



Разработка высокоэффективной фильтрующей полумаски для подземного персонала угольных шахт

М.Л. Рудаков, К.А. Кольвах ✉, А.В. Корнев, И.А. Барабошкин, Ю.С. Олефиренко

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ Kolvakh_KA@pers.spmi.ru

Резюме: Подземная добыча угля сопровождается высоким уровнем воздействия аэрозолей фиброгенного действия на подземный персонал угольных шахт. Следствием высокого уровня воздействия пыли является широкое распространение патологий дыхательной системы у горнорабочих – бронхитов и пневмокониозов. Минимизация воздействия мелкодисперсной пыли на органы дыхания осуществляется путем обеспечения персонала фильтрующими полумасками, эффективность которых достигает 99%. Однако материалы полумасок создают сопротивление дыханию, и работники часто отказываются от их использования. Цель исследования – разработка полумаски, обеспечивающей максимальный уровень защиты органов дыхания при минимальном сопротивлении воздушному потоку. В рамках исследования был осуществлен подбор материалов для трех функциональных слоев: внешнего защитного, основного фильтрующего и внутреннего гигиенического. Внешний фильтрующий слой состоит из полипропиленовой ткани плотностью 35 г/м², улавливающий крупные частицы пыли (более 40 мкм). Фильтрация воздуха осуществляется за счёт основного высокопрочного слоя на основе мейтблауна, состоящего из ультратонких микроволокон, позволяющих задерживать пылевые частицы крупностью от 0,01 мкм. Внутренний гигиенический слой выполнен из материала спанлейс плотностью 30 г/м², обладающего высокой способностью к впитыванию образующейся влаги. Дополнительно разработана конструкция фильтрующей полумаски с учётом требований к эргономике и эффективности. Эффективность полумаски подтверждалась проведением лабораторных испытаний на сертифицированном оборудовании. Испытания позволили оценить сопротивление дыханию до и после запыления доломитовой пылью. Преимуществом полумаски является ее низкая масса и себестоимость по отношению к аналогам. Материалы полумаски приятны при контакте с кожей и гипоаллергенны. Ведутся работы по регистрации прав на полумаску и планируются испытания в условиях угольной шахты.

Ключевые слова: угольные шахты, вредные производственные факторы, запыленность, профессиональные заболевания, средства индивидуальной защиты, фильтрующие полумаски, коэффициент проникания, сопротивление воздушному потоку, подмасочное пространство, герметичность прилегания к лицу

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FSRW-2026-0003 «Исследование процессов комплексного освоения недр Земли и глубокой переработки георесурсов». В рамках данной научной работы получена заявка на полезную модель №2026112365 от 22.04.2026 г.

Для цитирования: Рудаков М.Л., Кольвах К.А., Корнев А.В., Барабошкин И.А., Олефиренко Ю.С. Разработка высокоэффективной фильтрующей полумаски для подземного персонала угольных шахт. *Горная промышленность*. 2026;(4S):69–76. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-69-76>

Development of a highly efficient filtering half mask for personnel in underground coal mines

M.L. Rudakov, K.A. Kolvakh ✉, A.V. Kornev, I.A. Baraboshkin, Yu.S. Olefirenko

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation
✉ Kolvakh_KA@pers.spmi.ru

Abstract: Underground coal mining is accompanied by an extremely high level of exposure of underground coal mine workers to aerosols of predominantly fibrogenic action. High levels of dust exposure result in a widespread occurrence of respiratory diseases among miners, including bronchitis and pneumoconiosis. Exposure of the respiratory system to fine dust is minimized by providing workers with filtering half-masks, which are up to 99% effective. However, the materials used in these half-masks create breathing resistance, and the workers often refuse to use them. The aim of this study is to develop a half-mask that provides the highest level of respiratory protection with minimal airflow resistance. As part of the study, materials were selected for three functional layers: the outer protective layer, the main filtering layer, and the inner hygienic layer. The outer filtering layer consists of polypropylene fabric with the density of 35 g/m² that retains large dust particles (over 40 µm). Air filtration is done by the main high-strength meltblown layer, consisting of ultra-thin microfibers capable of trapping dust particles as small as 0.01 µm. The inner hygienic layer is made of spunlace with the density of 30 g/m², which offers a high moisture absorption



capacity. Additionally, the filtering half-mask was designed with ergonomics and efficiency requirements in mind. The half-mask high efficiency was confirmed by laboratory tests performed using certified testing equipment. The tests made it possible to assess breathing resistance before and after exposure to dolomite dust. An advantage of the half-mask is its low weight and low cost compared to similar products. The materials used in the half-mask are comfortable when in contact with the skin and hypoallergenic. Registration of the rights for the half-mask is underway, and tests in a coal mine environment are planned.

Keywords: coal mines, harmful occupational factors, dust concentration, occupational diseases, personal protective equipment, filtering half masks, penetration coefficient, airflow resistance, under-mask space, facial seal

Acknowledgements: This work was carried out within the framework of a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Study of the processes of integrated development of the Earth's interior and deep processing of geological resources, project No. FSRW-2026-0003). Application for utility model No. 2026112365 was filed on April 22, 2026, as part of this research

For citation: Rudakov M.L., Kolvakh K.A., Kornev A.V., Baraboshkin I.A., Olefirenko Yu.S. Development of a highly efficient filtering half mask for personnel in underground coal mines. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):69–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-69-76>

Введение

Добыча угля в мире на 2024 г. достигла максимального уровня, составив порядка 9,5 млрд т. Несмотря на снижение добычи в США и Западной Европе, уголь является ключевым источником энергии в структуре мировой экономики – более 30% всей энергии в мире приходится именно на уголь [1; 2]. Угольная промышленность сохраняет чрезвычайно важное значение в отечественной экономике и топливно-энергетическом балансе страны, оставаясь одной из ключевых отраслей минерально-сырьевого комплекса. Объемы добываемого угля в России остаются по-прежнему значительными, что обусловлено спросом на данный вид сырья в ряде отраслей, таких как металлургия и электроэнергетика [3; 4].

Открытая добыча угля, как правило, сопровождается более высокими объемами производства вследствие большей технологической доступности пластов полезного ископаемого, а также большей производительностью. Подземный способ добычи имеет ниже производительность, но остаётся критически важным для отработки глубоких и трудноизвлекаемых запасов, удельный вес которых в Кузбассе превышает 70% балансовых запасов [5; 6]. При сложных горно-геологических условиях строения месторождения полезных ископаемых применяется подземный способ добычи. Также подземный способ применяется при селективной отработке месторождений. С учетом сокращения запасов угля подземный способ добычи приобретает все большую актуальность [7; 8].

Наиболее распространенными вредными производственными факторами при подземной разработке, следствием которых становятся профессиональные заболевания, являются высокая физическая нагрузка, повышенная запыленность и длительность воздействия аэрозолей преимущественно фиброгенного действия, повышенный шум от добычного оборудования и др. [9–11]. Данные условия ведения добычных работ способствуют формированию профессиональных патологий, среди которых наиболее распространены заболевания органов дыхания работника. Среди остальных профессиональных заболеваний горнорабочих выделяют заболевания костно-мышечной и нервной систем, связанные с физическими перегрузками и вынужденной рабочей позой, профессиональную тугоухость, вибрационную болезнь [12; 13].

По данным Роспотребнадзора за 2024 г. в Кемеровской области уровень профессиональной патологии остается существенно выше среднероссийских значений. В 2024 г. в регионе зарегистрировано 547 случаев профессиональных заболеваний у 520 работников; показатель профзаболеваемости составил 7,09 на 10 тыс. работающих, что более чем в 7 раз превышает средний показатель по России – 0,83 на 10 тыс. работающих. Основная доля выявляемых случаев в данном регионе приходится на предприятия угольной промышленности [14–16]. Наиболее распространенными заболеваниями органов дыхания у подземного персонала угольных шахт являются пневмокониозы (силикозы), хронический бронхит, эмфизема, обструктивная болезнь легких, пылевые поражения легких [17–19]. Наибольший риск развития профзаболеваний органов дыхания связан с деятельностью работников очистных и проходческих забоев, бурильщиков и забойщиков, а также остального персонала, деятельность которого связана с работой в зонах интенсивного пылеобразования и, как следствие, с контактом с респираторной фракцией пыли [20–22].

Организационные и технические мероприятия направлены на снижение уровня запыленности в воздухе рабочей зоны и негативного воздействия на организм респираторной фракции пыли [23–25]. Технические мероприятия по пылеподавлению в угольных шахтах включают комплекс технологических решений, направленных на снижение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны и обеспыливание воздуха в горных выработках. При этом ключевыми направлениями являются: предварительное увлажнение угольного массива, применение систем гидрообеспыливания, применение гидровихревых установок и пенных способов пылеподавления, применение вентиляционных установок и системы автоматического пылеподавления [26–28].

Данные виды мероприятий не позволяют в достаточной степени снизить уровень воздействия пылевого фактора до безопасного уровня на подземный персонал. Следовательно, снижению уровня воздействия пылевого фактора на работающий персонал должно способствовать также применение фильтрующих полумасок, обеспечивающих защиту органов дыхания от вдыхаемой пыли [29; 30].

Применяемые в условиях работ высокой интенсивности, характерных для угольной отрасли, полумаски защищают органы дыхания от пыли и аэрозолей, содержащихся в воздухе. Фильтрующие полумаски эффективно защищают органы дыхания при концентрациях пыли от 4 до 50 ПДК, а также с эффективностью от 80 до 99%. Выделяют 3 класса защиты полумасок: FFP1, FFP2, FFP3 [31; 32].

Внешний слой фильтрующей полумаски удерживает крупную пыль и препятствует таким образом загрязнению основного фильтрующего слоя. Полумаски включают полосу обтюрации и носовой зажим для улучшения плотности прилегания и предотвращения проникновения запыленного воздуха в подмасочное пространство. Также для облегчения процесса дыхания полумаски оснащаются клапанами выдоха [33–35].

Вместе с тем слои фильтрующей полумаски, защищающие органы дыхания от пыли, создают сопротивление дыханию пользователя. Анонимный опрос, проведенный на базе одной из шахт Кузнецкого угольного бассейна, показал, что около 80% подземных горнорабочих за последний месяц отказывались от использования фильтрующих полумасок ввиду возникающего сопротивления дыханию и респираторного дискомфорта. В этой связи актуальной задачей является разработка эффективной полумаски, создающей минимальное сопротивление дыханию.

Материалы и методы

В ходе исследования разработана высокоэффективная фильтрующая полумаска класса защиты FFP3, основное преимущество которой заключается в минимальном сопротивлении дыханию, что отличает модель от аналогов, применяемых в угольной отрасли. Был осуществлен подбор материалов для трех функциональных слоев: внешнего защитного, основного фильтрующего и внутреннего гигиенического. Дополнительно разработана конструкция фильтрующей полумаски с учётом требований к эргономике и эффективности.

Внешний фильтрующий слой состоял из полипропиленовой ткани плотностью 35 г/м², эффективно улавливающей крупные частицы пыли (более 40 мкм). Материал обеспечивает сочетание прочности, лёгкости и устойчивости к внешним воздействиям. Фильтрация воздуха осуществляется за счёт основного высокопрочного слоя на основе мельблэуна, состоящего из ультратонких микроволокон, позволяющих задерживать пылевые частицы крупностью от 0,01 мкм. Внутренний гигиенический слой выполнен из материала спанлейс плотностью 30 г/м², обладающего высокой способностью к впитыванию образующейся влаги, что чрезвычайно важно применительно к условиям ведения горных работ, характеризующихся высокой интенсивностью. Кроме того, внутренний слой, представленный материалом спанлейс, является гипоаллергенным и не вызывает дискомфорт при использовании полумаски.

Экспериментальные исследования осуществлялись в испытательной лаборатории на сертифицированном оборудовании согласно требованиям ГОСТ 12.4.294–2015. Программа испытаний включала оценку защитных характеристик фильтрующих полумасок и определение сопротивления дыханию, которое вызывают материалы полумаски.

Эффективность защиты фильтрующих полумасок оценивается в первую очередь через коэффициент проникновения, %. Этот параметр отражает совокупность факторов: герметичность прилегания к лицу, функциональность кла-

пана и степень проницаемости используемых материалов. Аэрозоль подавался в верхнюю часть испытательной камеры, по углам которой расположены вентиляторы для равномерного распределения его концентрации. Крупность частиц тест-вещества составляла от 0,02 до 2 мкм, концентрация составляла 8 мг/м³.

В камере устанавливалась беговая дорожка, на которой испытующий выполнял обязательные для данного испытания упражнения (ходьба, повороты головы, произнесение слов) в течение 10 мин. Поверх полумаски, надетой на лицо испытующего, устанавливался пробоотборник, соединенный с пламенным фотометром за пределами камеры, позволяющим определить концентрацию тест-вещества в подмасочном пространстве. Для масок классов защиты FFP1, FFP2 и FFP3 соответственно коэффициент проникновения не должен превышать 22, 11, 2%.

Далее производилось определение проницаемости материалов, %. При определении проницаемости материалы полумаски устанавливаются в область исследования, сверху устанавливается устройство для подачи тест-вещества. Определение коэффициента проницаемости осуществляется раз в 5 мин до тех пор, пока масса поданного тест-вещества не составит 120 мг. Экспериментальная оценка проницаемости выполнялась с использованием двух контрольных аэрозолей: водного раствора хлорида натрия и масляного тумана, сформированного на базе парафиновых углеводородов. Процесс испытания представлен на рис. 1.

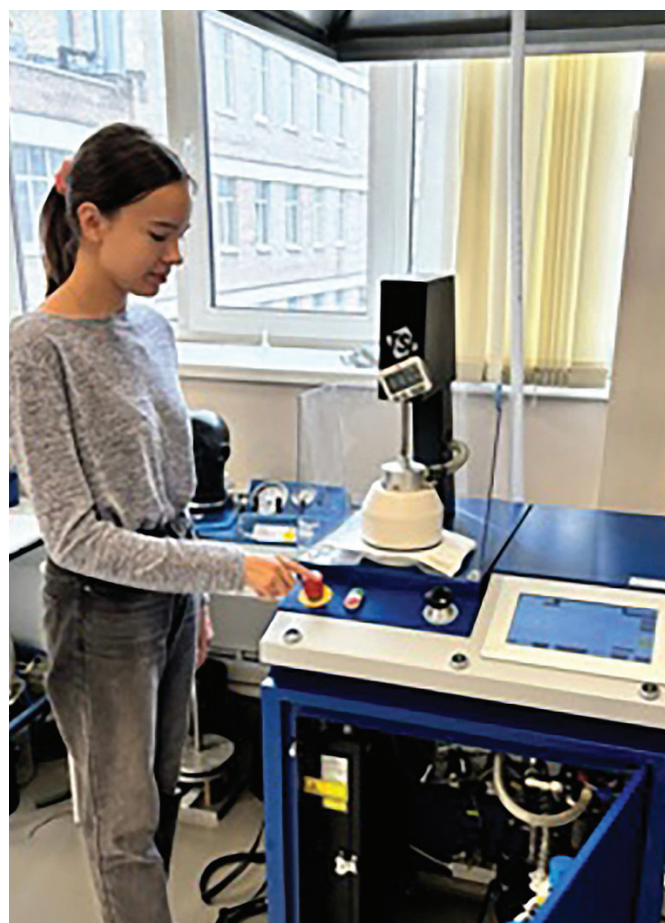


Рис. 1
Исследование проницаемости материалов

Fig. 1
Studying permeability of the materials

Важнейшим показателем, оказывающим влияние на возможность применения полумаски в условиях работ высокой интенсивности, является начальное сопротивление воздушному потоку. Проведение испытаний предусматривало установку фильтрующей полумаски на голову манекена Шеффилда с последующим подключением дыхательной машины, воспроизводящей параметры дыхания человека при интенсивной трудовой деятельности. Определялось сопротивление воздушному потоку с помощью установленных в области рта манекена датчиков давления, Па. Испытания проводятся в режиме вдох (расход 30 и 95 дм³/мин) и в режиме выдох (160 дм³/мин).

Испытание на устойчивость к запылению позволяет оценить изменения в сопротивлении дыханию пользователя при запылении полумаски. Испытания проводятся в пылевой камере размером 650 на 650 мм с доломитовой пылью. Крупность частиц пыли от 1 до 18 мкм. В камере поддерживается температура 23°C, относительная влажность 45%. Подача пыли производится с расходом 60 м³/ч и скоростью 4 см/с.

После проведения запыления полумаски определяется сопротивление дыханию на голове Шеффилда. Для высокоэффективных полумасок, содержащих клапан выдоха, сопротивление на выдохе не должно быть больше чем 300 Па.

Результаты

Основной задачей исследования являлась разработка высокоэффективной фильтрующей полумаски, защитные свойства которой соответствуют требованиям для класса защиты FFP3. Ключевым показателем, характеризующим способность полумаски препятствовать прониканию в подмасочное пространство запыленного воздуха, является коэффициент проникания. По итогам испытаний коэффициент проникания для разработанной полумаски

Таблица 1
Сравнение себестоимости и массы разработанной полумаски с аналогами

Показатель	Разработанная полумаска	Модель полумаски		
		Алина-210	У-2К	RS 2202
Масса, г	9,5	13	50	12
Себестоимость, руб.	52	55	58	65

Table 1
A comparison of the cost and weight of the developed half mask with the analogues

составил 0,9% при установленном нормативе для высокого класса защиты 2%. Значению коэффициента проникания практически в два раза ниже нормативного способствовала форма полумаски (рис. 2), обеспечивающая максимальное прилегание полосы обтюрации к лицу пользователя.

В соответствии с требованиями стандарта определение проницаемости материалов, выбранных в рамках разработки полумаски, было проведено по двум веществам. При проведении испытаний с использованием хлорида натрия было получено значение коэффициента проницаемости 0,57%. При испытаниях с использованием паров парафинового масла значение данного параметра составило 0,59%. В обоих случаях проницаемость материалов была практически в два раза ниже допустимого для высокоэффективных полумасок (FFP3) значения 1%.

Начальное сопротивление было определено с использованием манекена и подключенной к нему дыхательной машины в соответствии с требованиями стандарта. Определялись значения в режимах «вдох» и «выдох», далее они сопоставлялись с нормативами, установленными для высокоэффективных полумасок. На вдохе при расходах 30 и 95 дм³/мин сопротивление составило 31 и 119 Па при допустимых величинах 100 и 300 Па соответственно. На выдох при нормативе в 300 Па фактическое значение составило 123 Па. Запыление проводилось в пылевой камере при постоянной концентрации 400 мг/м³.

Разработанная фильтрующая полумаска соответствует классу защиты FFP3. При этом по ряду показателей фактическое значение ниже допустимого порога более чем в 2 раза. Высокому уровню защитных свойств разработанной полумаски способствуют оптимальная конструкция ее лицевой части, а также применение инновационных высокоэффективных материалов в качестве защитных слоев. Сравнение массы и себестоимости разработанной полумаски с аналогами приведено в табл. 1.

Разработанная полумаска является облегченной, ее масса ниже массы аналогов, применяемых в отрасли. При этом себестоимость полумаски находится на одном уровне либо является более низкой, чем у аналогов. Данные показатели свидетельствуют о целесообразности проведения испытаний полумаски в реальных производственных условиях и внедрения на предприятиях отрасли.

Заключение

Пыль и аэрозоли являются одним из основных вредных факторов, воздействующих на подземный персонал угольных шахт. В целях снижения уровня воздействия данного фактора горнорабочие обеспечиваются фильтрующими полумасками, обеспечивающими защиту органов дыхания. Фильтрующие полумаски различных классов обеспечивают защиту при концентрациях пыли от 4 до 50 ПДК.

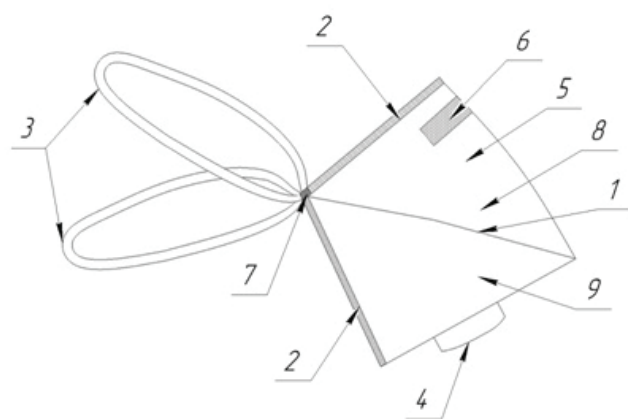


Рис. 2
Схема разработанной фильтрующей полумаски:
1 – сварной шов;
2 – краевой шов;
3 – оголовье;
4 – клапан выдоха;
5 – лицевая часть;
6 – носовой зажим;
7 – крепление оголовья к лицевой части;
8 – верхняя закраина;
9 – нижняя закраина

Fig. 2
Layout of the developed filtering half mask:
1 – heat seal;
2 – edge seam;
3 – headband;
4 – exhalation valve;
5 – front part;
6 – nose clip;
7 – attachment of the headband to the front part;
8 – upper edge;
9 – lower edge



В условиях высокой запыленности угольных шахт персонал должен обеспечиваться полумасками, уровень защиты которых удовлетворяет требованиям FFP3. Вместе с тем около 80% горнорабочих периодически отказываются от использования средств индивидуальной защиты данного типа в силу высокого сопротивления дыханию. В рамках исследования была разработана полумаска, сочетающая в себе как высокие защитные свойства, так и минимальное сопротивление дыханию. Проведенные испытания на сертифицированном оборудовании подтвердили высокую эффективность прототипа полумаски, позволили

оценить сопротивление дыханию до и после запыления доломитовой пылью. Результаты испытаний подтвердили соответствие полумаски наиболее строгим требованиям, предъявляемым к полумаскам высокого класса защиты. Преимуществом разработанной полумаски также являются ее низкие масса и себестоимость по отношению к аналогам. Также материалы полумаски приятны при контакте с кожей и гипоаллергенны. Ведутся работы по регистрации прав на полумаску, получена заявка на полезную модель, планируются испытания в условиях угольной шахты.

Список литературы / References

1. Курилов К.Ю. Роль и будущее угля в мировой структуре энергопотребления. *Уголь*. 2025;(3):108–113. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2503108.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
Kurilov K.Yu. The role and future of coal in the global energy consumption structure. *Ugol'*. 2025;(3):108–113. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2503108.pdf> (accessed: 10.03.2026).
2. Матерова Е.С., Аксенова Ж.А., Пастернак С.Н., Жиронкин С.А., Байкова Э.Р., Шарафуллина Р.Р. Влияние показателей угольной промышленности на экономический рост российской экономики. *Уголь*. 2025;(4):24–30. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2025-4-24-30>
Materova E.S., Aksenova Zh.A., Pasternak S.N., Zhironkin S.A., Baykova E.R., Sharafullina R.R. The impact of coal industry indicators on the economic growth of the Russian economy. *Ugol'*. 2025;(4):24–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2025-4-24-30>
3. Новак А.В. Мировой и российский ТЭК в эпоху многополярности: горизонты и итоги 2025 года. *Энергетическая политика*. 2026;(1):10–17. Режим доступа: <https://energy-policy.ru/mirovoj-i-rossijskij-tek-v-epohu-mnogopolyarnosti-gorizonty-i-itogi-2025-goda/novosti/glavnye-novosti/2026/01/22/> (дата обращения: 10.03.2026).
Novak A.V. Global and Russian fuel and energy complex in the era of multipolarity: horizons and results of 2025. *Energy Policy*. 2026;(1):10–17. (In Russ.) Available at: <https://energy-policy.ru/mirovoj-i-rossijskij-tek-v-epohu-mnogopolyarnosti-gorizonty-i-itogi-2025-goda/novosti/glavnye-novosti/2026/01/22/> (accessed: 10.03.2026).
4. Казанин О.И., Евсюкова А.А. Обоснование технологии проведения спаренных выработок с отработкой межштрековых целиков короткими забоями. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(11-1):23–37. Режим доступа: <https://giab-online.ru/files/Data/2025/11-1/23.pdf> (дата обращения: 17.04.2026).
Kazanin O.I., Evsiukova A.A. Justification of the parameters of the paired workings development technology with the extracting of the pillar between workings by continuous miner. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(11-1):23–37. (In Russ.) Available at: <https://giab-online.ru/files/Data/2025/11-1/23.pdf> (accessed: 17.04.2026).
5. Афанасьев В.Я., Тихонов А.И. Перспективы развития информационных технологий в угольной промышленности. *Уголь*. 2026;(4):23–29. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202604023> (дата обращения: 17.04.2026).
Afanasyev V.Ya., Tikhonov A.I. Prospects for it development in coal industry. *Ugol'*. 2026;(4):23–29. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202604023> (accessed: 17.04.2026).
6. Loginov E.V., Masalskiy S.S., Petrov K.D., Zadorina D.S. Implementation of digital technologies at blending stockpiles in open pit mineral mining. *Eurasian Mining*. 2025;(2):93–97. <https://doi.org/10.17580/em.2025.02.17>
7. Гендлер С.Г., Василенко Т.А., Степанцова А.Ю. Экспериментальные исследования параметров массопереноса в каменных углях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):135–148. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_135
Gendler S.G., Vasilenko T.A., Stepantsova A.Yu. Investigation of mass transfer of hard coal during its transportation to the place of temporary storage. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):135–148. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_135
8. Афанасьев П.И. Методологические основы взрывного разрушения горных пород при разработке месторождений открытым способом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(12):28–41. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2025/12/12_2025_28-41.pdf (дата обращения: 17.04.2026).
Afanasev P.I. Methodological framework for rock blasting in open pit mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12):28–41. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2025/12/12_2025_28-41.pdf (accessed: 17.04.2026).



9. Глебова Е.В., Волохина А.Т., Вихров А.Е. Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК. *Записки Горного института*. 2023;259:68–78. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12>
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;259:68–78. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12>
10. 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):25–33. <https://doi.org/10.24412/1819-1495-2025-1-25-33>
Zhestikova M.G., Vasilchenko E.M., Kolmogorov A.G. Medicosocial characteristics and results of rehabilitation in persons with severe industrial injury in Kemerovo region. *Polytrauma*. 2025;(1):25–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1819-1495-2025-1-25-33>
11. Пахомова Ю.А. Современное состояние системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятиях горнодобывающей отрасли России. *Экономика труда*. 2025;12(5):803–824. <https://doi.org/10.18334/et.12.5.123067>
Pakhomova Y.A. Occupational and industrial safety management system at Russian mining companies. *Russian Journal of Labour Economics*. 2025;12(5):803–824. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/et.12.5.123067>
12. 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):348–358. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-6-348-358>
Bukhtiyarov I.V., Zibarev E.V., Vostrikova S.M., Kravchenko O.K., Pictushanskaya T.E., Kuznetsova E.A., Bessonova A.K. The current state of working conditions in coal mines of Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023;63(6):348–358. (In Russ.) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-6-348-358>
13. 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):243–252. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-4-243-252>
Gorblyansky Yu.Y., Pictushanskaya T.E., Panova M.A., Kontorovich E.P., Ponomareva O.P. Burden of occupational lung disease. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2021;61(4):243–252. (In Russ.) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-4-243-252>
14. Коршунов Г.И., Каримов А.М., Магомедов Г.С., Тюлькин С.А. Снижение аэротехногенного воздействия респираторной фракции пыли на персонал карьера при проведении массовых взрывов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(7):132–144. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_7_0_132
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. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(7):132–144. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_7_0_132
15. Строкова В.В., Рязанова А.Ю., Маркова И.Ю., Степаненко М.А., Ишмухаметов Э.М. Оценка эффективности водных пылеподавляющих эмульсий на основе акриловых и алкидных полимеров. *Записки Горного института*. 2024;270:941–949. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16372> (дата обращения: 17.04.2026).
Strokov V.V., Ryazanova A.Y., Markova I.Y., Stepanenko M.A., Ishmukhametov E.M. Evaluation of the effectiveness of water dust-suppressing emulsions based on acrylic and alkyd polymers. *Journal of Mining Institute*. 2024;270:941–949. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16372> (accessed: 17.04.2026).
16. Кречманн Ю., Плиен М., Нгуен Т.Х.Н., Рудаков М.Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда. *Записки Горного института*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.248>
Kretschmann J., Plien M., Nguyen T.H.N., Rudakov M.L. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *Journal of Mining Institute*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.248>
17. Бондарев О.И., Филимонов С.Н., Бугаева М.С., Уланова Е.В., Кизиченко Н.В. Цитологические изменения бронхолегочного гистииона у шахтёров-угольщиков. *Гигиена и санитария*. 2024;103(7):680–686. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-680-686>
Bondarev O.I., Filimonov S.N., Bugaeva M.S., Ulanova E.V., Kizichenko N.V. Cytological aspects of dust changes in bronchopulmonary histione in coal miners. *Gigiena i Sanitariya*. 2024;103(7):680–686. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-680-686>
18. Shojae Barjoe S., Rodionov V., Rezaei N. Occupational injuries associated with safety climate among ceramic industry workers in Iran. *Scientific Reports*. 2025;15:24585. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09704-6>
19. 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;32(2):66–74. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-2-66-74>
Bugaeva M.S., Bondarev O.I., Kazitskaya A.S., Mikhailova N.N. Pathogenetic bases of systemic morphological manifestations of coal worker's pneumoconiosis: a review. *Public Health and Life Environment*. 2024;32(2):66–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-2-66-74>



20. Weissman D.N. Progressive massive fibrosis: An overview of the recent literature. *Pharmacology & Therapeutics*. 2022;240:108232. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2022.108232>
21. Сюрин С.А., Кизеев А.Н. Особенности профессиональных заболеваний от воздействия фиброгенных аэрозолей на предприятия в Арктике. *Медицина труда и промышленная экология*. 2024;64(1):20–27. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-1-20-27>
Syurin S.A., Kizeev A.N. Features of occupational diseases caused by fibrogenic aerosols at enterprises in the Arctic. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2024;64(1):20–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-1-20-27>
22. Ткачев В.В. Оценка риска профессиональных заболеваний пылевой этиологии. В кн.: Измеров Н.Ф., Денисов Э.И. (ред.) *Профессиональный риск для здоровья работников*. М.: Тривант; 2003. С. 188–198.
23. Ковальский Е.Р., Миронов Н.А., Уразов Д.В., Мусинский Н.А. Оценка возможных способов заложения капитальных выработок на глубоких горизонтах проектируемого калийного рудника Западно-Петриковского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2025;17(2):1033–1045. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-2-1033-1045>
Kovalsky E.R., Mironov N.A., Urazov D.V., Musinsky N.A. Assessment of potential methods for driving main developments at deep levels of the designed Zapadno-Petrikovskoye potash mine deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025;17(2):1033–1045. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-2-1033-1045>
24. Hou X., Wei Z., Jiang X., Wei C., Dong L., Li Y. et al. A comprehensive retrospect on the current perspectives and future prospects of pneumoconiosis. *Frontiers in Public Health*. 2025;12:1435840. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1435840>
25. Зайцева Н.В., Алексеев В.Б., Шур П.З., Кирьянов Д.А., Шляпников Д.М., Чигвинцев В.М. Методическое обеспечение оценки индивидуального риска развития болезней легких, связанных с воздействием пылевого фактора рабочей зоны на основе эволюционных моделей. *Анализ риска здоровью*. 2014;(2):19–29. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2014.2.03>
Zaitseva N.V., Alekseyev V.B., Shur P.Z., Kiryanov D.A., Shlyapnikov D.M., Chigvintsev V.M. Methodological provision of the individual risk assessment of lung disease associated with exposure to dust factor of workplace on the base of evolutionary models. *Health Risk Analysis*. 2014;(2):19–29. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2014.2.03>
26. Рудаков М.Л., Куклин Д.А., Курьеров Н.Н., Дука Н.Е. Экспериментальное изучение звукопоглощающих свойств материалов в целях конструирования средств индивидуальной защиты органа слуха горнорабочих. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2023;12(3):120–126. Режим доступа: <https://vek21.penzgtu.ru/article/462> (дата обращения: 17.04.2026).
Rudakov M.L., Kuklin D.A., Kuryerov N.N., Duka N.E. Experimental study of sound-absorbing properties of materials in order to design personal protective equipment for the hearing organ of miners. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus*. 2023;12(3):120–126. (In Russ.) Available at: <https://vek21.penzgtu.ru/article/462> (accessed: 17.04.2026).
27. Halbach J.H., Cala J.M., Paik S.Y., Zalk D.M. Control banding and the global rise of qualitative risk assessment strategies. *Current Environmental Health Reports*. 2023;10(4):410–416. <https://doi.org/10.1007/s40572-023-00416-5>
28. Koivisto A.J., Jayjock M., Hämeri K.J., Kulmala M., Sprang P., Yu M. et al. Evaluating the theoretical background of STOFFENMANAGER® and the advanced REACH tool. *Annals of Work Exposures and Health*. 2022;66(4):520–536. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab057>
29. Ohlander J., Fuhrmann S., Basinas I., Cherrie J.W., Galea K.S., Povey A.C. et al. Systematic review of methods used to assess exposure to pesticides in occupational epidemiology studies, 1993–2017. *Occupational and Environmental Medicine*. 2020;77(6):357–367. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105880>
30. Сухова А.В., Преображенская Е.А., Лапко И.В. Гигиенический подход к формированию корпоративных программ сохранения здоровья трудоспособного населения. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2024;68(6):518–525. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2024-68-6-518-525>
Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A., Lapko I.V. Hygienic approach to the formation of corporate programs for the preservation of the health of the able-bodied population. *Health Care of the Russian Federation*. 2024;68(6):518–525. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2024-68-6-518-525>
31. Гаврилов Д.В., Соболев В.В., Шадрин А.В., Попов В.Б. Актуальность аудита системы управления охраной труда и промышленной безопасностью в угольной промышленности РФ. *Уголь*. 2024;(10):74–78. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2410074.pdf> (дата обращения: 17.04.2026).
Gavrilov D.V., Sobolev V.V., Shadrin A.V., Popov V.B. Relevance of auditing the health safety and industrial safety management system in the Russian coal industry. *Ugol'*. 2024;(10):74–78. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2410074.pdf> (accessed: 17.04.2026).



32. Frund Z.N., Oh S.H., Chalikonda S., Angelilli S., Waltenbaugh H. Filtration performance and breathing resistance of elastomeric half mask respirator P100 filter cartridges after repeated and extended use in healthcare settings. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2022;19(4):223–233. <https://doi.org/10.1080/15459624.2022.2041649>
33. 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):174–186. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_174
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. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):174–186. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_174
34. Aqueveque P., Díaz M., Gomez B., Osorio R., Pastene F., Radrigan L., Morales A. Embedded electronic sensor for monitoring of breathing activity, fitting and filter clogging in reusable industrial respirators. *Biosensors*. 2022;12(11):991. <https://doi.org/10.3390/bios12110991>
35. Fakherpour A., Jahangiri M., Banaee S. Qualitative fitting characteristics of elastomeric half face-piece respirators using Isoamyl acetate agent. *Industrial Health*. 2021;59(4):272–282. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2020-0199>

Информация об авторах

Рудаков Марат Леонидович – доктор технических наук, первый проректор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-7428-5318>; e-mail: Rudakov_ML@pers.spmi.ru

Кольвах Константин Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0145-9465>; e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru

Корнев Антон Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-6371-9969>; e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru

Барабашкин Илья Андреевич – аспирант кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0005-1562-9439>; e-mail: ilandr9@mail.ru

Олефиренко Юлия Сергеевна – студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 17.08.2026

Information about the authors

Marat L. Rudakov – Dr. Sci. (Eng.), First Vice-Rector, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7428-5318>; e-mail: Rudakov_ML@pers.spmi.ru

Konstantin A. Kolvakh – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Industrial Safety, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0145-9465>; e-mail: Kolvakh_KA@pers.spmi.ru

Anton V. Kornev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Industrial Safety, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6371-9969>; e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru

Ilya A. Baraboshkin – Postgraduate Student, Department of Industrial Safety, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0005-1562-9439>; e-mail: ilandr9@mail.ru

Yulia S. Olefirenko – Student, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: yulechkaolefirenko@gmail.com

Article info

Received: 16.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 17.08.2026