуальной защиты – фильтрующих полумасок (респираторов). На практике эффективность респираторов снижается из-за несоответствия их параметров реальной пылевой обстановке и резкого увеличения сопротивления дыханию, приводящего к преждевременному отказу работников от использования полумасок. Цель исследования – разработка рекомендаций по повышению эффективности применения фильтрующих полумасок работниками угольной отрасли. Представлен анализ факторов, обуславливающих профзаболеваемость пылевой этиологии, приведены результаты исследований начального сопротивления воздушному потоку и сопротивления дыханию образцов фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C» класса FFP 3 после запыления доломитовой и графитовой пылью. Установлено, что при воздействии доломитовой пыли по мере увеличения времени экспозиции сопротивление растет линейно, при воздействии графитовой пыли – экспоненциально и отмечается превышение максимально допустимого сопротивления (700 Па) полумаски после 3 ч запыления. Выявленные особенности позволяют предварительно рекомендовать использование в лабораторных испытаниях угольной или углепородной пыли вместо стандартизованной доломитовой для более корректной оценки защитных свойств фильтрующих полумасок, применяемых работниками угольной отрасли.

Ключевые слова: угольная отрасль, профессиональные заболевания, пылевая нагрузка, доломитовая и графитовая пыль, фильтрующие полумаски, начальное сопротивление воздушному потоку, устойчивость к запылению, сопротивление дыханию.

Для цитирования: *Корнев А. В., Барабошкин И. А., Олефиренко Ю. С.* К вопросу повышения эффективности применения фильтрующих полумасок работниками угольной отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 11-1. – С. 152–166. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_152.

© А.В. Корнев, И.А. Барабошкин, Ю.С. Олефиренко. 2026.

Regarding the issue of improving the effectiveness of using filtering half-masks by workers in the coal industry

A.V. Kornev[1], I.A. Baraboshkin[1], Y.S. Olefirenko[1]

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

Abstract: Occupational respiratory diseases (chronic obstructive pulmonary disease, dust-induced bronchitis, and pneumoconiosis) are among the most common occupational diseases affecting coal industry workers. The primary cause of their development is prolonged exposure to fine coal and coal-rock dust, the concentration of which in the air of mine workings exceeds the permissible exposure limit. In conditions of insufficient dust removal from the mine atmosphere using collective measures, the key measure to reduce the dust load remains the use of personal protective equipment – filtering half-masks (respirators). In practice, the effectiveness of respirators is reduced by the mismatch between their performance parameters and the actual dust conditions, as well as by a sharp increase in breathing resistance, which leads workers to discontinue using the half masks prematurely. The aim of the study is to develop recommendations for improving the effectiveness of using filtering half-masks by workers in the coal industry. The paper presents an analysis of the factors determining occupational morbidity of dust etiology, and presents the results of studies on the initial airflow resistance and breathing resistance of samples of «Delta Plus M1300V2C» filtering half-mask of FFP3 class after exposure to dolomite and graphite dust. It was established that, under exposure to dolomite dust, resistance increased linearly with increasing exposure time, whereas under exposure to graphite dust, it increased exponentially. In addition, the maximum permissible resistance of 700 Pa was exceeded after 3 hours of dust loading. These findings make it possible to preliminarily recommend the use of coal or coal-rock dust instead of standardized dolomite dust in laboratory tests, thereby enabling a more accurate assessment of the protective properties of filtering half masks used by coal industry workers.

Key words: coal industry, occupational diseases, dust load, dolomite and graphite dust, filter half masks, initial resistance to air flow, dust resistance, breath resistance.

For citation: Kornev A. V., Baraboshkin I. A., Olefirenko Y. S. Regarding the issue of improving the effectiveness of using filtering half-masks by workers in the coal industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(11-1):152-166. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_152.

Введение

В экономике и топливно-энергетическом комплексе Российской Федерации угольная отрасль сегодня играет важную роль, несмотря на ряд трудностей, с которыми ей приходится сталкиваться. К числу главных вызовов последнего времени можно отнести сокращение объемов экспорта угля вследствие переориентации внешних рынков сбыта, распространения политики декарбонизации, усложнения и увеличения логистических цепочек, влекущих за собой рост затрат на перевозку угля, а также повышение кредитных ставок, негативно сказывающееся на кредитоспособности угольных компаний и сопровождающееся падением цен на уголь на мировом рынке. Тем не менее в 2025 г. в РФ было добыто 436 млн т угля (429 млн т угля по данным Росстата), что соответствует тренду последних

5 лет, 186 млн т угля (211 млн т угля по данным Росстата) отправлено на экспорт. Доля угля в производстве электроэнергии во всем мире составляет в среднем 30 — 35% и достигает 50 — 80% в энергобалансе отдельно взятых стран (например, Китая, Индонезии, ЮАР и др.). Отмечается рост мирового энергои, в частности, углепотребления от 7,477 млрд т в 2020 г. до 8,771 млрд т угля в 2024 г. Предприятия угольной отрасли России, в которой задействовано порядка 140 тыс. чел., зачастую являются градообразующими. Перспективными направлениями использования угля являются не только традиционные энергетика и металлургия, но и глубокая углехимия. В соответствии с энергетической стратегией РФ от 12.04.2025 на период до 2050 г. планируется наращивание объемов добычи угля (до 530 млн т к 2030 г.) с развитием направлений глубокой переработки [1 — 3].

Динамика внедрения в угольной отрасли высокопроизводительного оборудования положительно влияет на производительность труда, но в то же время приводит к росту концентрации неблагоприятных факторов производственной среды: формированию зон повышенного горного давления в массиве, интенсификации выделения метана и радона [4 — 6], образования и отложения взрывоопасной пыли [7], что увеличивает риски повреждения здоровья работников [8 — 10].

В настоящее время горная промышленность, в т.ч. угольная отрасль, остается одной из наиболее травмоопасных в стране [11 — 13]. Основными факторами, создающими угрозу для жизни и здоровья работников при ведении горных работ открытым и подземным способом, являются склонность горного массива к потере устойчивости в условиях динамического воздействия [14, 15], выбросы ядовитых и опасных газов и пыли [16 — 18], травмирующее воздействие вращающихся элементов оборудования и техники. В 2025 г. на 2383 объектах горной отрасли (шахты, разрезы) было зафиксировано 1881 пострадавших в результате произошедших несчастных случаев. Большая часть травмированных пришлась на Кемеровскую область (Кузбасс), где расположено более 80% предприятий угольной отрасли [19].

Наряду с риском производственного травматизма увеличивается интенсивность воздействия вредных производственных факторов, способствующих развитию профессиональных заболеваний. К числу наиболее распространенных относятся шум и вибрация [20], взвешенная в воздухе углепородная пыль, обладающая преимущественно фиброгенным типом действия [21 — 23]. Вдыхание частиц пыли торакальной фракции (размером около 10 — 40 мкм) приводит к развитию пылевого бронхита, а частиц респирабельной фракции (размером менее 5 — 10 мкм) — к хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) и пневмокониозу (в частности, силикозу и антракосиликозу) [23 — 25].

Простая форма пневмокониоза характеризуется образованием незначительных рубцов в легких, тогда как сложная форма сопровождается прогрессирующим массивным фиброзом. В обеих формах наблюдается разрушение кровеносных сосудов и альвеол легких, при этом рубцовая ткань утолщается и становится жесткой, что приводит к нарушению кислородного обмена, затрудняет дыхание, снижает работоспособность человека [24 — 26].

Согласно статистическим данным Роструда за 2025 г., 37% работников угледобывающих предприятий трудятся в условиях повышенного воздействия аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД). Удельный вес пневмокониозов в общей структуре профес-

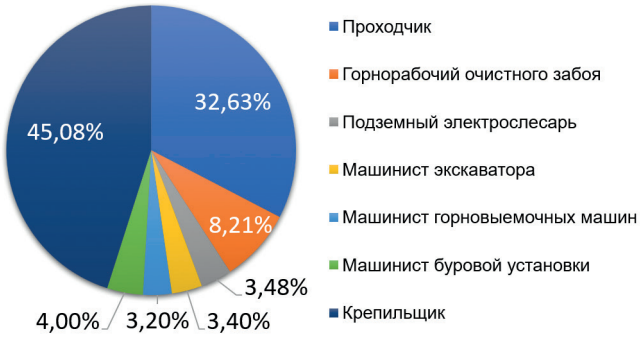


Рис. 1. Структура зарегистрированных случаев возникновения профзаболеваний среди мужчин в угольной отрасли по профессиям за 2024 г. [составлено авторами по данным государственного доклада Роспотребнадзора]

Fig. 1. Structure of occupational diseases registered among men in the coal industry by profession at 2024 year [compiled by the authors according to a Rospotrebnadzor report]

сиональной патологии составляет 38,15% по России в целом, а в отдельных регионах, например, в Ростовской области, на угольных шахтах он формирует больше половины всех диагнозов, установленных у работников [26 — 28].

Из данных Роспотребнадзора за 2024 г. следует, что среди работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, наибольшая доля профессиональных заболеваний пылевой этиологии приходится на лица со стажем 20 — 29 лет (36,14%), 10 — 19 лет (27,48%) и 30 — 39 лет (24,71%). Структура зарегистрированных случаев профзаболеваний среди мужчин в угольной отрасли по профессиям за 2024 г. представлена на рис. 1:

Среди основных причин, приводящих к развитию профессиональных заболе-

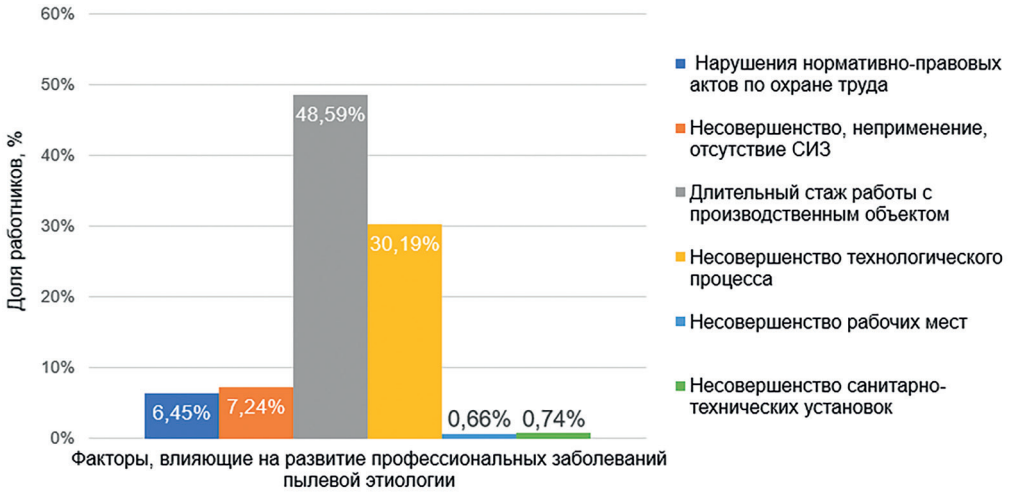


Рис. 2. Распределение основных причин возникновения профзаболеваний у работников угледобывающих предприятий за 2024 г. [составлено авторами по данным государственного доклада Роспотребнадзора]

Fig. 2. Distribution of the main causes of occupational diseases among workers in coal mining enterprises at 2024 year [compiled by the authors according to a Rospotrebnadzor report]

ваний органов дыхания у работников угледобывающих предприятий, отмечают длительный период работы в условиях повышенной запыленности, обусловленной несовершенством технологического процесса, и недостаточную эффективность применения средств индивидуальной защиты (СИЗ), связанную как с конструктивными недостатками фильтрующих полумасок (респираторов), так и с неправильным их применением или отказом от их использования (рис. 2).

Согласно данным Роспотребнадзора по Кемеровской области, уровень профессиональной заболеваемости за 2024 г. составил 7,11 на 10 000 работающего населения, что превышает общероссийские показатели в 8 раз. В 2024 г. в области на угледобывающих предприятиях зарегистрировано 263 профзаболевания от физических факторов, из которых 36 случаев связаны с воздействием АПФД.

Для снижения вероятности развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии применяются различные мероприятия и технологии (вентиляция, аспирация, предварительное увлажнение и пылеподавление водой и растворами смачивателей), снижающие интенсивность пылеобразования в горных выработках и запыленность [29—31]. К сожалению, их применение далеко не на всех рабочих местах позволяет обеспечить нормализацию пылевой обстановки и снижение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны до уровня предельно-допустимой концентрации (ПДК).

В связи с этим разработка рекомендаций по повышению эффективности использования средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) работниками угольной отрасли, что позволит в перспективе снизить вероятность «легочных» профзаболеваний, является целью представленного исследования.

Методы и методика исследования

В работе использован комплексный подход, включающий применение теоретических и экспериментальных методов исследования, проведение литературного обзора. Анализ отечественных и иностранных источников на предмет выяснения причин отклонений работников от требований обязательного применения СИЗОД позволил установить, что как на российских угледобывающих предприятиях, в частности на угольных шахтах, так и на иностранных (шахтах США, Австралии, Польши, Китая и др.) работники довольно часто снимают фильтрующие полумаски с лица преимущественно из-за появляющегося в процессе использования «дыхательного дискомфорта», создаваемого повышенным сопротивлением дыханию, увеличением температуры и влажности в подмасочном пространстве [32—34]. Кроме того, по мере «забивания» пылью фильтрующей полумаски повышается концентрация углекислого газа (CO_2) в подмасочном пространстве, снижается воздухо- и звукопропускная способность, что негативно сказывается на возможности общения между работниками и использовании полумасок совместно со средствами защиты глаз [34, 35].

В ходе анализа нормативно-технической базы в области оценки качества и эффективности защиты фильтрующих полумасок и нормирования их выдачи выявлено, что испытания респираторов на устойчивость к запылению с определением сопротивления дыханию проводятся только на доломитовой пыли специально подготовленного по дисперсности состава, а действующие приказы Министерства труда и социальной защиты № 766н и № 767 не регламентируют количество полумасок, которые необходимо выдавать работникам на рабочую смену. Производители СИЗОД, в свою очередь, также не прописывают в инст-

рукциях, на какое время рассчитана та или иная фильтрующая полумаска, а только дают рекомендации по ее замене в случае значительного увеличения сопротивления дыханию.

В связи с этим было принято решение провести экспериментальные исследования динамики сопротивления дыханию применяемых в настоящее время на предприятиях угольной отрасли образцов фильтрующей полумаски с использованием для запыления как классического тест-аэрозоля из доломитовой пыли, так и аэрозоля, включающего графитовую пыль, взятую в качестве аналога угольной пыли в некотором приближении.

На основе проведенного авторами анализа данных по тендерным закупкам средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) отечественных угледобывающих компаний с 2020 по 2026 гг., а также по данным запросов на предприятия установлено, что работники угольной отрасли используют модели одноразовых (NR) и многоразовых (R) фильтрующих полумасок различных классов защиты (от FFP1 до FFP3 с эффективностью от 80 до 99% соответственно) преимущественно российского, английского, американского и китайского производства. Наиболее применяемые в последнее время на разрезах и угольных шахтах следующие модели фильтрующих полумасок: «Spirotek VS 2200 AV FFP2 NR D» с клапаном; «Лепесток 40 АВ СБ кл FFP2 R D»; «СПИРО-312 А FFP2 R D»; «Алина-210 FFP2 NR D» с клапаном; «Spirotek SH3200V FF2 NR» с клапаном; «3M 9926P FFP2 NR D» с клапаном; «Delta Plus M1300V2C».

Среди полумасок со сменными фильтрами следует выделить полумаски «3M серии 7500 FFP3 R» и «У-2К», которые чаще всего применяются работниками угольных шахт.

Из-за низкой стоимости, простоты использования и отсутствия необходимости дополнительного обслуживания (стирки и обеззараживания) на сегодняшний день на горных предприятиях наибольшее распространение получили одноразовые фильтрующие полумаски.

С целью исследования влияния типа аэрозоля на величину сопротивления дыханию для проведения экспериментов были взяты образцы фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C» 3-го класса защиты, оснащенной клапаном (рис. 3).

Отбор, подготовка образцов полумаски и их испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12.4.294-2015 (EN 149:2001+A1:2009) «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей. Общие технические условия».

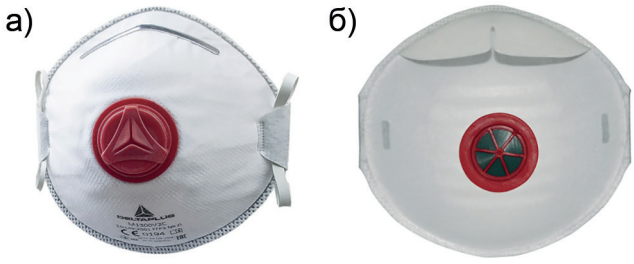
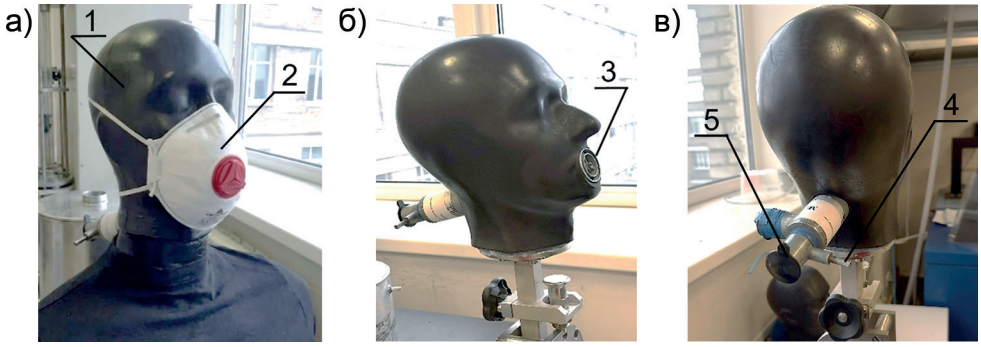


Рис. 3. Фильтрующая полумаска «Delta Plus M1300V2C», используемая в испытаниях: лицевая часть (а); внутренняя часть (б) [составлено авторами]

Fig. 3. The filtering half mask «Delta Plus M1300V2C» for testing: the half-mask front part (a); the half-mask inner part (b) [compiled by the authors]



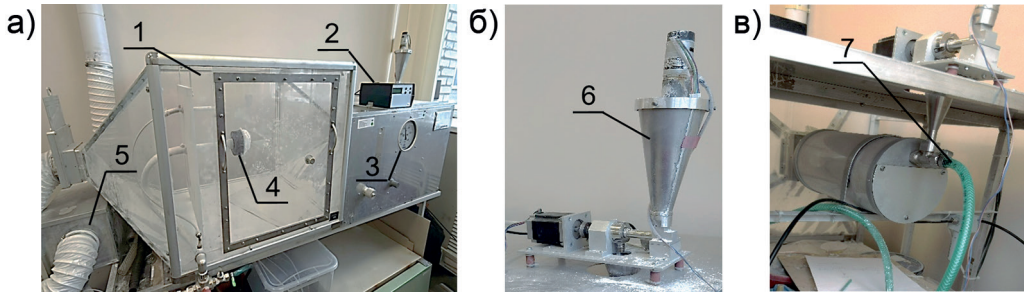
1 – антропометрическая основа; 2 – испытуемая полумаска «Delta Plus M1300V2C»; 3 – ротовая полость с дыхательными контурами; 4 – штуцер для подключения дифференциального манометра; 5 – точка подключения к дыхательной машине

Рис. 4. Манекен «голова Шеффилда» для определения сопротивления дыханию фильтрующих полумасок: лицевая часть (а); профиль (б); тыльная часть (в) [составлено авторами]

Fig. 4. Sheffield head model for determining the respiratory resistance of filtering half-masks: the front part (a); profile side (b); the back of the head (v) [compiled by the authors]

На первом этапе определялось начальное сопротивление воздушному потоку образцов «чистой» (незапыленной) полумаски с использованием сертифицированной установки, основными элементами которой являются манекен «голова Шеффилда» (рис. 4), дыхательная машина с расходомерами и дифференциальный манометр.

Фильтрующая полумаска плотно фиксировалась на лице манекена, после чего запускалась дыхательная машина, имитирующая процесс дыхания человека. Расход воздуха на вдохе устанавливался 30 и 95 дм^3/мин, на выдохе — 160 дм^3/мин. По окончании эксперимента регистрировались значения максимального сопротивления дыханию на вдохе и выдохе. В качестве итоговых результатов испытаний опытной партии полумасок принимались максимальные значения сопротивления дыханию на вдохе и выдохе при указанных расходах воздуха, которые сравнивались с допустимыми согласно ГОСТ 12.4.294-2015 параметрами.



1 – испытательная пылевая камера; 2 – электронный блок управления дозатором пыли; 3 – манометр; 4 – держатель полумаски; 5 – воздуховод вытяжной вентиляции; 6 – дозатор пыли; 7 – контур подачи воздуха

Рис. 5. Стенд испытательный FD-01 для определения устойчивости к запылению СИЗОД: общий вид (а); узел подачи пыли (б); узел подачи воздушного потока (в) [составлено авторами]

Fig. 5. Test stand FD-01 for determining the dust resistance of personal protective equipment: overall view (a); dust supply unit (b); air flow supply unit (v) [compiled by the authors]

На втором этапе проводились испытания фильтрующих полумасок на устойчивость к запылению. Основу испытательного стенда (рис. 5) составляют пылевая камера, устройство для подачи пыли с циклоном (смеситель-дозатор), пылемер, дыхательная машина, устройство, подающее к полумаске увлажненный и нагретый воздух, держатель полумаски.

Для создания тест-аэрозолей, необходимых для проведения испытаний, были взяты порошок доломита марки DRB 4/15, удовлетворяющего по дисперсному составу требованиям вышеуказанного стандарта, и порошок графита марки С-0, изготавливаемый по ТУ 23.99.14-004-32543162-2023. Графитовая пыль использовалась в качестве приближенного аналога угольной пыли, в наибольшей степени подходящего по дисперсному составу доломитовой пыли.

В пылевой камере на специальном держателе закреплялась испытуемая фильтрующая полумаска, к которой подсоединялась дыхательная машина, работающая в режиме 15 циклов в минуту и прокачивающая 2 дм^3 воздуха за ход. На выдох подавался воздух с относительной влажностью не менее 95% и температурой 37±3 °С, регистрируемой у ротового отверстия манекена. Непосредственно в камере поддерживались температура воздуха 23±2 °С и относительная влажность 40±5%.

В камеру равномерно подавалась пыль (порошок) и поступал стационарный воздушный поток с линейной скоростью 0,04 м/с и расходом 60 м^3/ч. В ходе всего времени испытаний в воздухе пылевой камеры поддерживалась концентрация пыли на уровне 400±15 мг/м^3 для доломита и 70±5 мг/м^3 для графита, контролируемая периодически пылемером. Общее время запыления одной фильтрующей полумаски составило 3 ч. Через каждый час определяли сопротивление дыханию запыленной фильтрующей полумаски на «голове Шеффилда» аналогично измерению начального сопротивления воздушному потоку при расходах воздуха 95 и 160 дм^3/мин на вдох и выдох соответственно. Полученные значения сопротивления дыханию при использовании доломитовой и графитовой пыли сравнивали с максимально допустимыми по ГОСТу и между собой.

Результаты

В таблице представлены результаты экспериментов по определению начального сопротивления воздушному потоку образцов фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C».

По итогам испытаний установлено, что величины максимального начального сопротивления воздушному потоку на вдохе и выдохе фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C», составившие 48, 155 и 108 Па при расходах воздуха 35, 95 и 160 дм^3/мин соответственно, ниже максимально допустимых более чем в 2 раза.

Испытания образцов фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C» на устойчивость к запылению показали существенные различия в сопротивлении дыханию полумасок, используемых в условиях воздействия «доломитового» аэрозоля, и полумасок, подвергшихся запылению графитовым порошком (рис. 6).

И в одном и в другом случае сопротивление дыханию на вдох респираторов за 3 ч испытаний заметно возросло: при запылении доломитовым порошком — в 2,36 раза, или на 136,1% (максимальное конечное значение — 366 Па, начальное — 155 Па), при запылении графитом — в 4,65 раза, или на 364,5% (максимальное конечное значение — 720 Па, начальное — 155 Па). При воздействии графитовой пыли на фильтрующую полумаску в течение 3 ч

Результаты испытаний образцов полумаски «Delta Plus M1300V2C» по определению начального сопротивления воздушному потоку [составлено авторами]
Test results for «Delta Plus M1300V2C» half-mask samples regarding the determination of initial airflow resistance [compiled by the authors]

№ образца	Начальное сопротивление воздушному потоку, Па					
	фактическое, при расходе воздуха			максимальное допустимое для полумасок класса FFP3 с клапаном		
	35 дм³/мин (вдох)	95 дм³/мин (вдох)	160 дм³/мин (выдох)	35 дм³/мин (вдох)	95 дм³/мин (вдох)	160 дм³/мин (выдох)
1	48	155	108	100	300	300
2	41	141	101			
3	46	147	106			
4	41	142	104			
5	47	151	105			
6	45	144	105			
7	48	154	108			
8	46	150	104			
9	46	149	103			
10	48	155	107			
11	46	147	105			
12	42	143	103			

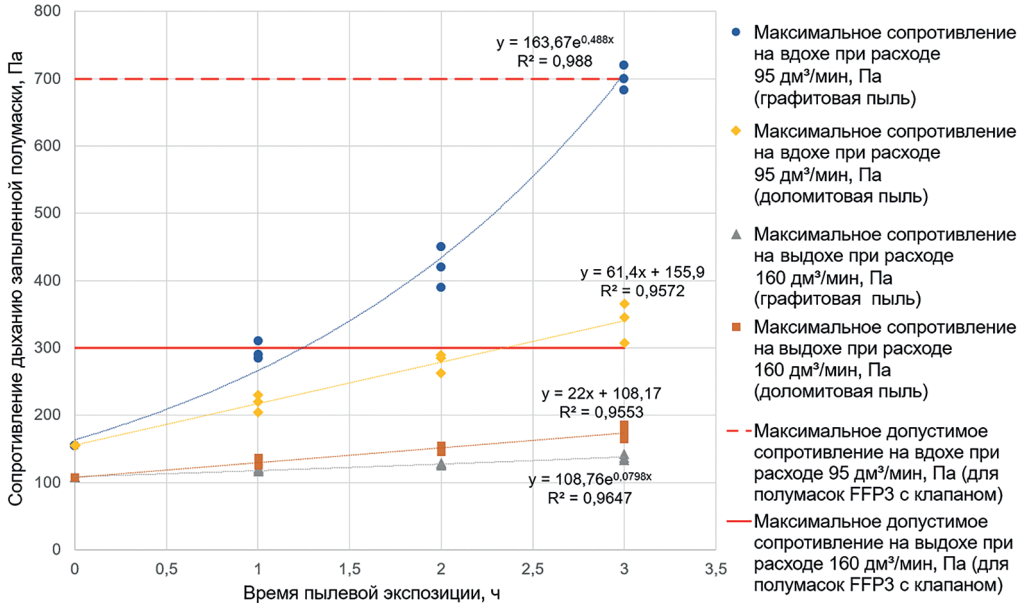


Рис. 6. Зависимость сопротивления дыханию фильтрующих полумасок от времени пылевой экспозиции доломитовым и графитовым аэрозолями [составлено авторами]
Fig. 6. The dependence of the breathing resistance of filtering half-masks on the duration of dust exposure to dolomite and graphite aerosols [compiled by the authors]

ее сопротивление дыханию на вдох стало в 1,97 раза больше по сравнению с результатами запыления доломитовой пылью и превысило максимально допустимую величину в 700 Па. Динамика изменения сопротивления дыханию на вдох фильтрующей полумаски «Delta Plus M1300V2C» при воздействии на нее доломитовой пыли описывается линейной зависимостью, в то время как при воздействии графитовой пыли — экспоненциальной.

Сопротивление дыханию фильтрующей полумаски на выдохе при воздействии как доломитовой, так и графитовой пыли возросло с течением времени не так стремительно, как на вдох, увеличившись за 3 ч на 31,5 — 72,2% (в 1,31 — 1,72 раза).

Обсуждение

Результаты проведенных исследований наглядно демонстрируют значительные различия в характере воздействия стандартизованного и промышленного аэрозолей на фильтрующую поверхность полумасок. Графитовая пыль, представляющая собой на микроуровне плоские «чешуйки», при движении воздуха в направлении от внешнего слоя полумаски к внутренней создает достаточно плотный, практически сплошной слой на ее поверхности, перекрывающий свободные поры материала по принципу «черепицы» и экстремально увеличивающий сопротивление дыханию. Наиболее мелкие частицы, обладая минимальным коэффициентом трения, могут легко проходить через неплотные волокна наружного слоя, накапливаясь в основном фильтрующем слое полумаски, значительно увеличивая ее сопротивление [36]. Частицы доломитовой пыли имеет осколочную, угловатую, ромбоэдрическую форму, что обуславливает высокую шероховатость их поверхности [37]. Такая форма частиц доломитовой пыли не позволяет создать плотный слой и резко перекрыть поры материала полумаски. В связи с этим сопротивление дыханию на вдох растет постепенно с течением времени. На выдох большее сопротивление дыханию оказывает доломитовая пыль, которая является гидрофильной и интенсивно напитывается влагой выдыхаемого воздуха. Происходит коагуляция частиц, которые с большей силой забивают поры, создавая более высокое сопротивление дыханию, нежели частицы графитовой гидрофобной пыли. Для исследованных фильтрующих полумасок с клапаном разница в сопротивлении на выдохе не столь значительная, как на вдохе.

Таким образом, выявленные зависимости свидетельствуют о необходимости проведения испытаний защитных свойств фильтрующих полумасок, предназначенных для работников угольной отрасли, не с «искусственным доломитовым» аэрозолем, а с характерным для реальных рабочих мест по химическому и дисперсному составу типом пыли. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности проведения дальнейших испытаний фильтрующих полумасок на угольной пыли с различных месторождений. При этом важно оценить не только влияние угольной пыли на сопротивление дыханию полумасок, но и на коэффициент проникания и проницаемость.

Заключение

Применение СИЗОД остается «финальным барьером» на пути уменьшения негативного воздействия пылевой нагрузки на органы дыхания работников, когда реализация всего комплекса технических решений не позволяет снизить запыленность на рабочих местах до уровня, допустимого гигиеническими нормативами. От качества и эргономичности СИЗОД, соответствия

их реальным условиям эксплуатации зависит фактическая эффективность защиты органов дыхания.

Как показали проведенные исследования, работники угольных шахт и разрезов довольно часто отказываются от использования фильтрующих полумасок вследствие стремительного роста сопротивления дыханию при их запылении. Причиной этому служат значительные различия в свойствах витающей в горных выработках угольной пыли и доломитовой пыли, используемой для проведения испытаний защитных свойств СИЗОД. Также на сегодняшний день отсутствует четкая инструкция, регламентирующая выдачу фильтрующих полумасок в зависимости от типа и параметров аэрозоля.

С целью повышения эффективности применения фильтрующих полумасок работниками угольной отрасли рекомендуется:

• исследование защитных свойств фильтрующих полумасок, в частности, испытания на устойчивость их к запылению, проводить не с доломитовой пылью, а с использованием угольной или углепородной пыли с составом и концентрацией, характерными для конкретных рабочих мест и допустимыми с точки зрения правил промышленной безопасности;

• осуществлять подбор респираторов исходя из особенностей пылевой обстановки на рабочих местах (среднесменной и максимальной концентрации пыли в воздухе, дисперсного и качественного состава аэрозоля);

• обеспечивать выдачу работникам фильтрующих полумасок в количестве, достаточном для «комфортной» работы в течение смены, исходя из времени, в течение которого будет достигнута величина максимального сопротивления дыханию при воздействии «реального», а не «типового» аэрозоля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матерова Е. С.*, *Аксенова Ж. А.*, *Пастернак С. Н.* Влияние показателей угольной промышленности на экономический рост российской экономики // Уголь. — 2025. — № 4. — С. 24—30. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-24-30.

2. *Зонова О. В.*, *Слесаренко Е. В.*, *Шевелева О. Б.*, *Чеканова В. С.* Перспективы развития угледобывающей отрасли России в условиях внешних шоков: сценарный подход // Уголь. — 2026. — № 6. — С. 17—20. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-6-17-20.

3. *Strizhenok A. V.*, *Bykova M. V.*, *Korotaeva A. E.* Extractive industries as a source of greenhouse gas emissions and the possibility of its natural sequestration under the climatic conditions of Central and Northern Eurasia // Journal of Ecological Engineering. 2024, vol. 25, no. 5, pp. 43—69. DOI: 10.12911/22998993/185585.

4. *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.

5. *Гендлер С. Г.*, *Степанцова А. Ю.*, *Попов М. М.* Обоснование безопасной эксплуатации закрытых угольных складов по газовому фактору // Записки Горного института. — 2025. — Т. 272. — С. 72—82.

6. *Коршунов Г. И.*, *Мироненкова Н. А.*, *Чижов О. В.*, *Полещук А. А.* Анализ результатов проведения поверхностной радоновой съемки на примере шахты Кузнецкого угольного бассейна // Безопасность труда в промышленности. — 2025. — № 11. — С. 81—86. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-11-81-86.

7. *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.

8. *Баловцев С. В.*, *Скопинцева О. В.*, *Куликова Е. Ю.*, *Рыбичев А. А.* Методология интегрированного управления аэрологическими рисками в угольных шахтах // Устойчивое развитие

горных территорий. — 2026. — Т. 18. — № 1. — С. 123—134. DOI: 10.21177/1998-4502-2026-18-1-123-134.

9. *Кабанов Е. И.* Анализ риска аварий на угольных шахтах с учетом человеческого фактора // Горный журнал. — 2023. — № 9. — С. 48—54. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07.

10. *Баловцев С. В.*, *Скопинцева О. В.*, *Куликова Е. Ю.*, *Рыбичев А. А.* Алгоритмы принятия решений по снижению аэрологических рисков в угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. — 2025. — Т. 17. — № 2. — С. 688—700. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-2-688-700.

11. *Кабанов Е. И.*, *Туманов М. В.*, *Сметанин В. С.*, *Романов К. В.* Инновационный подход к профилактике травм на горнодобывающих предприятиях на основе управления человеческим фактором // Записки Горного института. — 2023. — Т. 263. — С. 774—784.

12. *Родионов В. А.*, *Барджои Шоджаи Саид* Стратегия комплексной оценки профессиональных рисков воздействия вредных факторов производственной среды // Безопасность труда в промышленности. — 2025. — № 10. — С. 21—26. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-10-21-26.

13. *Korshunov G., Iliashenko I., Kovshov S.* An integrated risk-based method for assessment of occupational exposures in surface mining // Mining. 2025, vol. 5, no. 4, article 85. DOI: 10.3390/mining5040085.

14. *Афанасьев П. И.* Методологические основы взрывного разрушения горных пород при разработке месторождений открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 12. — С. 28—41. DOI: 10.25018/0236_ 1493_2025_12_0_28.

15. *Афанасьев П. И.*, *Белов А. А.* Оценка сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив по амплитудно-частотным характеристикам взрыва // Горная промышленность. — 2025. — № 3. — С. 138—145. DOI: 10.30686/1609- 9192-2025-3-138-145.

16. *Бабкин Р. С.*, *Кольвах К. А.*, *Барабошкин И. А.* Снижение выбросов оксидов азота при проведении массовых взрывов на открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 2. — С. 16—27. DOI: 10.25018/ 0236_1493_2025_2_0_16.

17. *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.

18. *Лисай В. В.*, *Смирнов Ю. Д.*, *Иванов А. В.*, *Боровски Г.* Исследование эффективности применения различных веществ для пылеподавления при перевалке гранулированной серы // Записки Горного института. — 2025. — Т. 271. — С. 108—119.

19. *Жестикова М. Г.*, *Васильченко Е. М.*, *Колмогоров А. Г.* Медико-социальная характеристика и результаты реабилитации пострадавших на производстве с тяжелой травмой в Кемеровской области — Кузбассе // Политравма. — 2025. — № 1. — С. 25—33. DOI: 10.24412/1819-1495-2025-1-25-33.

20. *Рудаков М. Л.*, *Дука Н. Е.* Моделирование акустического воздействия горного оборудования на персонал при добыче угля подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10. — С. 165—179. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

21. *Бухтияров И. В.*, *Зибарев Е. В.*, *Вострикова С. М.*, *Кравченко О. К.*, *Пиктушанская Т. Е.*, *Кузнецова Е. А.*, *Бессонова А. К.* Современное состояние условий труда в угольных шахтах России // Медицина труда и промышленная экология. — 2023. — № 63(6). — С. 348—358. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-348-358.

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. *Бугаева М. С.*, *Бондарев О. И.*, *Казицкая А. С.*, *Михайлова Н. Н.* Патогенетические основы системных морфологических проявлений пневмокониоза угольщика (обзор) // Здоровье населения и среда обитания. — 2024. — Т. 32. — № 2. — С. 66—74. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-2-66-74.

24. *Weissman D. N.* Progressive massive fibrosis: An overview of the recent literature // Pharmacology & Therapeutics. 2022, vol. 240, article 108232. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2022.108232.

25. *Бондарев О. И.*, *Бугаева М. С.*, *Герус А. Ю.*, *Кизиченко Н. В.* Морфологические предикторы риска для здоровья шахтёров в контексте клинических исследований // Гигиена и санитария. — 2024. — № 103(7). — С. 663—670. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-663-670.

26. *Almberg K. S.*, *Friedman L. S.*, *Rose C. S.*, *Go L. H. T.*, *Cohen R. A.* Progression of coal workers' pneumoconiosis absent further exposure // Occupational & Environmental Medicine. 2020, vol. 77, no. 11, pp. 748—751. DOI: 10.1136/oemed-2020-106466.

27. *Бондарев О. И.*, *Филимонов С. Н.*, *Бугаева М. С.*, *Уланова Е. В.*, *Кизиченко Н. В.* Цитологические изменения бронхолегочного гистиона у шахтёров-угольщиков // Гигиена и санитария. — 2024. — № 103(7). — С. 680—686. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-680-686.

28. *Горблянский Ю. Ю.*, *Пиктушанская Т. Е.*, *Панова М. А.*, *Конторович Е. П.*, *Понамарева О. П.* Бремя профессиональных заболеваний органов дыхания // Медицина труда и промышленная экология. — 2021. — № 61(4). — С. 243—252. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-4-243-252.

29. *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.

30. *Liu G., Hou M.* Advanced technologies on mine dust prevention and control // Applied Sciences. 2023, vol. 13, article 4869. DOI: 10.3390/app13084869.

31. *Cheng J., Zheng Xi., Lei Ya., Luo W., Wang Yu, Borowski M., Li Xi., Song W., Wang Z., Wang K.* A compound binder of coal dust wetting and suppression for coal pile // Process Safety and Environmental Protection. 2021, vol. 147, pp. 92—102. DOI: 10.1016/j.psep.2020.08.03114.

32. *Drwięga A., Williamson B., Foster P., Lesiak K.* Effectiveness of half masks for respiratory health protection in coal mining // Mining Machines. 2021, vol. 39, no. 3, pp. 2—17. DOI: 10.32056/KOMAG2021.3.1.

33. *Reynolds L. E.*, *Blackley D. J.*, *Colinet J. F.*, *Potts J. D.*, *Storey E., Short C., Carson R., Clark K. A.*, *Laney A. S.*, *Halldin C. N.* Work practices and respiratory health status of appalachian coal miners with progressive massive fibrosis // Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2018, vol. 60, no. 11, pp. e575—e581. DOI: 10.1097/JOM.0000000000001443.

34. *Peyre-Costa D., Stjernbrandt A., Wahlström J., Ikäheimo Ti., Höper A.* Self-reported exposure to dust and diesel exhaust, respiratory symptoms, and use of respiratory protective equipment among Arctic miners // International Journal of Circumpolar Health. 2024, vol. 83, article 2343125. DOI: 10.1080/22423982.2024.2343125.

35. *Więckol-Ryk A., Krzemień A., Sánchez Lasheras F.* Assessing the breathing resistance of filtering-facepiece respirators in Polish coal mines: A survey and laboratory study // International Journal of Industrial Ergonomics. 2018, vol. 68, pp. 101—109. DOI: 10.1016/j.ergon.2018.07.001.

36. *Krebbers L. T.*, *Lottermoser B. G.*, *Liu X.* Computed tomography of flake graphite ore: Data acquisition and image processing // Minerals. 2023, vol. 13, article 247. DOI: 10.3390/min13020247.

37. *Deng Y., Wu H., Zhao T.* Microscopic characteristics and sources of atmospheric dustfall in open-pit mining coal resource-based city in the arid desert area of Northwest China // Scientific Reports. 2024, vol. 14, article 6272. DOI: 10.1038/s41598-024-56892-8. ГИАБ

REFERENCES

1. Materova E. S., Aksenova Zh. A., Pasternak S. N. The influence of coal industry indicators on the economic growth of the Russian economy. *Ugol'*. 2025, no. 4, pp. 24—30. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-24-30.

2. Zonova O. V., Slesarenko E. V., Sheveleva O. B., Chekanova V. S. Prospects for the development of the coal mining industry in Russia in the context of external shocks: a scenario approach. *Ugol'*. 2026, no. 6, pp. 17—20. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-6-17-20.

3. Strizhenok A. V., Bykova M. V., Korotaeva A. E. Extractive industries as a source of greenhouse gas emissions and the possibility of its natural sequestration under the climatic conditions of Central and Northern Eurasia. *Journal of Ecological Engineering*. 2024, vol. 25, no. 5, pp. 43—69. DOI: 10.12911/22998993/185585.

4. 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.

5. 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].

6. Korshunov G. I., Mironenkova N. A., Chizhov O. V., Poleshchuk A. A. Analysis of results of radon surface survey using the example of the Kuznetsk coal basin mine. *Occupational Safety in Industry*. 2025, no. 11, pp. 81—86. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-11-81-86.

7. 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 mine workings when changing the structure of air flow. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 71 — 81. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.12.

8. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kulikova E. Yu., Rybichev A. A. Methodology of integrated control of aerological risks in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2026, vol. 18, no. 1, pp. 123 — 134. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2026-18-1-123-134.

9. Kabanov E. I. Accident risk analysis at coal mines considering the human factor. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 9, pp. 48 — 54. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07.

10. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kulikova E. Yu., Rybichev A. A. Decision-making algorithms for reducing aerological risks in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025, vol. 17, no. 2, pp. 688 — 700. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-2-688-700.

11. Kabanov E. I., Tumanov M. V., Smetanin V. S., Romanov K. V. An innovative approach to injury prevention at mining enterprises based on human factor management. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 263, pp. 774 — 784. [In Russ].

12. Rodionov V. A., Barjoee S. S. A Strategy of comprehensive assessment of occupational risks of impact of production environment harmful factors. *Occupational Safety in Industry*. 2025, no. 10, pp. 21 — 26. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-10-21-26.

13. Korshunov G., Iliashenko I., Kovshov S. An integrated risk-based method for assessment of occupational exposures in surface mining. *Mining*. 2025, vol. 5, no. 4, article 85. DOI: 10.3390/mining5040085.

14. Afanasev P. I. Methodological framework for rock blasting in open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 12, pp. 28 — 41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_ 1493_2025_12_0_28.

15. Afanasev P. I., Belov A. A. Assessment of the seismic-blast effects on the marginal rock mass due to the amplitudefrequency characteristics of the blast. *Russian Mining Industry Journal*. 2025, no. 3, pp. 138 — 145. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609- 9192-2025-3-138-145.

16. Babkin R. S., Kolvakh K. A., Baraboshkin I. A. Reduction in emission of nitrogen oxides in massive blasting in open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 2, pp. 16 — 27. [In Russ]. DOI: 10.25018/ 0236_1493_2025_2_0_16.

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

18. Lisai V. V., Smirnov Y. D., Ivanov A. V., Borowski G. Investigation of the effectiveness of the use of various substances for dust suppression during the transshipment of granular sulfur. *Journal of Mining Institute*. 2025, vol. 271, pp. 108 — 119. [In Russ].

19. Zhestikova M. G., Vasilchenko E. M., Kolmogorov A. G. Medical and social characteristics and rehabilitation outcomes for workers with severe occupational injuries in Kemerovo Region — Kuzbass. *Polytrauma*. 2025, no. 1, pp. 25 — 33. [In Russ]. DOI: 10.24412/1819-1495-2025-1-25-33.

20. Rudakov M. L., Duka N. E. Modeling acoustic effect exerted on personnel by operating equipment in underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10, pp. 165 — 179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

21. Bukhtiyarov I. V., Zibarev E. V., Vostrikova S. M., Kravchenko O. K., Piktushnskaya T. E., Kuznetsova E. A., Bessonova A. K. Current state of working conditions in coal mines in Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023, no. 63(6), pp. 348 — 358. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-348-358.

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. Bugaeva M. S., Bondarev O. I., Kazitskaya A. S., Mikhailova N. N. Pathogenetic foundations of systemic morphological manifestations of coal workers' pneumoconiosis (review). *Public Health and Life Environment*. 2024, vol. 32, no. 2, pp. 66 — 74. [In Russ]. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-2-66-74.

24. Weissman D. N. Progressive massive fibrosis: An overview of the recent literature. *Pharmacology & Therapeutics*. 2022, vol. 240, article 108232. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2022.108232.

25. Bondarev O. I., Bugaeva M. S., Gerus A. Y., Kizichenko N. V. Morphological predictors of health risk for miners in the context of clinical studies. *Hygiene and Sanitation*. 2024, no. 103(7), pp. 663 — 670. [In Russ]. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-663-670.

26. Almberg K. S., Friedman L. S., Rose C. S., Go L. H. T., Cohen R. A. Progression of coal workers' pneumoconiosis absent further exposure. *Occupational & Environmental Medicine*. 2020, vol. 77, no. 11, pp. 748 — 751. DOI: 10.1136/oemed-2020-106466.

27. Bondarev O. I., Filimonov S. N., Bugaeva M. S., Ulanova E. V., Kizichenko N. V. Cytological changes in the bronchopulmonary histiocyte in coal miners. *Hygiene and Sanitation*. 2024, no. 103(7), pp. 680 — 686. [In Russ]. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-680-686.

28. Gorblansky Y. Y., Piktushanskaya T. E., Panova M. A., Kontorovich E. P., Ponamareva O. P. The burden of occupational respiratory diseases. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2021, no. 61(4), pp. 243 — 252. [In Russ]. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-4-243-252.

29. 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.

30. Liu G., Hou M. Advanced technologies on mine dust prevention and control. *Applied Sciences*. 2023, vol. 13, article 4869. DOI: 10.3390/app13084869.

31. Cheng J., Zheng Xi., Lei Ya., Luo W., Wang Yu, Borowski M., Li Xi., Song W., Wang Z., Wang K. A compound binder of coal dust wetting and suppression for coal pile. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021, vol. 147, pp. 92 — 102. DOI: 10.1016/j.psep.2020.08.03114.

32. Drwięga A., Williamson B., Foster P., Lesiak K. Effectiveness of half masks for respiratory health protection in coal mining. *Mining Machines*. 2021, vol. 39, no. 3, pp. 2 — 17. DOI: 10.32056/KOMAG2021.3.1.

33. Reynolds L. E., Blackley D. J., Colinet J. F., Potts J. D., Storey E., Short C., Carson R., Clark K. A., Laney A. S., Halldin C. N. Work practices and respiratory health status of appalachian coal miners with progressive massive fibrosis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2018, vol. 60, no. 11, pp. e575 — e581. DOI: 10.1097/JOM.0000000000001443.

34. Peyre-Costa D., Stjernbrandt A., Wahlström J., Ikäheimo Ti., Höper A. Self-reported exposure to dust and diesel exhaust, respiratory symptoms, and use of respiratory protective equipment among Arctic miners. *International Journal of Circumpolar Health*. 2024, vol. 83, article 2343125. DOI: 10.1080/22423982.2024.2343125.

35. Więckol-Ryk A., Krzemień A., Sánchez Lasheras F. Assessing the breathing resistance of filtering-facepiece respirators in Polish coal mines: A survey and laboratory study. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2018, vol. 68, pp. 101 — 109. DOI: 10.1016/j.ergon.2018.07.001.

36. Krebbers L. T., Lottermoser B. G., Liu X. Computed tomography of flake graphite ore: Data acquisition and image processing. *Minerals*. 2023, vol. 13, article 247. DOI: 10.3390/min13020247.

37. Deng Y., Wu H., Zhao T. Microscopic characteristics and sources of atmospheric dustfall in open-pit mining coal resource-based city in the arid desert area of Northwest China. *Scientific Reports*. 2024, vol. 14, article 6272. DOI: 10.1038/s41598-024-56892-8.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корнев Антон Владимирович[1] — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,
Барабошкин Илья Андреевич[1] — аспирант, e-mail: ilandr9@mail.ru,
Олефиренко Юлия Сергеевна[1] — студент, e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com,
[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.
Для контактов: Корнев А.В., e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.V. Kornev[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-6371-9969,
I.A. Baraboshkin[1], Graduate Student, e-mail: ilandr9@mail.ru,
Y.S. Olefirenko[1], Student, e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com,
[1] Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: A.V. Kornev, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 07.09.2026; получена после рецензии 09.10.2026; принята к печати 20.10.2026.
Received by the editors 07.09.2026; received after the review 09.10.2026; accepted for printing 20.10.2026.