

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМОВОГО ФАКТОРА НА ПОДЗЕМНЫЙ ПЕРСОНАЛ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А. Н. Никулин¹, Д. Ю. Красноухова¹, Л. В. Степанова², В. Г. Бурлов², Ф. А. Гомазов²

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 199106, Российская Федерация,
e-mail: nikulin_an@pers.spmi.ru

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, 195251,
Российская Федерация, e-mail: office@spbstu.ru

Аннотация: С усовершенствованием технологий по добыче и переработке полезных ископаемых увеличивается воздействие на работников вредных и опасных производственных факторов, которые могут оказывать совокупное воздействие и усугублять влияние на здоровье человека. Применение системы средств защиты с возможностью оценки существующего уровня шума на рабочих местах в реальном времени, передачи информации и предупреждения работника о необходимости защиты органа слуха позволит снизить риск развития профессиональных заболеваний органов слуха работников. В статье обсуждается разработка модернизированной системы мониторинга шумового воздействия на работников угольных шахт и предупреждения работников о превышении допустимых значений шума и необходимости применения средств индивидуальной защиты органа слуха. Обсуждаемые экспериментальные методы включают анкетирование, дозиметрию и оценку смещения порога слышимости. Согласно полученным измерениям разработан и спроектирован действующий макет каски с системой мониторинга и контроля применения, который прошел апробацию в условиях шахты «Садкинская» ООО «Шахтоуправление «Садкинское». В результате проведен анализ эффективности модернизированного средства индивидуальной защиты органа слуха и установлена эффективность системы контроля применения и предупреждения работников о возможном превышении предельно допустимого уровня шума. Проведены расчеты прогнозируемого смещения порога слышимости у работников с учетом применения средств контроля шумовой обстановки на рабочих местах.

Ключевые слова: Охрана труда, угольная шахта, шум, мониторинг шума, оценка воздействия шума, средства индивидуальной защиты от шума, система мониторинга, профилактика профессиональных заболеваний.

Благодарности: Исследование выполнено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 год №FSRW-2020–0014.

Для цитирования: Никулин А. Н., Красноухова Д. Ю., Степанова Л. В., Бурлов В. Г., Гомазов Ф. А. Организационно-технические решения по снижению воздействия шумового фактора на подземный персонал угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6–1. — С. 157–173. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_157.

Organizational and technical measures to reduce the value of industrial noise on the underground coal miners

A. N. Nikulin¹, D. Y. Krasnoukhova¹, L. V. Stepanova², V. G. Burlov², F. A. Gomazov²

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation, e-mail: nikulin_an@pers.spmi.ru

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation, e-mail: office@spbstu.ru

Abstract: The continuous improvement of mining enterprises, the expansion and developing of modern technological processes leads to the emergence of new sources of danger and the concentration of harmful and hazardous production factors in the workplace. In order to prevent the development of occupational diseases of hearing, a system is being developed with the ability to assess the noise level at workplaces in real time, transmit information and warn the employee about the need to protect the hearing. This article discusses the development of a modernized system for monitoring noise exposure to coal mine workers and warning workers about exceeding the permissible noise levels and the need to use personal hearing protective equipment. Experimental methods discussed include questionnaires, dosimetry, and hearing threshold bias. According to the measurements obtained, a working model of a helmet with a system for monitoring and controlling the use was developed and designed, which was tested in the conditions of the Sadkinskaya mine of OJSC Shakhtoupravlenie Sadkinskoe. As a result, an analysis of the effectiveness of the modernized personal protective equipment for the hearing was carried out and the effectiveness of the system for monitoring the use and warning workers about possible exceeding the maximum permissible noise level was established. Calculations of the predicted displacement of the hearing threshold for workers were carried out, taking into account the use of means for monitoring the noise situation at workplaces.

Key words: Occupational safety, coal mine, noise, noise monitoring, noise impact assessment, noise protection, monitoring systems, prevention of occupational diseases.

Acknowledgments: The research was carried out at the expense of a grant for the implementation of the state task in the field of scientific activity for 2021 No. FSRW-2020-0014.

For citation: Nikulin A. N., Krasnoukhova D. Y., Stepanova L. V., Burlov V. G., Gomazov F. A. Organizational and technical measures to reduce the value of industrial noise on the underground coal miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6-1):157-173. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_157.

Введение

Непрерывное развитие предприятий горнодобывающей промышленности, расширение и усовершенствование существующих технологических процессов приводит к возникновению новых источников опасностей и концентрации вредных и опасных производственных факторов на рабочих местах [1-2]. Одним из наиболее распространенных вредных факторов

в угольных шахтах является производственный шум, источниками которого могут служить механизированные комплексы, добычные и проходческие комплексы, буровые станки, перфораторы, подъёмные машины и другие виды оборудования, генерирующие непостоянный прерывистый шум [3-4].

Воздействие шума (выше 80 дБА) на работника в течение рабочего стажа может привести к частичной потере

слуха и развитию профессиональных заболеваний [5–6]. В зависимости от длительности и интенсивности воздействия шума происходит временное смещение порога слышимости (ВСП) в большей или меньшей степени [7]. При небольшом воздействии порог слышимости восстанавливается, но при периодическом воздействии шума высокой интенсивности происходят необратимые потери слуха, в результате чего развивается профессиональное заболевание — нейросенсорная тугоухость [8–9].

Актуальным остается вопрос о фактическом применении средств защиты органа слуха (СИЗОС) при шумовом воздействии, поскольку опрос работников показал, что СИЗОС могут мешать при осуществлении работ и передаче информации между работниками, в результате чего возрастает потенциальный риск причинения вреда здоровью [10].

В целях предупреждения развития профессиональных заболеваний органа слуха разрабатывается система с возможностью оценки существующего уровня шума на рабочих местах в реальном времени, передачи информации и предупреждения работника о необходимости защиты органа слуха [11].

Существующие многофункциональные системы безопасности угольных шахт решают задачи по обеспечению связи, оповещения и геопозиционирования работников, что является недостаточным для мониторинга вредных производственных факторов в течение рабочей смены [12–13].

Для анализа существующих систем и моделей средств индивидуальной защиты (СИЗ), определения их преимуществ и недостатков, а также выявления перспективного направления развития современных СИЗ был проведен патентный поиск с целью изучения

исследованных технических решений в области применения умной каски в горнодобывающей отрасли.

Заслуживает внимание устройство «Светильник шахтный головной с информационно-измерительными функциями безопасности», который для расширения функциональности и создания надежного высокотехнологичного осветительного устройства предлагается оснастить источником света, блоком связи Wi-Fi, а осветительный агрегат дополнительно блоком определения своего местоположения относительно внутришахтных источников базовых сигналов с блоком экстренного оповещения головного офиса и тревожной сигнальной кнопкой [14]. Однако стоит отметить, что предлагаемая система не имеет возможности оценивать уровни вредных производственных факторов на рабочих местах.

Интересным является устройство «Многофункциональное головное устройство шахтера», которое представляет собой осветительный прибор с функциями управления и коммуникации, оценки газовой среды, звуковой сигнализации, оснащенный блоком питания, а также приемником электромагнитных волн. В качестве приемопередающего устройства применяется блок связи Wi-Fi с антенной, встроенной внутрь герметичного корпуса [15]. Данное устройство оценивает состояние условий труда по целому ряду опасных производственных факторов, однако текущий контроль вредных производственных факторов не осуществляется.

Стоит обратить внимание на «Светильник горно-шахтный индивидуального пользования», который представляет собой светильник, сконструированный во взрывозащищенном исполнении, с возможностью крепления на каске. Данное изобре-

тение использует светодиоды белого света и тубусы с линзой — в отличие от матриц светодиодов, которые требуют использования энергоемких источников питания, что влечет увеличение массы аккумуляторных батарей, а излучаемый свет от матричных светодиодов носит рассеивающую форму ближнего освещения. Также конструкция позволяет создать световой поток направленного действия с высокими показателями освещенности при экономичном расходовании энергии [16].

Можно сделать вывод, что патентуемые технические средства не имеют цели по контролю и измерению в течение рабочей смены вредных производственных факторов.

2. Методы

2.1. Анкетирование подземного персонала угольной шахты на предмет оценки функционала СИЗ

На ООО «Шахтоуправление «Садкинское» был проведен опрос-анкетирование горнорабочих, целью которого было установить отношение работников к правилам, факту и правильности применения средств защиты, а также степень готовности к применению инновационных СИЗ. Анкетирование проводилось среди работников следующих профессий:

- проходчик — 10 человек;
- горнорабочий подземный — 8 человек;
- горнорабочий очистного забоя — 6 человек;
- машинист горно-выемочной машины — 3 человека;
- электрослесарь — 3 человека;
- 9 человек других профессий.

Анкета содержала общие вопросы: профессия, стаж работы по данной профессии и общий трудовой стаж в угледобыче, а также специальные вопросы, связанные с отношением

к внедрению интеллектуальных средств индивидуальной защиты работников. Респондент мог дать варианты ответов: “Да” — 1 балл, “Промежуточно (свой вариант)” — 2 балла, “Нет” — 3 балла. Отсутствие ответа приравнивалось к 0 баллов. Максимальное количество баллов составило 39, а минимальное — 13.

По результатам анкетирования было установлено, что не все работники готовы применять в своей деятельности инновационные средства обеспечения безопасности, в результате чего мнения относительно необходимости обеспечения СИЗ новыми средствами контроля разделились [17]. В ходе анализа было установлено определенное недоверие работников к дополнительному оснащению и методам оценки применения СИЗ, при условии повышения безопасности проведения работ.

По результатам исследования было установлено, что применение средств защиты от шума не всегда востребовано при выполнении технологических операций, поскольку не все операции сопровождаются шумовым воздействием, при этом имеется необходимость в оперативной связи между работниками, а имеющиеся технологии связи требуют значительного совершенствования технических характеристик [18–19].

2.2. Контроль применения СИЗ головы — защитной каски

Согласно Приказу Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации N 290н от 1 июня 2009 г. об утверждении межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты работодатель обязан организовать надлежащий учет и контроль за выдачей работникам СИЗ в установленные сроки. Ответственные руководители структурных подразде-

лений и специалисты по охране труда контролируют правильность применения СИЗ, их своевременную замену и проверку [20].

На практике процесс контроля применения СИЗ, в том числе и защитной каски, сопровождается целым рядом условностей и компромиссов, связанных с «человеческим фактором» [21]. Руководители не всегда ответственно выполняют свои обязанности, не наказывают работников за неприменение СИЗ и т.д. [22].

Актуальной задачей в области охраны труда является организация дистанционного мониторинга воздействия опасных и вредных производственных факторов и контроля применения средств защиты [23]. Рассматриваемое направление является востребованным, поскольку модернизация методов и технических средств обеспечения безопасности работников, осуществляющих свою трудовую деятельность в условиях воздействия факторов среды, позволит снизить риск возникновения травм, ошибок при выполнении работ и развития профессиональных заболеваний [24]. Эффективное решение данной задачи позволит обеспечить непрерывный контроль соблюдения обязательных требований охраны труда по использованию СИЗ, что повысит уровень безопасности работника в процессе реализации трудовой деятельности [25].

Применение защитной каски позволяет создавать информационное поле для оценки соблюдения правил безопасности при эксплуатации в условиях производственной среды. В результате рассматриваются источники информации двух порядков: наличие головы в шлеме и положение наушников на каске.

Относительная простота идентификации наличия головы работника

или наушников в пространстве каски с помощью сенсорных систем является преимуществом рассматриваемого метода контроля соблюдения правил безопасности. При этом выбор регистрируемой информации определяется её ценностью и возможностью комфортной, не влияющей на производительность труда работника, реализацией процесса регистрации. Трудности имитации данных процессов снижают возможность формирования ложной информации об эксплуатации защитной каски [25].

Регистрация воздействия и информирования работника осуществляется в двух направлениях. Во-первых, реализуется процесс оперативного информирования работника о текущем нарушении с помощью световых сигналов. Такое сообщение мотивирует работника к устранению нарушения. Во-вторых, осуществляется процесс регистрации интервалов времени, соответствующих состоянию системы «работник–защитная каска» в течение рабочей смены [26–27].

Организация подобного контроля позволит повысить ответственность работника перед выполняемыми рабочими операциями, снизить возможность неприменения СИЗ при наличии превышения факторов среды нормативных значений, а также с наибольшей вероятностью установить причины аварийной ситуации или несчастного случая с работником [28–30].

2.3. Реализация функций мониторинга и сигнализации в совмещенном СИЗ головы и органа слуха

Защитная каска с устройством автоматического контроля эксплуатации и применения наушников состоит из корпуса каски и закреплённых на нем дополнительных элементов (рис. 1). На боковых сторонах каски

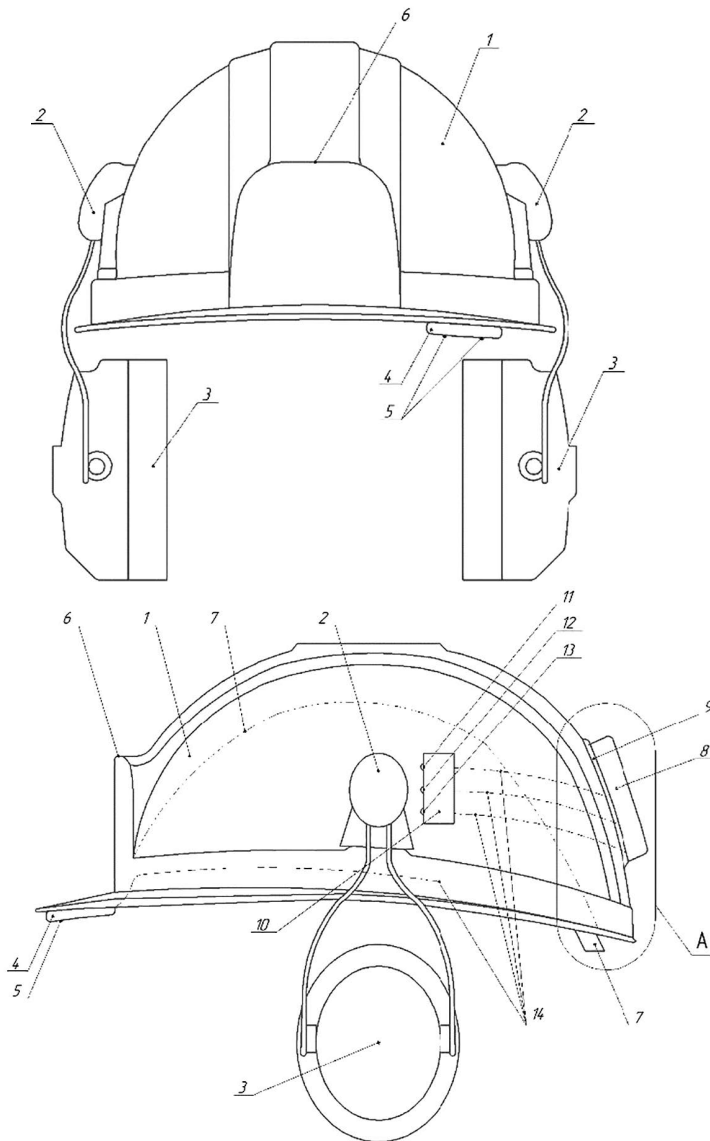


Рис. 1. Общий вид защитной каски с устройством контроля применения наушников: 1 – корпус защитной каски (жёсткая наружная оболочка), 2 – крепежная система наушников, 3 – наушники противозумные, 4 – датчик измерения уровня шума, 5 – световые индикаторы (светодиоды), 6 – ложемент для крепления фонаря, 7 – внутренняя оснастка каски, 8 – аппаратная платформа контроллера, 9 – ложемент для контроллера, 10 – контроллер наушников, 11 – контрольный датчик, 12 – датчик контроля использования СИЗ трехфазный, 13 – оптический канал, 14 – соединительные провода (составлено авторами)

Fig. 1. General view of the protective helmet with an automatic use control device: 1 – the body of the protective helmet (rigid outer shell), 2 – place of attachment of headphones, 3 – headphones, 4 – noise measurement sensor, 5 – LEDs, 6 – lodgment for headphome, 7 – the internal equipment of the helmet, 8 – device, 9 – lodgment for device, 10 – monitoring the use of headphones, 11 – control sensor, 12 – three-phase PPE usage monitoring sensor, 13 – optical channel, 14 – connection wires (compiled by the authors)



Рис. 2. Изготовленный прототип СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации (составлено авторами)

Fig. 2. Manufactured prototype of an ear and head protective equipment with monitoring and alarm functions (compiled by the authors)

закреплены устройства контроля применения наушников.

Первая группа датчиков контролирует наличие головы пользователя в каске. Вторая группа датчиков определяет положение наушников на каске в трех положениях.

В процессе эксплуатации устройство позволяет идентифицировать факт применения каски и наушников и фиксирует временные параметры применения. В необходимых случаях устройство может быть оборудовано дополнительными модулями с целью расширения его функций.

Изготовлен, разработан и апробирован в промышленных условиях действующий макет СИЗ защиты головы, позволяющий контролировать его применение в течение рабочей смены (патент на полезную модель №183600 от 26.09.2018).

Функции мониторинга и сигнализации — измерение в течение рабочей смены уровня звукового давления и информирование пользователя о превышении ПДУ. СИЗ органа слуха с функциями мониторинга и сигнализации обеспечивает:

- подачу светового сигнала пользователю о превышении ПДУ уровня шума;

- сопоставление значения уровня шума и положения противошумных наушников;

- накопление информации о фактах неприменения или неправильного применения наушников.

Функция мониторинга заключается в том, что устройство непрерывно в течение всего времени применения СИЗ органа слуха измеряет текущее значение уровня шума, располагаясь на защитной каске, включая период движения работника до рабочего места и обратно.

Функция сигнализации заключается в подаче светового сигнала работнику о превышении предельно допустимого уровня (ПДУ) шума, что извещает работника о необходимости применения СИЗ органа слуха.

На рис. 2 представлен прототип СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации.

3. Результаты

3.1. Апробация средства индивидуальной защиты органа слуха с функциями мониторинга и сигнализации

В ноябре 2020 года в производственных условиях шахты «Садкинская» (ООО «Шахтоуправление «Садкинское») прошла промышленная

апробация прототипа СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации. В течение рабочей смены представители рабочих профессий — проходчик и машинист горновыемочной машины (МГВМ) — применяли прототип СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации в течение 3 часов рабочей смены, включая время движения до рабочего места и обратно (рис. 3).

В процессе апробации выполнены измерения уровня шума двухканальным шумомером SV 102 с размещенными микрофонами на плече работника и под наушником для оценки акустической эффективности применяемых ими СИЗОС. От работников получены положительные отзывы об удобстве применения СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации, также ими отмечена важность информирования о шуме, превышающем ПДУ. Особенно работники отметили возможность неприменения СИЗОС в благоприятной шумовой обстановке.

3.2. Визуализация результатов оценки шумовой обстановки и информирование работников

Организация контроля позволяет повысить ответственность работника

в процессе выполнения рабочих операций, снизить риски неприменения СИЗ, обеспечивает контроль рабочих операций, а также позволяет с наибольшей вероятностью установить причины аварийной ситуации или несчастного случая с работником.

Для предупреждения опасного воздействия шума на работника разработана система, состоящая из устройства контроля шумовой нагрузки, совмещенного с головным фонарем.

Технический результат достигается тем, что индивидуальный головной фонарь оснащается датчиками измерения шума, световой или тактильной сигнализацией о наличии превышения.

Данное устройство представляет собой индикатор шума, встроенный в головной светильник, который обеспечивает информирование работника о превышении ПДУ шума, что означает необходимость применения СИЗ органов слуха.

Информирование работника осуществляется путем оснащения матрицы фонаря с белыми диодами дополнительно диодами красного цвета. Появление в световом потоке красного цвета сигнализирует о необходимости применения СИЗОС.



Рис. 3. Апробация прототипа СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации проходчиком и МГВМ (составлено авторами)

Fig. 3. Approbation of the prototype of an ear and head protective equipment with monitoring and alarm functions by sinker and mining machine operator (compiled by the authors)

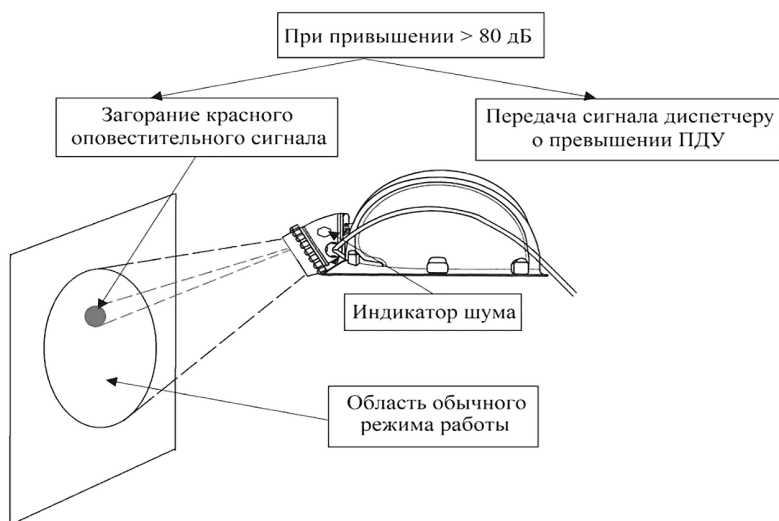


Рис. 4. Применение головного фонаря с системой мониторинга (составлено авторами)

Fig. 4. The use of a miner's head lamp with an industrial noise monitoring system (compiled by the authors)

В настоящий момент находится в подготовке заявка на изобретение — «Светильник шахтный головной с функцией мониторинга уровня шума». Схема его функционирования представлена на рис. 4.

Основные функции разрабатываемого устройства:

- измерение уровня шума на рабочих местах горнорабочих;
- возможность сбора информации о суточном воздействии на работника, запись фактических уровней шума в течение смены;
- постоянная передача информации на пульт управления горного диспетчера;
- подача светового сигнала через световой поток о превышении уровня шума;
- информирование горного диспетчера об уровне шума и возможном превышении ПДУ на рабочем месте;
- другие.

Устройство совместимо со средствами индивидуальной защиты головы

(может крепиться на каску) и органов слуха (обеспечивают анализ и контроль применения наушников).

Разрабатываемая система может быть оснащена дополнительными устройствами мониторинга ОВПФ на рабочих местах, а также системой геопозиционирования работника, с возможностью передачи информации на ПУ горного диспетчера.

4. Обсуждение результатов

4.1. Определение постоянного смещения порога слышимости при применении СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации

Основной количественной оценкой шумового воздействия на работников является постоянное смещение порога слышимости NIPTS — noise-induced permanent threshold shift (ГОСТ Р ИСО 1999 — 2017).

При продолжительности воздействия от 10 до 40 лет медианные потенциальные значения NIPTS (рассчитывались по формуле 1:

$$N_{50} = \left[u + v \lg \left(\frac{t}{t_0} \right) \right] (L_{EX,8h} - L_0)^2, \quad (1)$$

где $L_{EX,8h}$ — уровень звукового воздействия за номинальный 8-часовой рабочий день, выраженный в дБ; L_0 — уровень звукового давления, зависящий от частоты, ниже которого воздействие шума на остроту слуха считается несущественным или пренебрежимо

малым; t — продолжительность воздействия (выражена в годах); $t_0 = 1$ год; u, v — параметры, зависящие от частоты.

На основе полученных в ходе измерения данных был произведён расчёт NIPTS у работников с учетом применения экспериментального образца СИЗ органа слуха с функциями мониторинга и сигнализации по формуле (1). Результаты расчёта приведены на рис. 5 и 6.

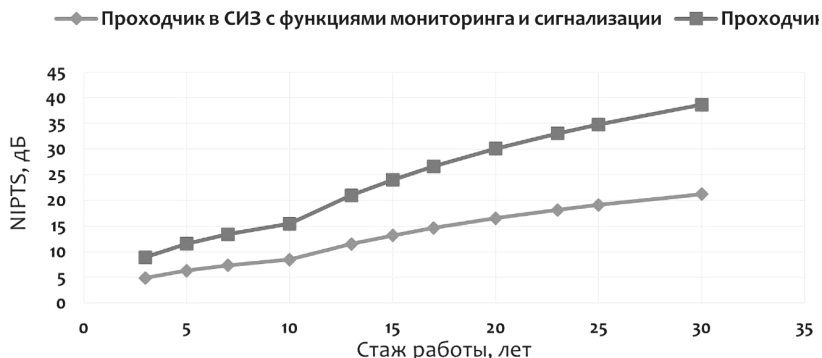


Рис. 5. Зависимость постоянного смещения порога слышимости от стажа работы проходчика при применении СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации (составлено авторами)

Fig. 5. Dependence between the constant offset of the audibility threshold and the work experience of the sinker when using an ear and head protective equipment with monitoring and alarm functions (compiled by the authors)

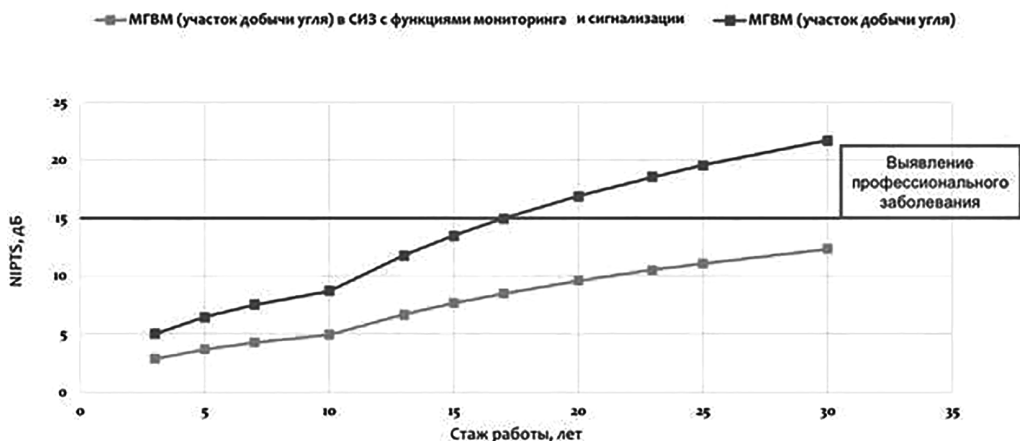


Рис. 6. Зависимость постоянного смещения порога слышимости от стажа работы МГВМ при применении СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации (составлено авторами)

Fig. 6. Dependence between the constant offset of the audibility threshold and the work experience of the sinker when using an ear and head protective equipment with monitoring and alarm functions (compiled by the authors)

При применении МГВМ экспериментального образца СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации прогнозируемый уровень постоянного смещения порога слышимости при 30-летнем стаже работы снижается с 22 до 13 дБ, что означает безопасное проведение работ по шумовому фактору в течение всего стажа работы.

При применении проходчиком экспериментального образца СИЗ органа слуха с функциями мониторинга и сигнализации прогнозируемый уровень постоянного смещения порога слышимости при 30-летнем стаже работы снижается с 39 дБ до 21 дБ, а это означает, что безопасное проведение работ по шумовому фактору для данной профессии возможно при применении СИЗ органа слуха с функциями мониторинга и сигнализации, в основе которого лежат наушники с большей акустической эффективностью, подобранные по результатам дозной оценки (35 дБ).

Для оценки эффективности применения СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации был произведен расчет среднего снижения интенсивности

NIPTS для проходчика и МГВМ, результаты которого приведены в таблице.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что оснащение подземного персонала угольных шахт СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации, подобранными на основе дозной оценки, приведет к снижению NIPTS не менее чем на 40% при работе в условиях неравномерной шумовой нагрузки на орган слуха в течение рабочей смены.

Стоит отметить, что СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации позволяют защищать работников от воздействия непостоянного уровня шума в условиях подземной добычи угля в то время, когда на орган слуха работника воздействует уровень шума, превышающий допустимые значения, благодаря возможности непостоянного применения. Предлагаемое решение обеспечит безопасность работников по шумовому фактору, не нарушая как коммуникацию между членами бригады, так и акустическое взаимодействие работников с оборудованием и предупреждающими звуковыми сигналами.

Результаты расчета среднего снижения постоянного смещения порога слышимости (составлено авторами)

Table

The results of calculating the average decrease in the constant offset of the audibility threshold (compiled by the authors)

N_{50} (3) с СИЗ	N_{50} (10) с СИЗ	N_{50} (20) с СИЗ	N_{50} (30) с СИЗ	N_{50} (3)	N_{50} (10)	N_{50} (20)	N_{50} (30)	Профессия
4,9	8,5	16,5	21,2	8,9	15,4	30,0	38,6	Среднее значение для проходчика
45								Снижение интенсивности NIPTS,%
2,8	4,9	9,6	12,3	5,0	8,7	16,9	21,7	Среднее значение для МГВМ
41								Снижение интенсивности NIPTS,%

Заключение

Для снижения уровня воздействия непостоянного шума на работников угольных шахт разработан экспериментальный образец СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации, который представляет собой СИЗ головы и органа слуха, совмещенное с устройством контроля применения наушников, измерения уровня шума и выдачи световой сигнализации. При выборе наушников, входящих в экспериментальный образец СИЗ, учитывались результаты расчёта дозной оценки. Акустическая эффективность выбранных для прототипа наушников составила 25 дБ.

Применение подземным персоналом угольной шахты СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации позволяет гарантированно защитить орган слуха человека при всех режимах работы оборудования противозащитными наушниками, подобранными на основе дозной оценки, и обеспечить коммуникацию между работниками. Обеспечивается возможность не применять противозащитные наушники, когда индикатор сигнализирует зеленым цветом, оповещая пользователя об уровне шума ниже ПДУ. Однако благодаря системе контроля применения защитной каски и противозащитных наушников информация о применении/не применении СИЗ с функциями мониторинга и сигнализации сохраняется в управляющем устройстве. Специалист по охране труда выборочно может проверить, как и в каких усло-

виях находился работник и применяли ли своевременно СИЗОС.

Автор выражает признательность за техническую поддержку измерений ООО «Алгоритм-Акустика».

Вклад авторов

Никулин А. Н. — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, написание текста статьи, разработка действующей модели средства защиты, апробация результатов в условиях шахты, оценка смещения порога слышимости.

Красноухова Д. Ю. — выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи, разработка системы предупреждения работников.

Степанова Л. В. — получение данных для анализа, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи, проведение анкетирования работников, разработка системы мониторинга и сигнализации.

Бурлов В. Г. — консультирование, разработка подхода и анализа оценка постоянного смещения порога слышимости от стажа работы проходчика при применении СИЗОС с функциями мониторинга и сигнализации.

Гомазов Ф. А. — обработка результатов измерения в компьютерной программе SvanTek Supervisor, подготовка графического материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потоцкий Е. П., Фирсова В. М., Сахарова Е. А.* Учет сочетанного действия комплекса вредных факторов и анализ влияния производственного фактора химической природы на уровень профессионального риска // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2018. — № 61 (1). — С. 35–39. DOI 10.17073/0368-0797-2018-1-35–39.

2. Овчинникова Т. И., Потоцкий Е. П., Фирсова В. М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 199–208. DOI 10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208.
3. Чемезов Е. Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 649–653. DOI:10.31897/PMI.2019.6.649.
4. Nikulin A. N., Dolzhikov I. S., Stepanova L. V., Golod V. A. Assessment of noise impact on coal mine workers including way to/from workplace // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021, vol. 2020, no. 2, pp. 151–155. DOI 10.33271/nvngu/2021-2/151.
5. Qi Z. Q., Wang H., Chang W., Wang Q. Analysis for the influence of industrial noise on brain cognition of workers // Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University. 2017, vol. 38 (11), pp. 1590–1594. DOI 10.12068/j. issn.10053026.2017.11.015.
6. Bochkovskiy A. P. Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018, vol. 6, pp. 95–103. DOI 10.29202/nvngu/2018-6/14.
7. Балакина Н. А., Балакин А. И. Автоматизация процесса измерения и оценки непостоянного производственного шума // Бюллетень науки и практики. — 2021. — Т. 7. — № 4. — С. 231–235. DOI 10.33619/2414-2948/65/25.
8. Алянин Р. Ф., Галлямов М. А., Абдрахманова Э. Н. Производственный шум. Проблемы и решения // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2019. — № 2. — С. 128–142. DOI 10.17122/ogbus-2019-2-128-142.
9. 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.
10. 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.
11. Semeykin A. Yu., Klimova E. V., Nosatova E. A., Khomchenko Y. V. Using of automated risk assessment systems to ensure the safety of personnel at construction sites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 945(1), 012022. DOI 10.1088/1757-899X/945/1/012022.
12. Dreval Yu. D., Zaika S. O., Sharovatova O. P., Bryhada O. V., Tsymbal B. M. Fundamental principles of activity of international labour organization in occupational safety and hygiene // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, vol. 6, pp. 89–95. DOI 10.33271/nvngu/20206/089.
13. Ratar E., Denny H., Rahfiludin M. Comparative analysis between integrated occupational safety and health management system in a support mining company and the Indonesian mining safety management system // Indian Journal of Public Health Research & Development. 2019, vol. 10 (3), pp. 904–912. DOI 10.5958/0976-5506.2019.00617.X.
14. Патент РФ №175083F21L, 16.09.2015. Грачев А. Ю., Светильник шахтный головной с информационно-измерительными функциями безопасности. 2017. Бюл. № 32.
15. Патент РФ №150532F21L, 30.09.2014. Грачев А. Ю., Многофункциональное головное устройство шахтера. 2015. Бюл. № 5.
16. Патент РФ №2561706F21L, 28.11.2013. Зыкин Ю. Ф., Ватютина И. Ю., Некрасов Н. А. Светильник горно-шахтный индивидуального пользования. 2015. Бюл. №16.

17. *Nikulin A., Nikulina A.* Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company // *Ecology, Environment and Conservation*. 2017, vol. 23(1), pp. 351–355.

18. *Klimova E. V., Semeykin A. Y., Nosatova E. A.* Prospects for the introduction of micro training in the occupational safety management system // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 753 (7), 072009. DOI 10.1088/1757–899X/753/7/072009.

19. *Gendler S. G., Rudakov M. I., Falova E. S.* Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the far north of the Russian Federation // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 3, pp. 81–85. DOI:10.33271/nvngu/2020–3/081.

20. *Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V.* Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining // *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, vol. 11, no. 3(43), pp. 579–588. DOI 10.14505/jemt.v11.3(43).10.

21. *Koshy K., Preustti M., Rosen M.* Applying an Error Reduction Model to an Injury and Illness Prevention Programs—Steps to Improve an Occupational Safety and Health Management System (OSHMS) // *Journal of Management Research*. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 1–11. DOI:10.5296/jmr.v11i4.10775.

22. *Bochkovskyi A.* Improvement of risk management principles in occupational health and safety // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 6, pp. 94–104. DOI 10.33271/nvngu/20204/094.

23. *Савельев А. П., Пьянзов С. В., Скворцов А. Н.* Снижение шумового воздействия на производственный персонал с применением индивидуальных средств защиты // *Безопасность труда в промышленности*. — 2016. — № 2. — С. 51–53.

24. *Руденко Г. В., Панченко И. А., Хохлов С. В., Костромин О. В.* Влияние личностных факторов на неадекватные действия должностных лиц шахт // *Записки горного института*. — 2014. — Т. 207. — С. 134–137.

25. *Klimova E., Semeykin A., Nosatova E.* Improvement of processes of professional risk assessment and management in occupational health and safety system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, vol. 451, 012198. DOI:10.1088/1757–899X/451/1/012198.

26. *Филимонов В. А., Горина Л. Н.* Особенности разработки системы управления охраной труда на основе процессного подхода // *Записки Горного института*. — 2019. — Т. 235. — С. 113–122. DOI 10.31897/PMI.2019.1.1136.

27. *Ngubo S., Kruger C., Hancke G., Silva B.* An occupational health and safety monitoring system // *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. 2016, pp. 966–971. DOI:10.1109/INDIN.2016.7819301.

28. *Siebert F. W., Lin H.* Detecting motorcycle helmet use with deep learning // *Accident analysis and prevention*. 2020, vol. 134, 105319. DOI: 10.1016/j.aap.2019.105319.

29. *Peterson J. S.* Experimental methods to reduce noise generated by haul trucks and LHDs // *Noise Control Eng J*. 2018, vol. 66 (5), pp. 446–458. DOI 10.3397/1/376638.

30. *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. **УДК**

REFERENCES

1. *Pototskii E. P., Firsova V. M., Sakharova E. A.* Account of joint effect of the complex of harmful factors and analysis of the influence of production factor of chemical nature on

the level of professional risk. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. 2018, vol. 61(1), pp. 35–39. in Russ]. DOI 10.17073/0368-0797-2018-1-35–39. [

2. Ovchinnikova T. I., Pototskiy E. P., Firsova V. M. Risk-based approach to hazard assessment in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2–1, pp.199–208. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21–0-199–208.

3. Chemezov E. N. Industrial safety principles in coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 649–653. [in Russ]. DOI 10.31897/PMI.2019.6.649.

4. Nikulin A. N., Dolzhikov I. S., Stepanova L. V., Golod V. A. Assessment of noise impact on coal mine workers including way to/from workplace. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021, vol. 2020, no. 2, pp. 151–155. DOI 10.33271/nvngu/2021–2/151.

5. Qi Z. Q., Wang H., Chang W., Wang Q. Analysis for the influence of industrial noise on brain cognition of workers. *Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University*. 2017, vol. 38 (11), pp. 1590–1594. DOI 10.12068/j. issn.10053026.2017.11.015.

6. Bochkovskiy A. P. Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018, vol. 6, pp. 95–103. DOI 10.29202/nvngu/2018–6/14.

7. Balakina N., Balakin A. Automation of the process of measuring and evaluating intermittent industrial noise. *Bulletin of Science and Practice*. 2021, vol. 7(4), pp. 231–235. [in Russ]. DOI10.33619/2414–2948/65/25.

8. Alyanin R. F., Gallyamov M. A., Abdrakhmanova E. N. Industrial noise. Problems and solutions. *Oil and Gas Business*. 2019, no. 2, pp. 128–142. [in Russ]. DOI 10.17122/ogbus-2019–2-128–142.

9. 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.

10. 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.

11. Semeykin A. Yu., Klimova E. V., Nosatova E. A., Khomchenko Y. V. Using of automated risk assessment systems to ensure the safety of personnel at construction sites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 945(1), 012022. DOI 10.1088/1757–899X/945/1/012022.

12. Dreval Yu. D., Zaika S. O., Sharovatova O. P., Bryhada O. V., Tsymbal B. M. Fundamental principles of activity of international labour organization in occupational safety and hygiene. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 6, pp. 89–95. DOI 10.33271/nvngu/20206/089.

13. Ratar E., Denny H., Rahfiludin M. Comparative analysis between integrated occupational safety and health management system in a support mining company and the Indonesian mining safety management system. *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 2019, vol. 10 (3), pp. 904–912. DOI 10.5958/0976–5506.2019.00617.X.

14. Patent RU №175083F21L, 16.09.2015. Grachev A. Yu., Miner's head lamp with information and measuring safety functions. 2017. Bul. no. 32. [in Russ].

15. Patent RU №150532F21L, 30.09.2014. Grachev A. Yu., Miner's multifunctional head unit. 2015. Bul. no. 5. [in Russ].

16. Patent RU №2561706F21L, 28.11.2013. Zykin Yu. F., Vatutina I. Yu., Nekrasov N. A., Individual mining lamp. 2015. Bul. no.16. [in Russ].

17. Nikulin A., Nikulina A. Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017, vol. 23(1), pp. 351–355.

18. Klimova E. V., Semeykin A. Y., Nosatova E. A. Prospects for the introduction of micro training in the occupational safety management system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 753 (7), 072009. DOI 10.1088/1757–899X/753/7/072009.
19. Gendler S. G., Rudakov M. L., Falova E. S. Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the far north of the Russian Federation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 3, pp. 81–85. DOI:10.33271/nvngu/2020–3/081.
20. Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, vol. 11, no. 3(43), pp. 579–588. DOI 10.14505/jemt.v11.3(43).10.
21. Koshy K., Preustti M., Rosen M. Applying an Error Reduction Model to an Injury and Illness Prevention Programs-Steps to Improve an Occupational Safety and Health Management System (OSHMS). *Journal of Management Research*. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 1–11. DOI:10.5296/jmr.v11i4.10775.
22. Bochkovskiy A. Improvement of risk management principles in occupational health and safety. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 6, pp. 94–104. DOI 10.33271/nvngu/20204/094.
23. Savelyev A. P., Pyanzov S. V., Skvortsov A. N. Reduction of noise impact on production personnel with the use of personal protective equipment. *Occupational safety in industry*. 2016, no. 2, pp. 51–53. [in Russ].
24. Rudenko G. V., Panchenko I. A., Khokhlov S. V., Kostromin O. V. Influence of personal factors on inadequate actions of mine officials. *Journal of Mining Institute*. 2014, vol. 207, pp. 134–137. [in Russ].
25. Klimova E., Semeykin A., Nosatova E. Improvement of processes of professional risk assessment and management in occupational health and safety system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, vol. 451, 012198. DOI:10.1088/1757–899X/451/1/012198.
26. Filimonov V. A., Gorina L. N. Development of an occupational safety management system based on the process approach. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 235, pp. 113–122. [in Russ]. DOI 10.31897/PMI.2019.1.1136.
27. Ngubo S., Kruger C., Hancke G., Silva B. An occupational health and safety monitoring system. *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2016, pp. 966–971. DOI:10.1109/INDIN.2016.7819301.
28. Siebert F. W., Lin H. Detecting motorcycle helmet use with deep learning. *Accident analysis and prevention*. 2020, vol. 134, 105319. DOI: 10.1016/j.aap.2019.105319.
29. Peterson J. S. Experimental methods to reduce noise generated by haul trucks and LHDs. *Noise Control Eng J*. 2018, vol. 66 (5), pp. 446–458. DOI 10.3397/1/576638.
30. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никулин Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-6878-0512>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, Россия, e-mail: nikulin-rus@yandex.ru;
Красноухова Дарья Юрьевна – магистрант, <https://orcid.org/0000-0001-7573-3864>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, Россия, E-mail: darya.krasnouhova@yandex.ru;

Степанова Людмила Викторовна – канд. техн. наук, старший преподаватель, <https://orcid.org/0000-0002-8557-936X>, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Россия, e-mail: stepanova_lv2@spbstu.ru;

Бурлов Вячеслав Георгиевич – докт. техн. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0001-7603-9786>, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Россия, e-mail: burlovvg@mail.ru;

Гомазов Федор Андреевич – ассистент, <https://orcid.org/0000-0001-8607-1843> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Россия, e-mail: gomazov_fa@spbstu.ru.

Для контактов: *Никулин Андрей Николаевич*, e-mail: nikulin_an@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikulin A. N., Associate Professor at the Department of Industrial Safety, Cand. Sci. (Eng.), <https://orcid.org/0000-0002-6878-0512>, Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint Petersburg, 21st Line, 2, Russia, e-mail: nikulin-rus@yandex.ru;

Krasnoukhova D. Y., Graduate at the Department of Industrial Safety, <https://orcid.org/0000-0001-7573-3864>, Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint Petersburg, 21st Line, 2, Russia, e-mail: darya.krasnouhova@yandex.ru;

Stepanova L. V., Senior Lecturer at the Department of Graduate School of Technosphere Safety, <https://orcid.org/0000-0002-8557-936X>, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29, Russia, e-mail: stepanova_lv2@spbstu.ru;

Burlov V. G., Professor at the Department of Graduate School of Technosphere Safety, <https://orcid.org/0000-0001-7603-9786>, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29, Russia, e-mail: burlovvg@mail.ru;

Gomazov F. A., Assistant at the Department of Graduate School of Technosphere Safety, <https://orcid.org/0000-0001-8607-1843>, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29, Russia, e-mail: gomazov_fa@spbstu.ru.

Contact person: *Nikulin A. N.*, e-mail: nikulin_an@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 30.05.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 14.01.2022; received after the review 30.05.2022; accepted for printing 10.05.2022.

