

СНИЖЕНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕСПИРАБЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ПЫЛИ НА ПЕРСОНАЛ КАРЬЕРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

Г.И. Коршунов¹, А.М. Каримов¹, Г.С. Магомедов², С.А. Тюлькин²

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: arturkarimov762@gmail.com

² АО «Гавриловское карьероуправление», п. Гаврилово, Россия

Аннотация: Профессиональные заболевания различного происхождения являются проблемой для горнодобывающих предприятий, аэротехногенное воздействие на персонал карьера, вызванное повышенной запыленностью воздуха, в условиях горнодобывающего предприятия приводит к развитию заболеваний органов дыхания. Основными источниками образования пыли на предприятиях, ведущих разработку открытым способом, являются буровзрывные работы, экскавация, транспортирование, пыление отвалов. Наиболее негативное влияние на органы дыхания оказывает респирабельная фракция пыли, с диаметром частиц до 10 мкм. При производстве массового взрыва энергия взрыва измельчает породу, что приводит к одномоментному выделению значительного количества мельчайших фракций пыли. Эффективность борьбы с пылью при производстве массовых взрывов определяется климатическими особенностями расположения карьера, физико-механическими свойствами пород и параметрами буровзрывных работ. В период отрицательных температур воздуха пылеподавление при производстве массовых взрывов достигается применением снежного покрова на взрываемом блоке, а при положительных температурах – применением поверхностно активных веществ в составе гидрозабойки скважин. Приведены результаты теоретических, натуральных и лабораторных исследований эффективности применения снежного покрова, а также обоснование выбора состава гидрозабойки с применением поверхностно активных веществ для пылеподавления при производстве массовых взрывов.

Ключевые слова: пыль, массовые взрывы, пылевая нагрузка, пневмоконоиозы, пылеподавление, респирабельная фракция, прогноз пылеобразования, открытые горные работы.

Для цитирования: Коршунов Г. И., Каримов А. М., Магомедов Г. С., Тюлькин 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.

Reduction of respirable dust-induced impact on open pit mine personnel in large-scale blasting

G.I. Korshunov¹, A.M. Karimov¹, G.S. Magamedov², S.A. Tyulkin²

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: arturkarimov762@gmail.com

² JSC «Gavrilovo Quarry Management», Gavrilovo, Russia

Abstract: Various genesis occupational diseases are the problem in mineral mining. The aero-induced impact on personnel in an open pit mine, due to the increased dust content of air, leads to development of respiratory diseases. The main sources of dusting in open pit mining are drilling and blasting, rock excavation and haulage, and dumping. The heaviest impact is exerted on respiratory organs by respirable dust to 10 μm in size. Large-scale blasting leads to atomization of rocks and to a single-step emission of appreciable quantity of finest dust particles. Efficiency of dust combating in large-scale blasting depends on the local climate, physical and mechanical properties of rocks and blasting design. In the negative temperature seasons, dust suppression in large-scale blasting uses snow cover on a block subjected to blasting; in the positive temperature seasons, surfactants are added in hydraulic stemming of blast holes. This article describes the theoretical, in-situ and lab-scale research of the snow cover efficiency, and offers a substantiation of the selection procedure of hydraulic stemming composition using surface active substances for dust suppression in large-scale blasting.

Key words: dust, large-scale blasts, dust load, dust diseases, dust suppression, respirable dust, dusting prediction, open pit mining.

For citation: 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;(7):132-144. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_132.

Введение

Ведущее место при добыче полезных ископаемых занимает открытый способ разработки, на долю которого приходится более 70% общего объема добываемых полезных ископаемых [1–3]. В настоящее время этим способом добывается около 90% железных руд, до 75% руд цветных металлов и угля, более 80% химического сырья и почти весь объем строительных полезных ископаемых [4–6]. Глубина разработки современных предприятий, ведущих работы открытым способом, обычно не превышает 400 м, но прослеживается тенденция увеличения глубины разработки [7–10].

Увеличение глубины разработки происходит за счет применения все более производительного оборудования на различных этапах горных работ [11–13]. Однако рост мощности оборудования приводит к повышению концентрации выделяемой пыли и вредных газов, помимо этого, увеличивающаяся глубина разработки усложняет воздухообмен и

возможности проветривания [14, 15]. Естественное проветривание эффективно на карьерах глубиной не более 200–250 м, на большей глубине необходимы дополнительные инженерно-технические решения [16].

Неблагоприятные производственные факторы в условиях горнодобывающего предприятия приводят к развитию профессиональных заболеваний (ПЗ) различного происхождения [17–20].

В 2016 г. ПЗ на предприятиях по добыче угля и не топливно-энергетических полезных ископаемых составили 30,29 и 29,08 случаев заболеваний на 10 тыс. работающих соответственно, тогда как общероссийский показатель ПЗ по предприятиям всех видов составляет 1,41. В табл. 1 представлена статистика ПЗ рабочих горнодобывающих предприятий открытого типа.

Анализ профессиональных заболеваний, выявленных у работников горнодобывающих предприятий открытого типа, показал, что лидирующее место среди

Таблица 1

Статистика профессиональных заболеваний сотрудников горнодобывающих предприятий открытого типа за 2015—2017 гг. на 10 тыс. прошедших медосмотр [19]
Statistics of occupational diseases of employees of open-type mining enterprises for 2015—2017 per 10 thousand who passed a medical examination [19]

Показатели	Годы		
	2015	2016	2017
Общий показатель профессиональных заболеваний по всем формам патологии	22,8	22,7	20,6
Профессиональные заболевания пылевой этиологии	5	1,8	2,9

них занимают заболевания органов дыхания, органов слуха и вибрационная болезнь. Ниже представлена статистика профессиональных заболеваний (рис. 1) [21—24].

Наиболее негативное влияние на органы дыхания оказывает респираторная фракция пыли с диаметром частиц до 10 мкм (PM10), повышение средней концентрации которой на 10% приводит к увеличению заболеваемости органов дыхания на 26% [25—27].

Концентрация пыли респираторной фракции наряду с ее составом определяет уровень вредного фиброгенного воздействия на человеческий организм. Частицы диаметром 10 мкм (PM10) попадают при дыхании глубоко в легкие, в отличие от более крупных частиц [28, 29]. Частицы диаметром до 2,5 мкм (PM2,5) попадают напрямую в альвеолы, где происходит газообмен между легкими и кровеносными сосудами, что приводит к

попаданию пыли в кровь [30]. Уровень загрязнения дыхательной системы работников определяется количеством и дисперсным составом пыли, а также количеством вредных компонентов, выделяющихся в пылегазовом облаке и попадающих вместе с пылевыми частицами в кровь [31].

Наиболее значимыми по выделению пыли являются процессы экскавации, буровзрывные работы, транспортирование, пыление отвалов [32]. В общей массе пылевых выбросов на долю буровзрывных работ приходится около 35% [33]. На другие технологические этапы также приходится значительная часть пылевыделения, например на экскавацию — 35%, стоит отметить, что сам по себе процесс экскавации не переизмельчает породу до мельчайших частиц пыли, но повторно поднимает осевшую пыль, образованную в результате других технологических процессов (рис. 2) [34].



Рис. 1. Общая структура заболеваемости работников горнодобывающих предприятий, ведущих разработку открытым способом [составлено авторами]

Fig. 1. The general structure of morbidity of employees of mining enterprises engaged in open-pit mining [compiled by the authors]



Рис. 2. Структура выбросов пыли по различным технологическим процессам [составлено авторами]
 Fig. 2. The structure of dust emissions by various technological processes [compiled by the authors]

Значительный вклад в исследование процессов образования и распространения пыли, а также способов снижения ее аэротехногенного воздействия на горных предприятиях, ведущих разработку открытым способом, внесли Г.П. Пармонов, Н.З. Битколов, О.В. Тихонова, В.В. Адушкин, Ю.В. Шувалов, А.А. Спивак, Е.Н. Чемизов, Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.А. Михайлов, В.А. Белин, М.Г. Менжулин, однако в этих работах недостаточно внимания уделялось вопросу борьбы с наиболее опасной респираторной фракцией пыли.

В современной научной литературе и нормативной документации роли буровзрывных работ в формировании пылевой нагрузки на рабочую зону карьеров уделяется недостаточное внимание. При выборе параметров буровзрывных работ практически не учитываются вопросы, связанные с пылевыведением, в том числе респираторной фракции. Пыль наносит вред не только работникам и технике, но и людям, не связанным с горнодобывающей отраслью, живущим в непосредственной близости от разрезов и карьеров. В этой связи борьба с респираторной фракцией пыли на карьерах является актуальной задачей как с точки зрения охраны труда, так и с точки зрения экологии.

Метод

В работе использован комплексный подход, включающий:

- анализ научных исследований и нормативной документации, содержащей требования к параметрам атмосферы на карьерах и методики их оценки;
- натурные исследования запыленности и способов пылеподавления, влияющих на аэротехногенную обстановку рабочей зоны, на примере карьера «Гавриловский» АО «Гавриловское карьероуправление»;
- лабораторные исследования дисперсного состава респираторной фракции пыли, осевшей после массового взрыва;
- математическое моделирование процессов пылеобразования с целью прогнозирования выделения респираторной фракции пыли при проведении массовых взрывов.

Для определения параметров воздушной среды карьера по пылевому фактору использовался счетчик пылевых частиц «СЕМ DT-9880» и анализатор размеров частиц «Camsizer XT». Основной целью исследований являлось определение количества наиболее вредных для человека частиц пыли респираторной фракции (размером до 10 мкм) в замерных точках на различном расстоянии от взрывающегося блока.

С целью оценки количества выделяемой пыли различной фракции проведена аэротехногенная съемка пространства вблизи взрывающегося блока после массового взрыва на карьере «Гавриловский», Ленинградская область, в различное вре-

мя года и при различных погодных условиях.

Первый замер был проведен в январе 2022 г. без применения способов пылеподавления. Замер 2 — в феврале 2022 г. с применением в качестве способа пылеподавления снежного покрова толщиной 20 см, нанесенного на взрываемый блок. Замер 3 проведен в августе 2022 г. без применения способов пылеподавления, результаты измерений количества частиц пыли представлены в табл. 2.

При производстве массового взрыва с применением на взрываемом блоке снежного покрова толщиной более 20 см наблюдалось снижение числа пылевых частиц наиболее опасной респираторной фракции PM_{2,5} на 25—30%. При про-

изводстве массового взрыва в летний период без применения средств пылеподавления выделяется в два раза больше частиц пыли респираторной фракции, чем в зимний период без средств пылеподавления.

Для борьбы с респираторной фракцией пыли, выделяемой при производстве массовых взрывов, в летний период предлагается применять поверхностно активные вещества (ПАВ) в составе гидрозабойки скважины. Были проанализированы различные составы ПАВ: эльфор-М, лауретсульфатнатрия 70%, а также составы на основе сульфанола, алкилполигликозидов кокамидопропилбетаина. В качестве ПАВ для гидрозабойки предлагается применять состав на основе

Таблица 2

Результаты натурных исследований количества частиц пыли респираторной фракции [составлено авторами]

The results of field studies of the number of dust particles of the respirable fraction [compiled by the authors]

№ замера	Сезон	Размер частиц, мкм	Количество частиц на различном расстоянии, м				
			10	20	30	40	50
1	Зима, январь, 2022	0,3	41 221	13 628	9730	8501	7074
		0,5	15 714	4869	4111	2856	2620
		1	2478	1134	827	520	589
		2,5	219	105	63	63	69
		5	31	40	13	10	20
		10	10	13	8	10	8
2	Зима, февраль, 2022	0,3	20 311	16 566	8137	6737	4363
		0,5	7942	6828	3249	2524	1781
		1	1541	1697	816	607	336
		2,5	173	302	78	82	38
		5	41	49	27	25	14
		10	18	16	11	17	6
3	Лето, август, 2022	0,3	127 200	124 020	39 371	37 373	34 120
		0,5	36 756	31 537	11 578	9855	9798
		1	5139	3584	1876	1378	1201
		2,5	487	371	207	144	133
		5	57	58	21	42	34
		10	20	15	8	15	14

алкилполигликозидов с добавлением кокамидопропилбетаина, так как этот состав обладает высокой способностью к смачиваемости, а кокамидопропилбетаин придает амфотерные свойства, что позволит улавливать частицы пыли, имеющие как положительный, так и отрицательный заряд.

В ходе работы применялось математическое моделирование для прогнозирования выхода респираторной фракции пыли. Использовалась математическая модель на основе функций Swebres, Розина-Раммлера и логарифмически нормального распределения. Был подготовлен патент РФ № 2022663908 «Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц образованных в результате массового взрыва», бюллетень программ для ЭВМ № 8.

Для апробации математической модели необходимо сравнить массовое распределение частиц пыли различных респираторных фракций, полученных при математическом моделировании и в результате натурных исследований. Чтобы рассчитать массовую концентрацию каждой фракции пыли в мг/м³, необходимо знать количество взвешенных частиц пыли и их средний диаметр, эти данные были получены в результате натурных измерений.

Для расчета массы частиц аэрозоля диаметром d , имеющих плотность ρ , была использована следующая формула:

$$m_i = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho_i}{6}, \quad (1)$$

где m_i — масса частицы, кг; d — аэродинамический диаметр частицы, м; ρ — истинная плотность частицы, кг/м³.

$$C = N_1 \cdot m_1 + N_2 \cdot m_2 + N_3 \cdot m_3, \quad (2)$$

где C — массовая концентрация аэрозоля, мг/м³; m_i — средние массы частиц каждой фракции пыли, кг; N_i — счетная

концентрация частиц для каждой фракции, шт.

Наиболее приближенной к значениям, полученным в ходе натурных исследований, оказалась математическая модель, основанная на функции логарифмически нормального распределения:

$$y = \exp \left[\frac{(\ln x - \ln x_{50})}{\sigma_{\ln x}} \right], \quad (3)$$

где x_{50} — медиана распределения; x — диаметр частицы, м; $\sigma_{\ln x}$ — среднеквадратический параметр распределения.

$$x_{50} = \frac{x_A \cdot \ln 2^{\frac{1}{(n \times n^*)}}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{(n \times n^*)} \right)}, \quad (4)$$

где n — равномерность дробления; n^* — определяется в зависимости от значения n ; x_c — средневзвешенный кусок породы, см.

$$\sigma_{\ln x} = 1,77 + 0,03 \cdot \ln \left(\frac{q_e}{q_0} \right), \quad (5)$$

где q_0 — это идеальная энергия взрыва, Дж; q_e — полная энергия взрыва, Дж.

По формулам, приведенным выше, была вычислена массовая концентрация респираторной фракции пыли, измеренная вблизи блока взорванной горной массы, рассчитана прогнозируемая массовая концентрация респираторной фракции пыли, далее определен процентный выход различных фракций от общей массы респираторной фракции пыли (табл. 3).

Основываясь на информации, приведенной в табл. 3, при замерах 1 и 3 содержание наиболее опасной фракции PM2,5 от общего количества исследованной пыли составляет 39,4 и 43,5% соответственно, тогда как при замере 2 составляет 20%. Во время замера 2 оседающие частицы пыли собирались в пылесборники, в дальнейшем они были проанализированы на установке «Sam-sizer XT». Анализ собранных образцов

Таблица 3

Распределение респираторных частиц пыли по массе [составлено авторами]
Distribution of respirable dust particles by mass [compiled by the authors]

Класс крупности частиц d , мкм		0,3	0,3—0,5	0,5—1	1—2,5	2,5—5	5—10
Процентное содержание по массе, γ , %	Замер 1	4,9	8,6	10,9	15	17	43,6
	Замер 2	1,9	3,4	5,3	9,4	17,7	62,3
	Анализ осевшей пыли	0,7	4,2	10,3	14,6	22,1	53,8
	Замер 3	7,2	9,6	10,8	15,9	14,9	41,6
	Математическое моделирование	3,8	5,3	8,6	15,8	25,5	41

показал, что количество пылевых частиц фракции PM10 составляет 1,4% от их общего количества, а на долю фракции PM2,5 приходится 29,8% массы всей респираторной пыли.

Ниже представлена суммарная характеристика крупности пылевого аэрозоля по данным замера 1 (рис. 3).

Прогнозирование выхода пылевых частиц респираторной фракции с помощью математического моделирования по формуле логарифмически нормального распределения показало, что выход фракции PM2,5 должен составить 33,5% массы всей респираторной пыли. Прогнозируемый выход респираторной фракции пыли близок к значениям, полученным во время массовых взрывов без применения каких-либо способов пылеподавления (замеры 1 и 3).

Ниже представлены результаты математического моделирования суммарной характеристики крупности пылевого аэрозоля (рис. 4).

Результаты

В данной работе приведены результаты натуральных и лабораторных исследований количества респираторных частиц пыли, образованных в результате массового взрыва на различном расстоянии от взрываемого блока, представлены результаты математического моделирования пылеобразования респираторной фракции при производстве массового взрыва.

Результаты натуральных исследований показали, что при проведении массовых взрывов в период отрицательных температур применение снежного покрова на взрываемом блоке позволяет снизить количество выделяемой пыли наиболее опасной фракции PM2,5 на 25—30%.

При производстве массовых взрывов в период положительных температур выделяется в 2 и более раза больше респираторной фракции пыли, чем в зимний период, в обоих случаях без применения способов пылеподавления. Борьба с

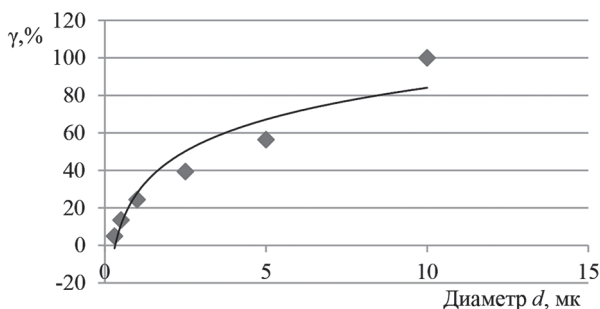


Рис. 3. Суммарная характеристика крупности пылевого аэрозоля фракции PM10 [составлено авторами]
 Fig. 3. Summary characteristics of the size of the dust aerosol fraction PM10 [compiled by the authors]

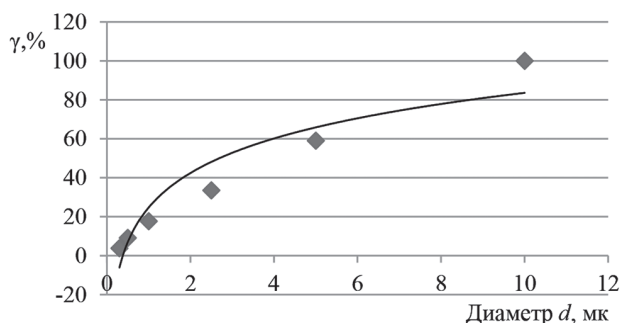


Рис. 4. Математическое моделирование суммарной характеристики крупности пылевого аэрозоля фракции PM10 [составлено авторами]

Fig. 4. Mathematical modeling of the total characteristics of the fineness of the dust aerosol fraction PM10 [compiled by the authors]

респираторной фракцией пыли в летний период предполагается применением гидрозабойки с 0,05%-ным раствором ПАВ, в состав которого входят алкилполигликозиды с добавлением кокамидопропилбетаина, что позволит снизить выход респираторной фракции пыли на 30–40%.

Для выбора параметров буровзрывных работ и средств для пылеподавления при производстве массовых взрывов разработана математическая модель прогнозирования выхода респираторных фракций пыли, основанная на функции логарифмического распределения. Математическая модель позволяет прогнозировать выход различных фракций пыли и определить противопылевые мероприятия, подавляющие наиболее многочисленную и опасную фракцию пыли.

Изучение процессов образования и подавления респираторной фракции пыли является актуальным направлением дальнейших исследований. Механизм пылеобразования не до конца изучен, также как и процесс взаимодействия снежного покрова и поверхностно активных веществ с частицами пыли. Изучение влияния горно-геологических условий и различных способов пылеподавления на количество выделяемых частиц респираторной фракции пыли для повышения

точности математического моделирования пылеобразования при производстве массовых взрывов является направлением дальнейших исследований авторов.

Заключение

1. Буровзрывные работы являются одним из основных источников пылевыделения, в том числе респираторных фракций, и на данный технологический этап приходится до 35% от общего выделения пыли на карьерах.

2. Установлено, что в период отрицательных температур применение снежного покрова толщиной 20 см и более на взрываеом блоке снижает выход наиболее опасной респираторной фракции пыли PM2,5 на 25–30%.

3. Применение 0,05%-ного раствора алкилполигликозидов с добавлением кокамидопропилбетаина повышает смачивающие свойства гидрозабойки на 40%, данный раствор ПАВ позволяет снизить выход респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов на 30–40%.

4. Разработанная и апробированная математическая модель на основе функции логарифмически нормального распределения позволяет прогнозировать выход респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gendler 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. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.
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 & Exploration. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485 – 494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.
3. Сарапулова Г. И. Геохимический подход в оценке воздействия техногенных объектов на почвы // Записки Горного Института. – 2020. – Т. 243. – С. 388–392. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.388.
4. Rogers W. P., Kahraman M., Drews F. A., Powell K. M., Haight J. M., Yaxue Wang, Baxla K., Sobalkar M. Automation in the mining industry: review of technology, systems, human factors, and political risk // Mining Metallurgy & Exploration. 2019, vol. 36, no. 9. DOI: 10.1007/s42461-019-0094-2.
5. Afanasev P., Pasyukov A., Kurta I. Optimal parameters for drilling explosions when developing coal deposits by open-pit method // Paper presented at the E3S Web of Conferences. 2020, vol. 164, article 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401012.
6. Ilyashenko I. S., Kovshov S. V. Investigation of the adhesion properties of organic dust suppressants // Paper presented at the E3S Web of Conferences. 2021, vol. 266, article 02014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126602014.
7. Сычев Ю. А., Костин В. Н., Сериков В. А., Аладьин М. Е. Анализ несинусоидальных режимов в системах электроснабжения горных предприятий с нелинейной нагрузкой и конденсаторными установками // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 1. – С. 159 – 179. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_159.
8. Гусев В. Н., Пулоревич А. А. Повышение точности гироскопического ориентирования за счет учета дрейфа гироазимутов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 134–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_134.
9. Ларичев А. Ю., Парамонов Г. П., Пелех М. Т. Влияние энергетических свойств взрывчатых веществ на процессы пылегазообразования и пожаровзрывобезопасность // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2010. – № 4(16). – С. 60 – 64.
10. Сытенков В. Н., Рубцов С. К., Бибиб С. К. Экологические аспекты при производстве массовых взрывов на карьерах // Горный вестник Узбекистана. – 2008. – № 33. – С. 25 – 31.
11. Зыков Ю. Н., Перник Л. М., Сливак А. А., Выпадение пыли из газопылевого облака при массовом взрыве на карьере / Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли (Геофизика сильных возмущений): Сборник научных трудов. – М.: ИГД РАН, 2002. – С. 481 – 482.
12. Менжулин М. Г., Парамонов Г. П., Шишов А. Н. Метод расчета параметров волн напряжений и диссипации энергии в области разрушения горных пород при взрыве удлиненных зарядов различных составов и конструкций // Наука в СПГГИ. – 1998. – № 3. – С. 205 – 219.
13. Колесник В. Е., Юрченко А. А., Литвиненко А. А., Павличенко А. В. Способы и средства повышения экологической безопасности массовых взрывов в железорудных карьерах по пылевому фактору. – Днепропетровск, 2014. – 112 с.
14. Амха Б. Г. Совершенствование методики расчета пылегазовых выбросов в атмосферу при взрывных работах на карьерах. – Тула: ТулГУ, 2008. – 164 с.
15. Очиров В. С. Научное обоснование совершенствования технологии взрывных работ для снижения пылегазо-акустического воздействия на карьерах и рудниках Забайкалья. – Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2001. – 308 с.
16. Тихонова О. В. Обоснование параметров буровзрывных работ для снижения пылегазообразования при массовых взрывах на карьерах строительных материалов. – СПб.: СПГГИ, 2006. – 211 с.

17. Михайлова В. Н., Баловцев С. В., Христофоров Н. Р. Оценка риска возникновения профессиональных заболеваний органов слуха у горнорабочих при нарушении статьи 27 Федерального закона 52 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 228–234. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-228-234.

18. Каркашадзе Г. Г., Новиков И. В. Разработка эффективного способа пылеподавления при производстве массовых взрывов на рудных карьерах // Записки Горного Института. — 2001. — Т. 148. — С. 50–56.

19. Новиков И. В. Обоснование и разработка способа пылеподавления с реализацией процесса насыщения водой пылевого облака при взрывных работах на карьерах. — М.: МГГУ, 2002. — 46 с.

20. Смирнякова В. В. О долгосрочной программе обеспечения промышленной и экологической безопасности в угольной отрасли // Записки Горного Института. — 2014. — Т. 207. — С. 155–158.

21. Захаренков В. В., Олещенко А. М., Пананотти Е. А., Суржигов Д. В. Комплексная оценка риска для здоровья работающих при открытой добыче угля от воздействия физических факторов // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. — 2006. — № 3. — С. 49–52.

22. Сюрин С. А., Гушин И. В., Никанов А. Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. — 2012. — № 6. — С. 8–12.

23. Чеботарёв А. Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий // Горная промышленность. — 2018. — № 3(139). — С. 66–70. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70.

24. Сафина А. М. Обоснование параметров гидрообеспыливания для снижения аэротехногенного воздействия автодорог на персонал угольных разрезов. — СПб.: СПГУ, 2019. — 93 с.

25. Ларичев А. Ю. Обоснование рациональных параметров буровзрывных работ для снижения вредных выбросов пыли и газа при производстве массовых взрывов на карьерах. — М.: СПбГТИ, 2012. — 153 с.

26. Василец В. Н., Афанасьев П. И., Павлович А. А. Обеспечение условий безопасной эксплуатации горнотранспортного комплекса при воздействии сейсмозврывных волн // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 1. — С. 26–35. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-26-35.

27. Гендлер С. Г., Борисовский И. А. Оценка влияния температурных условий на естественную вентиляцию глубоких карьеров Арктической зоны // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 218–227. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-218-227.

28. Гендлер С. Г., Прохорова Е. А. Оценка совокупного влияния производственного травматизма и профессиональных заболеваний на состояние охраны труда в угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 10-2. — С. 105–116. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_105.

29. Рудаков М. Л., Дука Н. Е. Изучение свойств звукопоглощающих материалов при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 165–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_165.

30. Хохлов С. В., Виноградов Ю. И., Носков А. П., Баженова А. В. Прогнозирование смещения рудных контуров при формировании развала взорванной горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 3. — С. 40–56. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_40.

31. Молдован Д. В., Чернобай В. И., Соколов С. Т., Баженова А. В. Конструктивные решения запираания продуктов взрыва во взрывной полости // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-2. — С. 5–17. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_5.

32. Кольвах К. А. Оценка и управление риском травматизма подземного персонала при обрушении горных пород на угольных шахтах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 124–132. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_124.
33. Романченко С. Б., Нагановский Ю. К., Корнев А. В. Инновационные способы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок // Записки Горного института. – 2021. – Т. 252. – С. 927–936. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.
34. 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. **MIAB**

REFERENCES

- Gendler 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. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.
- 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 & Exploration*. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485–494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.
- Sarapulova G. I. Geochemical approach in assessing the technogenic impact on soils. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 243, pp. 388–392. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.388.
- Rogers W. P., Kahraman M., Drews F. A., Powell K. M., Haight J. M., Yaxue Wang, Baxla K., Sobalkar M. Automation in the mining industry: review of technology, systems, human factors, and political risk. *Mining Metallurgy & Exploration*. 2019, vol. 36, no. 9. DOI: 10.1007/s42461-019-0094-2.
- Afanasev P., Pasyukov A., Kurta I. Optimal parameters for drilling explosions when developing coal deposits by open-pit method. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 164, article 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401012.
- Ilyashenko I. S., Kovshov S. V. Investigation of the adhesion properties of organic dust suppressants. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 266, article 02014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126602014.
- Sychev Yu. A., Kostin V. N., Serikov V. A., Aladin M. E. Nonsinusoidal modes in power-supply systems with nonlinear loads and capacitors in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 1, pp. 159–179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_159.
- Gusev V. N., Puporevich A. A. Improving accuracy of navigation using gyroscopes with regard to gyro drift and azimuth error. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10, pp. 134–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_134.
- Larichev A. Yu., Paramonov G. P., Pelekh M. T. The influence of the energy properties of explosives on the processes of dust and gas formation and fire and explosion safety. *Problems of technosphere risk management*. 2010, no. 4(16), pp. 60–64. [In Russ].
- Sytenkov V. N., Rubtsov S. K., Bibik S. K. Ecological aspects in the production of mass explosions at quarries. *Mining bulletin of Uzbekistan*. 2008, no. 33, pp. 25–31. [In Russ].
- Zykov Yu. N., Pernik L. M., Spivak A. A., Dust fallout from a gas-dust cloud during a mass explosion at a quarry. *Nestatsionarnye protsessy v verkhnikh i nizhnikh obolochkakh Zemli (Geofizika sil'nykh vozmushcheniy): Sbornik nauchnykh trudov* [Unsteady processes in the upper and lower shells of the Earth (Geophysics of strong disturbances). Collection of scientific papers], Moscow, IGD RAN, 2002, pp. 481–482.
- Menzhulin M. G., Paramonov G. P., Shishov A. N. Method for calculating the parameters of stress waves and energy dissipation in the field of rock destruction during the explosion of elongated charges of various compositions and structures. *Nauka v SPGGI*. 1998, no. 3, pp. 205–219. [In Russ].
- Kolesnik V. E., Yurchenko A. A., Litvinenko A. A., Pavlichenko A. V. *Sposoby i sredstva povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti massovykh vzryvov v zhelezorudnykh kar'erakh po*

pylevomu faktoru [Ways and means of improving the environmental safety of mass explosions in iron ore quarries by the dust factor], Dnepropetrovsk, 2014, 112 p.

14. Amkha B. G. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta pylegazovykh vybrosov v atmosferu pri vzryvnykh rabotakh na kar'erakh* [Improving the methodology for calculating dust and gas emissions into the atmosphere during blasting operations at quarries], Tula, TulGU, 2008, 164 p.

15. Ochirov V. S. *Nauchnoe obosnovanie sovershenstvovaniya tekhnologii vzryvnykh rabot dlya snizheniya pylegazo-akusticheskogo vozdeystviya na kar'erakh i rudnikakh Zabaykal'ya* [Scientific substantiation of the improvement of blasting technology to reduce dust, gas and acoustic effects in quarries and mines of Transbaikalia], Ulan-Ude, VSGUTU, 2001, 308 p.

16. Tikhonova O. V. *Obosnovanie parametrov burovzryvnykh rabot dlya snizheniya pylegazoobrazovaniya pri massovykh vzryvakh na kar'erakh stroitel'nykh materialov* [Substantiation of the parameters of drilling and blasting operations to reduce dust and gas formation during mass explosions at quarries of building materials], Saint-Petersburg, SPGGI, 2006, 211 p.

17. Mikhaylova V. N., Balovtsev S. V., Khristoforov N. R. Assessment of occupational hearing disorder on the violation of Article 27 of Federal Law 52 in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 5, pp. 228 – 234. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-228-234.

18. Karkashadze G. G., Novikov I. V. Development of an effective method of dust suppression in the production of mass explosions at ore pits. *Journal of Mining Institute.* 2001, vol. 148, pp. 50 – 56. [In Russ].

19. Novikov I. V. *Obosnovanie i razrabotka sposoba pylepodavleniya s realizatsiey protsessa nasyshcheniya vody pylevogo oblaka pri vzryvnykh rabotakh na kar'erakh* [Justification and development of a method of dust suppression with the implementation of the process of saturation of a dust cloud with water during blasting operations at quarries], Moscow, MGGU, 2002, 46 p.

20. Smirnyakova V. V. About the long-term program of ensuring industrial and environmental safety in the coal industry. *Journal of Mining Institute.* 2014, vol. 207, pp. 155 – 158. [In Russ].

21. Zakharenkov V. V., Oleshchenko A. M., Pananotti E. A., Surzhikov D. V. Comprehensive assessment of health risk working in open-pit coal mining from the effects of physical factors. *Bulletin of Eastern-Siberian scientific center.* 2006, no. 3, pp. 49 – 52. [In Russ].

22. Syurin S. A., Gushchin I. V., Nikanov A. N. Professional pathology of workers of various industries of the copper-nickel industry of the Far North. *Human ecology.* 2012, no. 6, pp. 8 – 12. [In Russ].

23. Chebotarev A. G. Risks of development of occupational diseases of dust etiology in workers of mining enterprises. *Russian Mining Industry Journal.* 2018, no. 3(139), pp. 66 – 70. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70.

24. Safina A. M. *Obosnovanie parametrov gidroobespylivaniya dlya snizheniya aerotekhnogennogo vozdeystviya avtodorog na personal ugol'nykh razrezov* [Substantiation of the parameters of hydro-spraying to reduce the aerotechnogenic impact of highways on the personnel of coal mines], Saint-Petersburg, SPGU, 2019, 93 p.

25. Larichev A. Yu. *Obosnovanie ratsional'nykh parametrov burovzryvnykh rabot dlya snizheniya vrednykh vybrosov pyli i gaza pri proizvodstve massovykh vzryvov na kar'erakh* [Justification of rational parameters of drilling and blasting operations to reduce harmful emissions of dust and gas during the production of mass explosions at quarries], Moscow, 2012, 153 p.

26. Vasilets V. V., Afanasev P. I., Pavlovich A. A. Safe operation of mining-and-transport system under impact of seismic shot waves. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 1, pp. 26 – 35. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-26-35.

27. Gendler S. G., Borisovsky I. A. Assessment of the influence of temperature conditions on the natural ventilation of deep pits in the Arctic zone. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2022, vol. 14, no. 2, pp. 218 – 227. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-218-227.

28. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Assessment of the cumulative impact of occupational injuries and diseases on the state of labor protection in the coal industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 10-2, pp. 105 – 116. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_105.

29. Rudakov M. L., Duka N. E. Analysis of properties of deafeners to design personal ear protectors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 165–180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_165.

30. Khokhlov S. V., Vinogradov Yu. I., Noskov A. P., Bazhenova A. V. Predicting displacements of ore body boundaries in generation of blasted rock pile. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 3, pp. 40–56. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_40.

31. Moldovan D. V., Chernobay V. I., Sokolov S. T., Bazhenova A. V. Design concepts for explosion products locking in chamber. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-2, pp. 5–17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_5.

32. Kolvakh K. A. Assessment and management of injury risk of personnel in case of rock failures in coal mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 3, pp. 124–132. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_124.

33. Romanchenko S. B., Naganovsky Yu. K., Kornev A. V. Innovative ways to control dust and explosion safety of mine workings. *Journal of Mining Institute.* 2021, vol. 252, pp. 927–936. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.

34. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коршунов Геннадий Иванович¹ — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: korshunov_gi@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2074-9695,

Каримов Артур Маратович¹ — аспирант,
e-mail: arturkarimov762@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-1261-6414,

Магомедов Гаджи Сиражудинович² — генеральный директор
e-mail: aogku@yandex.ru,

Тюлькин Сергей Александрович² — начальник БВР,
e-mail: aogku@yandex.ru,

¹ Санкт-Петербургский горный университет,

² АО «Гавриловское карьероуправление».

Для контактов: Каримов Артур Маратович, e-mail: arturkarimov762@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

G.I. Korshunov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: korshunov_gi@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0003-2074-9695,

A.M. Karimov¹, Graduate Student,

e-mail: arturkarimov762@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-1261-6414,

G.S. Magamedov², General Director,

e-mail: aogku@yandex.ru,

S.A. Tyulkin², Head of Drilling and Blasting Section,

e-mail: aogku@yandex.ru,

¹ Saint-Petersburg Mining University,

199106, Saint-Petersburg, Russia,

² JSC «Gavrilovo Quarry Management», 188870, Gavrilovo, Russia.

Corresponding author: A.M. Karimov, e-mail: arturkarimov762@gmail.com.

Получена редакцией 24.03.2023; получена после рецензии 27.04.2023; принята к печати 10.06.2023.

Received by the editors 24.03.2023; received after the review 27.04.2023; accepted for printing 10.06.2023.