

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПЕРСОНАЛ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

М.Л. Рудаков¹, Н.Е. Дука¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: duka.nikita996@mail.ru

Аннотация: Выполнен аналитический обзор основных научных работ, посвященных оценке воздействия производственного шума на работников, ведущих подземные горные работы, и выявления последствий данного воздействия. Отмечены основные научные исследования, посвященные мероприятиям, направленным на борьбу с повышенным уровнем шума. На основании проведенного обзора сделан вывод о том, что проблема оценки шумовой нагрузки и вопросы борьбы с повышенными уровнями шума при подземной добыче угля остаются актуальными на сегодняшний день. В связи с этим, цель работы состояла в моделировании акустического воздействия горного оборудования, являющегося источником сверхнормативного акустического воздействия на горнорабочих в угольных шахтах. Согласно установленным методикам с применением лицензионного программного обеспечения был проведен расчет звукового давления в модели горной выработки. Представлены результаты математического расчета и оценки шума в зоне влияния горного оборудования в подземной горной выработке. Определены зависимости изменения уровней звукового давления, создаваемого оборудованием на расстоянии до 40 м от источника. Выявлено, что превышения установленных нормативов звукового давления сохраняются на расстоянии до 20 м от источников шума, что может являться причиной развития профессионального заболевания — нейросенсорной тугоухости. Делается вывод о необходимости продолжения работ по разработке системы мониторинга и оповещения горнорабочих о повышенной шумовой нагрузке при ведении подземной добычи угля.

Ключевые слова: угольная промышленность, производственный шум, нейросенсорная тугоухость, нормирование шума, источники шума, моделирование распространения шума, средства индивидуальной защиты.

Для цитирования: 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.

Modeling acoustic effect exerted on personnel by operating equipment in underground coal mining

M.L. Rudakov¹, N.E. Duka¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: duka.nikita996@mail.ru

Abstract: The review of the major researches into evaluation of industrial noise impact on underground miners reveals the consequences of such impact. The studies into combating increased noise are specified. Based on the review, it is concluded on the relevance and significance of the problem connected with the noise load evaluation and noise control in underground coal mining. In connection with this, the present study was aimed at modeling acoustic effects exerted by operating equipment as an abnormal acoustic source on underground coal miners. Using the standard procedure and license program, the noise pressure was calculated in a model roadway. The mathematical calculations and estimates of noise in the influence zone of operating mining equipment in a roadway are presented. The change in the noise pressure generated by operating equipment is determined at a distance to 40 m from the noise source. It is found that the noise pressure standards are exceeded at a distance to 20 m from the noise source, which may be the cause of an occupational disease—perceptive deafness. It is required to continue development of a monitoring and warning system to inform miners on the higher noise load in the course of underground coal mining.

Key words: coal industry, industrial noise, perceptive deafness, noise standardization, noise source, noise propagation modeling, personal protective equipment.

For citation: 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;(10):165-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

Введение

В настоящее время горнодобывающая промышленность вносит значительный вклад в экономику Российской Федерации и формирует в среднем 20% валового внутреннего продукта (ВВП) [1, 2]. Одной из основополагающих отраслей горного сектора является угольная промышленность. Объем добычи данного полезного ископаемого за 2020 г. составил 394 млн т [36], при этом более 30% угольных месторождений отрабатываются подземным способом. Для данного способа добычи характерно воздействие на подземный персонал шахт ряда вредных производственных факторов, основными из которых является повышенный уровень шума и вибрации на рабочих местах [3, 4]. Величина шума и вибрации часто интерпретируется как показатель технического состояния машин и аппаратов. Основными факторами возникновения высоких уровней шума на рабочих местах являются: на-

рушение технологии производственных операций, дефекты механизмов, приборов и инструментов, несвоевременное обслуживание оборудования, внедрение машин большей единичной мощности [5, 6].

В научных исследованиях [7, 8] демонстрируется связь между воздействием производственного шума и потерей слуха. Продолжительное влияние высоких уровней шума в течение определенного периода времени постепенно вызывает необратимое повреждение внутреннего уха, более известное как нейросенсорная тугоухость (НСТ). Данному заболеванию подвержен целый ряд профессий угольной отрасли: проходчики, машинисты горно-выемочного оборудования, горные операторы, горнорабочие очистного забоя. Стоит учитывать, что развитие патологии наиболее характерно для воздействия звука в высоком частотном диапазоне (от 3000 до 6000 Гц). Продолжительное влияние сверхнормативного

уровня звука приводит к прогрессирующему заболеванию [9, 10]. Согласно статистическим данным Минтруда России, за 2019 г. нейросенсорная тугоухость впервые была установлена у более чем 19% всех работников, занятых в угольной промышленности [37]. По сравнению с аналогичным отчетным периодом за 2017 г. данный показатель вырос на 1,6%, что свидетельствует о наличии тенденции увеличения числа работников, подверженных данному вредному производственному фактору.

Согласно докладу Национального института охраны труда США (NIOSH) НСТ входит в десятку ведущих профессиональных заболеваний и иных случаев повреждения здоровья. Общая распространенность потери слуха среди работающего населения оценивается в 11,4%, в то время как железнодорожная и горнодобывающая отрасли занимают лидирующие позиции (34,8% и 24,3% соответственно от общего показателя). По оценкам NIOSH, на каждые 100 000 сотрудников угольной промышленности, занятых полный рабочий день, в среднем 100–200 работников ежегодно теряют слух. Заболевания, связанные с полной или частичной потерей слуха, составляют около одной пятой всех зарегистрированных случаев в горнодобывающем секторе [11, 12].

В соответствии с представленным сценарием предполагается, что при неизменном состоянии условий труда у 90% горняков к 50 годам будет выявлена потеря слуха. По прогнозируемым данным Национального института охраны труда [13, 14], профессиональной нейросенсорной тугоухости можно избежать в случае применения на шахтах адекватных превентивных мер по уменьшению повышенного уровня шума на рабочих местах и использованию средств защиты органа слуха на участках, где не представляется возможным контролировать

или устранить опасное шумовое воздействие.

За последнее десятилетие появились исследования, указывающие на связь между нейросенсорной тугоухостью и постоянным шумом в ушах. Например, А.Л. Эдвардс [15] обнаружила, что шум в ушах был одним из сопутствующих слуховых эффектов, полученных шахтерами. Данное последствие шумового воздействия было зафиксировано при анкетировании персонала угольных шахт: у 57,8% сотрудников в возрасте до 60 лет наблюдался звон в ушах; у горнорабочих со стажем работы 21–30 лет обнаружена самая высокая частота проявления шума в ушах (20,8%). Проведенное исследование подчеркивает важность повышенного внимания к программам сохранения слуха работников угольных шахт.

В исследованиях, направленных на изучение реакций человеческого организма в условиях шумовой нагрузки, отмечено, что воздействие шума может сопровождаться рядом иных последствий для здоровья, включая сердечно-сосудистые заболевания [16, 17]. Наблюдаемые эффекты особенно распространены среди шахтеров, поскольку горнодобывающая промышленность традиционно считается одной из самых шумных отраслей во всем мире [18, 19].

Вопросы воздействия производственного шума на человека, определения и нормирования звуковых характеристик рассмотрены в работах как российских, так и зарубежных исследователей. Ю.В. Флавицкий и Л.А. Гешлин посвятили свои труды выявлению основных опасностей в угольных шахтах, связанных с повышенным уровнем шума, а также контролю шумовых и вибрационных характеристик на рабочих местах. Авторы предложили техническое нормирование шума и вибрации от горных машин в угольной промышленности.

В работе [20] описаны методы уменьшения виброакустического влияния технологического оборудования для подземной добычи угля и методики расчета экономической эффективности предложенных мероприятий.

Научная работа Н. Ковачева посвящена изучению динамики развития профессиональных заболеваний, связанных с шумом. Автором установлены закономерности в распределении взвешенных уровней звукового давления по шкале А и предложено их использование в прогнозировании рисков [21].

Актуальность данной проблемы ставит перед руководителями горнодобывающих предприятий задачу выбора наиболее эффективных мероприятий по защите работников от повышенного уровня шума. Так, снижение акустического воздействия на работника возможно при применении правильно подобранных средств индивидуальной защиты органа слуха. По данным [22, 23], большинство работников угольной шахты (97%) признали, что работают в условиях повышенного шума и знают о последствиях этого воздействия на их функцию слуха. Хотя большинство горнорабочих указали, что осведомлены о важности использования устройств защиты органа слуха, менее 50% из них сообщили о постоянном использовании средств индивидуальной защиты (СИЗ) органа слуха. Данный факт подчеркивает определенные недостатки в обучении персонала, а также в мониторинге реализации защитных мероприятий.

Проведенное на угольном производстве анонимное анкетирование более 350 работников показало, что 51% горнорабочих пренебрегают использованием СИЗ головы и органа слуха, оправдывая данный факт затруднением выполнения в них трудовых функций. Несмотря на подобное явление, от сотрудников поступают жалобы на повышенный уро-

вень шумовой нагрузки. По результатам производственного контроля, однако, превышений по уровням ПДУ зафиксировано не было. Максимальное значение шума составило 82 дБА. Полученная информация не соответствует действительности, так как уровень шума в горных выработках при осуществлении проходческих работ может достигать более чем 105 дБА [24, 25].

Подбором и оценкой эффективности противошумов занимались многие исследователи. В.И. Харитонов и Ю.В. Шувалов в своих работах подчеркивают важность правильного применения средств защиты работниками, а также выделяют наиболее эффективные СИЗ для различных условий труда [26, 27].

В работах С.П. Алексеева изложены практические рекомендации по снижению шума и уменьшению вибраций на горных предприятиях. Труды содержат теоретические основы данной проблемы, описание воздействия вредных факторов на человека и нормативы предельных уровней. В работе также изложены методы исследования причин возникновения шума и вибрации и борьбы с ними, описаны рекомендуемые средства индивидуальной защиты и способы их использования [28].

Очевидно, что в современных условиях обеспечение безопасных условий труда невозможно без разработки и внедрения качественной и достоверной системы мониторинга с контролем опасных и вредных факторов рабочей зоны. Так, на основе зарегистрированных данных о распространенности потери слуха среди рабочих горнодобывающей отрасли авторы Ш.М. Лоусон, Э. Матресон и А.С. Азман сделали вывод о необходимости внедрения систем автоматизированного мониторинга в условиях подземной разработки полезных ископаемых [29]. В научных трудах С.И. Фадына описано использование автомати-

зированной мониторинга физических опасных и вредных производственных факторов.

Предложенная автором система мониторинга способна проводить измерение параметров и передавать полученные данные от источника в центр сбора и обработки информации. Однако данное техническое решение имеет ряд существенных недостатков, что связано со стационарностью используемого оборудования [30].

На сегодняшний день проблема обеспечения безопасных условий труда по шумовому фактору на горных предприятиях стоит наиболее остро. Представленные исследования подтверждают необходимость повышения качества контроля уровня шума на рабочих местах, контроля за применением средств индивидуальной защиты органа слуха, повышения качества знаний работников в сфере безопасности и охраны труда при подземной добыче угля [31, 32].

Целью настоящего исследования является моделирование акустического воздействия горного оборудования, являющегося источником сверхнормативного акустического воздействия, на горнорабочих в угольных шахтах.

Методы исследования

Производственный шум определяется как любой тип шума, производимый на рабочем месте, интенсивность которого составляет 80 дБА и более в течение 8-часовой рабочей смены при 40-часовой рабочей неделе. Повышенными шумовыми характеристиками в угольных шахтах можно охарактеризовать рабочие места машинистов горных выемочных машин и рабочие места, на которых осуществляются трудовые действия с применением ручного горного инструмента (например, перфораторов и отбойников). Уровень шума в данных условиях значительно превышает установленный предельно допустимый уровень (ПДУ). На основании проведенного аналитического обзора научных трудов были оценены эквивалентные уровни звука ($L_{экв}$) на рабочих местах, создаваемые основными видами технологического оборудования, используемого при подземных горных работах: проходческого комбайна 1ГПКС-06, очистного комплекса КМ-130, ручного горного перфоратора HУСОН HRD 100 [33, 34]. Значения шумовых характеристик, которые значительно превышают ПДУ (80 дБА), представлены на рис. 1.

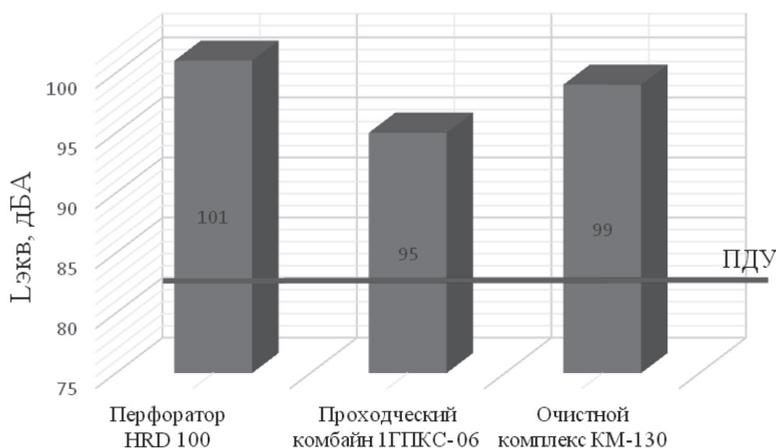


Рис. 1. Уровни шума основного горного оборудования

Fig. 1. Noise levels of main mining equipment

Таблица 1

Предельно допустимые уровни звукового давления на рабочем месте
Maximum allowable noise pressure at work place

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука L_{Amax} , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69		80	85

Для моделирования уровня шума в подземной горной выработке был проведен расчет с применением лицензионного программного комплекса «Эколог. Шум». Оценка уровня акустического влияния рассматриваемых источников повышенного звукового давления, расположенных в подземной горной выработке, выполнена в соответствии с СП 51.13330.2011 «Защита от шума» и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки». Представленные нормативные документы определяют необходимые требования, которые должны выполняться с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в производственных помещениях. ПДУ звукового дав-

ления на рабочих местах представлены в табл. 1.

Выбранное технологическое оборудование является источником непостоянного шума. Для горно-выемочного и проходческого оборудования был выбран рабочий диапазон в 3 ч с учетом 6-часовой рабочей смены. Для полноты исходных данных уровни шума от каждого источника были пересчитаны на уровни звуковой мощности по октавам согласно пособию «Звукоизоляция и звукопоглощение» (под ред. Г.Л. Осипова) [35, с. 295 – 297]. Полученные данные представлены в табл. 2.

Следует отметить, что оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням проводится одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение

Таблица 2

Уровни шума горного технологического оборудования
Noise levels of mining production equipment

Величина	Уровни звуковой мощности (дБ) по октавам							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1ГПКС-06	77,3	79,5	83,0	90,3	90,9	88,0	83,6	78,9
КМ-130	80,3	82,5	85,2	89,5	92,5	93,8	92	87,6
HRD 100	84,3	87,7	90,0	91,3	94,9	95,6	94,0	89,9

одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным нормам.

Геометрические параметры горной выработки были выбраны в соответствии с СП 69.13330.2016 «Подземные горные выработки» и составили: ширина – 4530 мм, высота – 2810 мм.

Расчет акустического воздействия произведен в 4 расчетных точках на высоте постоянного пребывания людей (1,5 м) и на различном удалении от источника шума (2, 10, 20 и 40 м). Замеры исходных уровней шума были произведены непосредственно возле работающего оборудования.

Расчет уровня звукового давления по октавным полосам выполнен по формуле (1):

$$L = L_w - 15 \lg r + 10 \lg \Phi - \frac{\beta_\alpha r}{1000} - 10 \lg \Omega, \quad (1)$$

где L_w – шумовая характеристика источника, дБ; r – расстояние источника шума до расчетной точки, м; Φ – фак-

тор направленности источника шума, безразмерный; для источника шума с равномерным излучением звука $\Phi = 1$; Ω – пространственный угол излучения звука, принимаемый для источников шума, расположенных на поверхности – $\Omega = \pi$ (согласно СП 51.13330.2011 «Защита от шума»); β_α – поправка, учитывающая затухание звука в атмосфере, дБ (согласно СП 51.13330.2011 Защита от шума).

Расчет суммарного уровня звукового давления по октавным полосам от каждого отдельного горного оборудования выполнен по формуле (2):

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}, \quad (2)$$

где $L_{\text{сум}}$ – суммарный эквивалентный уровень звука, дБА, в расчетной точке от единичных излучателей, дБ.

Результаты

Полученные результаты акустического расчета для проходческого комбайна 1ГПКС-06, очистного комплекса

Таблица 3

Результаты расчета уровня звукового давления от 1ГПКС-06 в расчетных точках (РТ) Calculated noise pressures generated by 1GPKS-06 at reference points RP

Номер РТ	Тип	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	$L_{\text{экв.}}$	$L_{\text{макс}}$
РТ-1 (2 м)	УЗД	63,2	64,3	67,3	70,6	77,2	85,2	87,1	85,4	82,2	89,2	92,1
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-43,8	-30,7	-19,7	-11,4	-0,8	10,2	14,1	14,4	13,2	9,2	7,1
РТ-2 (10 м)	УЗД	51,6	53,3	54,7	57,7	61	67,6	76,6	72,6	69,8	79,6	80,5
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-55,4	-41,7	-32,3	-24,3	-17	-7,4	3,6	1,6	0,8	-0,4	-4,5
РТ-3 (20 м)	УЗД	46	47,4	48,8	51,8	55,1	61,7	70,7	66,7	57,9	73,7	74,9
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-61	-47,6	-38,2	-30,2	-22,9	-13,3	-2,3	-4,3	-11,1	-6,3	-10,1
РТ-4 (40 м)	УЗД	40	40,8	42,2	45,2	48,5	55,1	64,1	60,1	51,3	67,1	69,7
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-67	-54,2	-44,8	-36,8	-29,5	-19,9	-8,9	-10,9	-17,7	-12,9	-15,3

Примечание. Δ – превышение уровня звукового давления ПДУ.

Таблица 4

Результаты расчета уровня звукового давления от КМ-130 в расчетных точках (РТ)
Calculated noise pressures generated by KM-130 at reference points RP

Номер РТ	Тип	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	$L_{\text{экв.}}$	$L_{\text{макс}}$
РТ-1 (2 м)	УЗД	73,9	76,7	78,9	81,6	85,9	88,9	90,2	88,4	84	95,4	96,7
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-33,1	-18,3	-8,1	-0,4	7,9	13,9	17,2	17,4	15	15,4	11,7
РТ-2 (10 м)	УЗД	62,9	64,5	66,7	69,4	73,7	76,7	78	76,2	71,8	83,2	85,1
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-44,1	-30,5	-20,3	-12,6	-4,3	1,7	5	5,2	2,8	3,2	0,1
РТ-3 (20 м)	УЗД	60,5	61,4	63,6	66,3	70,6	73,6	74,9	73,1	68,7	80,1	81,9
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-46,5	-33,6	-23,4	-15,7	-7,4	-1,4	1,9	2,1	-0,3	0,1	-3,1
РТ-4 (40 м)	УЗД	50,9	52,9	55,1	57,8	62,1	65,1	66,4	64,6	60,2	71,6	73,1
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-56,1	-42,1	-31,9	-24,2	-15,9	-9,9	-6,6	-6,4	-8,8	-8,4	-11,9

Примечание. Δ – превышение уровня звукового давления ПДУ.

Таблица 5

Результаты расчета уровня звукового давления от перфоратора HRD 100 в расчетных точках (РТ)
Calculated noise pressures generated by rock drill HRD 100 at reference points RP

Номер РТ	Тип	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	$L_{\text{экв.}}$	$L_{\text{макс}}$
РТ-1 (2 м)	УЗД	79,6	85	89,2	91,9	96,2	99,2	100,5	98,7	94,3	99,7	101
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-27,4	-10	2,2	9,9	18,2	24,2	27,5	27,7	25,3	19,7	16
РТ-2 (10 м)	УЗД	65,1	66,3	68,5	72,2	76,5	79,5	81,8	80,1	78	85,0	86,9
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-41,9	-28,7	-18,5	-9,8	-1,5	4,5	8,8	9,1	9	5	1,9
РТ-3 (20 м)	УЗД	59,3	61,4	63,6	66,3	71,6	74,6	75,9	74,1	69,7	79,1	81,4
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-47,7	-33,6	-23,4	-15,7	-6,4	-0,4	2,9	3,1	0,7	-0,9	-3,6
РТ-4 (40 м)	УЗД	51,9	53,6	55,8	58,5	62,8	65,8	67,1	65,3	60,9	72,3	73,1
	ПДУ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85
	Δ	-55,1	-41,4	-31,2	-23,5	-15,2	-9,2	-5,9	-5,7	-8,1	-7,7	-11,9

Примечание. Δ – превышение уровня звукового давления ПДУ.

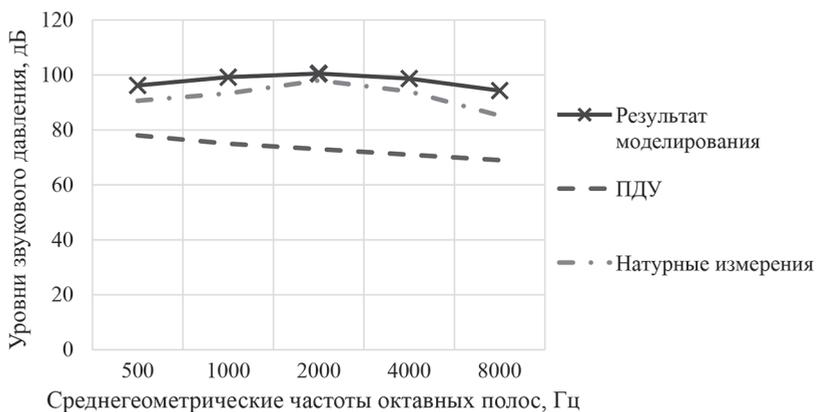


Рис. 2. Расчетные и измеренные уровни звукового давления, создаваемые перфоратором HRD 100 в рабочей зоне (2 м)

Fig. 2. Calculated and measured sound pressure levels generated by the HRD 100 in the working area (2 m)

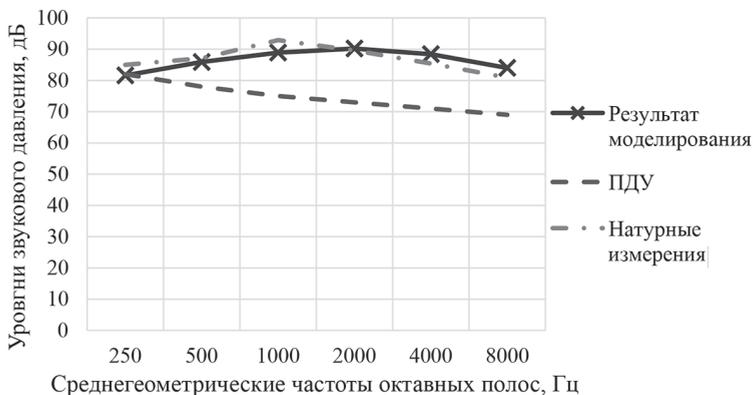


Рис. 3. Расчетные и измеренные уровни звукового давления, создаваемые очистным комплексом KM-130 в рабочей зоне (2 м)

Fig. 3. Estimated and measured levels of noise pressure generated by shearing system KM-130 in work zone

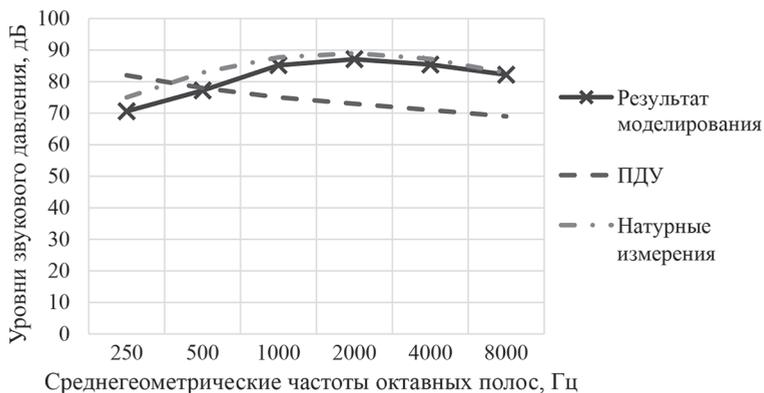


Рис. 4. Расчетные и измеренные уровни звукового давления, создаваемые проходческим комбайном 1ГПКС-06 в рабочей зоне (2 м)

Fig. 4. Estimated and measured levels of noise pressure generated by heading machine 1GPKS-06 in work zone

КМ-130 и ручного перфоратора HYGON HRD 100 представлены в табл. 3, 4 и 5 соответственно.

Результаты моделирования акустического воздействия горного оборудования указывают на превышения нормативных значений $L_{\text{экв.}}$ (89,2 дБА) и $L_{\text{макс}}$ (92,1 дБА) от проходческого комбайна 1ГПКС-06 на ближайших дистанциях (до 10 м). Зафиксированы превышения ПДУ шума по $L_{\text{экв.}}$ (95,4 дБА) и $L_{\text{макс}}$ (96,7 дБА) от очистного комплекса КМ-130 на расстоянии 2 м. Полученные результаты свидетельствуют, что $L_{\text{макс}}$ превышает установленные ПДУ даже на расстоянии 20 м и составляет 85,1 дБА. Максимальные значения превышений ПДУ по $L_{\text{экв.}}$ (99,7 дБА) и $L_{\text{макс}}$ (101,0 дБА) от гидравлического перфоратора HYGON HRD 100 зафиксированы на расстоянии 2 м, а на расстоянии 10 м наблюдались превышения установленных нормативных значений эквивалентного и максимального уровней звука на 5 и 6,9 дБА соответственно.

Для верификации результатов расчетов были проведены натурные измерения уровней звукового давления, создаваемых проходческим комбайном 1ГПКС-06, очистным комплексом КМ-130 и гидравлическим перфоратором HYGON HRD 100. Измерения проводились персональными шумомерами SV 104 в соответствии с ГОСТ ИСО 9612-2016. Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, в которых фиксируются превышения ПДУ, приведены на рис. 2, 3 и 4.

В результате выполнения расчета были выявлены превышения ПДУ по октавным полосам частот в диапазоне от 500 до 8000 Гц. Исходя из полученных данных, наиболее безопасным для горнорабочего является расстояние от 20 до 40 м от работающей техники, которое будет также изменяться в зависимо-

сти от выполняемой технологической операции. К сожалению, соблюдение данных дистанций между работником и оборудованием в условиях шахты невозможно, что подтверждает необходимость использования СИЗ органа слуха.

Выводы

- Превышения установленных ПДУ сохраняются на расстоянии до 20 м непосредственно от работающего оборудования, что указывает на невозможность полного устранения влияния шума горнорабочих методом «защиты расстоянием». При выполнении рабочих операций ручным горным перфоратором на расстоянии 2 м зафиксировано превышение ПДУ шума по максимальному уровню на 21 дБА, при эксплуатации очистного и проходческого комбайнов на таком же расстоянии на 16,7 дБА и 12,1 дБА. Превышения по эквивалентному уровню звука от проходческого комбайна 1ГПКС-06, очистного комплекса КМ-130 и ручного перфоратора HYGON HRD 100 на расстоянии 2 м составили 9,2 дБА, 15,4 дБА и 19,7 дБА соответственно.

- При моделировании акустического воздействия было выявлено, что наибольшие превышения ПДУ звукового давления в октавных полосах наблюдались для частот от 500 до 8000 Гц. Сверхнормативные значения в данном диапазоне октавных частот может привести к развитию нейросенсорной тугоухости у горнорабочих. Таким образом, при проектировании СИЗ органа слуха необходимо обращать особое внимание на защиту от шума высоких частот.

- В октавных полосах со среднегеометрическими частотами, в которых фиксируются превышения ПДУ, результаты моделирования акустического воздействия показывают удовлетворительную сходимость с результатами натурных измерений, что позволяет использовать

разработанную модель для оценки шумовой обстановки и выбора защитных мероприятий.

- Создание безопасных условий труда невозможно без внедрения автоматизированной системы мониторинга с контролем вредных физических факторов рабочей зоны. По мнению авторов,

для снижения негативного воздействия производственного шума на организм горнорабочего необходимо продолжить работу по разработке системы постоянного мониторинга и оповещения горнорабочих о повышенных уровнях шума с целью немедленного применения соответствующих СИЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nikulina A. Yu., Kruk M. N.* Economic estimation of project risks when exploring sea gas and oil deposits in the Russian Arctic // *International Journal of Economics and Financial Issue*. 2016, vol. 6, no. 2, pp. 138–150.

2. *Зубов В. П.* Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // *Записки Горного института*. — 2017. — Т. 225. — С. 292–297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.

3. *Черкай З. Н., Ковшов С. В.* Экспертная оценка состояния производственной безопасности в территориальных единицах минерально-сырьевого комплекса России // *Записки Горного института*. — 2016. — Т. 219. — С. 477–481. DOI 10.18454/PMI.2016.3.477.

4. *Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G.* Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions // *Eurasian Mining*. 2016, no. 2, pp. 11–15. DOI: 10.17580/em.2016.02.03.

5. *Васильев А. В.* Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека // *Известия Самарского научного центра РАН*. — 2012. — № 6–1. Доступно: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-otsenki-sochetannogo-vliyaniya-shuma-i-drugih-fizicheskikh-faktorov-na-zdorovie-cheloveka> (дата обращения: 29.04.2021).

6. *Пунсалмаагийн О.* Угольная промышленность Монголии: состояние и перспективы развития // *Записки Горного института*. — 2017. — Т. 226. — С. 420–427. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.420.

7. *Joy G. J., Middendorf P. J.* Noise exposure and hearing conservation in U.S. coal mines – A surveillance report // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007, vol. 4, no. 1, pp. 26–35. DOI: 10.1080/15459620601067209.

8. *Von der Goltz J., Barnwal P.* Mines: the local wealth and health effects of mineral mining in developing countries // *Journal of Development Economics*. 2019, vol. 139, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2018.05.005.

9. *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.

10. *Kanji A., Khoza-Shangase K., Ntlhakana L.* Noise-induced hearing loss: What South African mineworkers know // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2019, vol. 25, pp. 305–310. DOI: 10.1080/10803548.2017.1412122.

11. *Sang Woo Tak, Calvert G. M.* Hearing difficulty attributable to employment by industry and occupation: An analysis of the national health interview survey – United States // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2008, vol. 50, no. 1, pp. 46–56. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181579316.

12. *Moroe N. F., Audrey S., Barker M., Bond L.* Process evaluation of complex interventions: Medical research council guidance // *British Medical Journal*. 2015, vol. 350. DOI: 10.1136/bmj.h1258.

13. *Christa T., Masterson E. A.* Occupational noise exposure. A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden // *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2019, vol. 146, no. 5, pp. 3879–3905. DOI: 10.1121/1.5134465.

14. *Peterson J. S.* Experimental methods to reduce noise generated by haul trucks and LHDs // *Noise Control Engineering Journal*. 2018, vol. 66, no. 5, pp. 446–458.

15. *Edwards A. L., Milanzi L. A., Khoza N. N., Letsoalo M. S., Zungu L. I.* Evaluation of the current practices of noise-induced hearing loss (NIHL) awareness training in the South African mining industry // *Occupational Health Southern Africa*. 2015, vol. 21, no. 1, pp. 1–6.

16. *Taket A., Crips B. R., Nevil A.* Theorising social exclusion. London, 2009, 248 p. DOI: 10.4324/9780203874646.

17. *Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Charlotte C., Janssen S., Stansfeld S.* Auditory and non-auditory effects of noise on health // *Lancet*. Author manuscript. 2014, vol. 383, pp. 1325–1332. Доступно: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X) (дата обращения 22.04.2021).

18. *Никулин А. Н., Должиков И. С.* Воздействие повышенного уровня шума на горнорабочих угольных шахтах / Безопасность в строительстве: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2019 года. — СПб.: СПбГАСУ, 2019. — С. 91–99.

19. *Парханьски Ю.* Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // *Записки Горного института*. — 2016. — Т. 222. — С. 869–876. DOI: 10.18454/PMI.2016.6.869.

20. *Флавицкий Ю. В., Гешлин Л. А., Резинков И. Г.* Защита от шума и вибрации на предприятиях угольной промышленности: справочное пособие. — М.: Недра, 1990. — 1340 с.

21. *Ковачев Н.* Мониторинг риска шума на производстве. Ч. II. Контроль и прогнозирование рисков от шумовых выбросов и эмиссии // *Научные статьи Российского университета*. — 2013. — № 52. — С. 236–240.

22. *Moroe N. F.* Occupational noise-induced hearing loss in South African large-scale mines: exploring hearing conservation programmes as complex interventions embedded in a realist approach // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2020, vol. 26, pp. 753–761. DOI: 10.1080/10803548.2018.1498183.

23. *Nyarubeli I. P., Tunga A. M., Bratveit M., Moen B. E.* Occupational noise exposure and hearing loss. A study of knowledge, attitude and practice among Tanzanian iron and steel workers // *Archives of Environmental & Occupational Health*. 2020, vol. 75, no. 4, pp. 216–225. DOI: 10.1080/19338244.2019.1607816.

24. *Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., Dolzhikov I. S.* Increasing labour safety on coal mines // *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2019, vol. 12, no. 7, pp. 842–848. DOI: 10.30534/ijeter/2019/19712201.

25. *Kovshov S., Istomin R., Sotiriu A.* Industrial injuries appraisal in mines of JSC «SUEK Kuzbass» // *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1001, pp. 414–420. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.414.

26. *Шувалов Ю. В., Бурлаков С. Д., Туча Н. А.* Оценка воздействия и защита горнорабочих от негативного влияния окружающей среды // *Записки Горного института*. — 2005. — Т. 164. — С. 128–133.

27. *Харитонов В. И.* Экспериментальное изучение эффективности противозумов для профилактики интенсивного шумового воздействия // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. — 2018. — Т. 26. — № 4. — С. 484–492. DOI: 10.23888/PAVLOVJ2018264484-492.

28. *Алексеев А. М., Гаврильев И. М.* Состояние условий труда и травматизм на горнодобывающих предприятиях США // *Science Time*. — 2015. — № 5 (17). — С. 29–36.

29. *Lawson S. M., Masterson E. A., Azman A. S.* Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors 2006–2015 // *American Journal of Industrial Medicine*. 2019, vol. 62, no. 10, pp. 826–837. DOI: 10.1002/ajim.23031.

30. Фадин С. И. Автоматизированный мониторинг физических опасных и вредных факторов: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2004. — 230 с.

31. Смирнякова В. В., Скударнов С. М. Анализ условий труда работников угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 57. — С. 425–430.

32. Булдакова Е. Г., Гридина Е. Б. Анализ производственного травматизма и этапов создания эффективной системы управления промышленной безопасностью на примере ОАО «Воркутауголь» // Записки Горного института. — 2014. — Т. 207. — С. 95–98. Доступно: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21685512> (дата обращения: 27.04.2021).

33. Состояние промышленной безопасности в Российской Федерации. Угольная промышленность. Ростехнадзор, 2019. [Электронный ресурс] URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/>. (дата обращения: 01.05.2021).

34. Каргополова А. П., Рудаков М. Л., Никулин А. Н., Дука Н. Е. Анализ шума, как вредного производственного фактора при добыче угля подземным способом // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2020. — № 4. — С. 70–78. DOI: 10.26631/issn.2072-6554.

35. Осипов Г. Л. Звукоизоляция и звукопоглощение. — М.: Астрель, 2004. — 451 с.

36. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 1582-Р) [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433>.

37. Доклад о состоянии охраны труда в Российской Федерации. Министерство труда РФ, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda>. **ИТАБ**

REFERENCES

1. Nikulina A. Yu., Kruk M. N. Economic estimation of project risks when exploring sea gas and oil deposits in the Russian Arctic. *International Journal of Economics and Financial Issue*. 2016, vol. 6, no. 2, pp. 138–150.

2. Zubov V. P. State and directions of improvement of coal seam development systems at the perspective coal mines of Kuzbass. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 225, pp. 292–297. [In Russ]. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.

3. Cherkai Z. N., Kovshov S. V. Expert assessment of the state of industrial safety in the territorial units of the mineral resource complex of Russia. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 219, pp. 477–481. [In Russ]. DOI 10.18454/PMI.2016.3.477.

4. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions. *Eurasian Mining*. 2016, no. 2, pp. 11–15. DOI: 10.17580/em.2016.02.03.

5. Vasiliev A. V. Problems of assessing the combined effect of noise and other physical factors on human health. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2012, no. 6–1. [In Russ], available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-otsenki-sochetannogo-vliyaniya-shumai-drugih-fizicheskikh-faktorov-na-zdorovie-cheloveka> (accessed 29.04.2021).

6. Punsalmaagiin O. Mongolia's Coal industry: state and prospects of development. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 226, pp. 420–427. [In Russ]. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.420.

7. Joy G. J., Middendorf P. J. Noise exposure and hearing conservation in U.S. coal mines – A surveillance report. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007, vol. 4, no. 1, pp. 26–35. DOI: 10.1080/15459620601067209.

8. Von der Goltz J., Barnwal P. Mines: the local wealth and health effects of mineral mining in developing countries. *Journal of Development Economics*. 2019, vol. 139, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.jdevec.2018.05.005.

9. Chemezov E. N. Principles of ensuring the safety of mining operations in coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 649–653. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.649.

10. Kanji A., Khoza-Shangase K., Ntlhakana L. Noise-induced hearing loss: What South African mineworkers know. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2019, vol. 25, pp. 305 – 310. DOI: 10.1080/10803548.2017.1412122.

11. SangWoo Tak, Calvert G. M. Hearing difficulty attributable to employment by industry and occupation: An analysis of the national health interview survey – United States. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2008, vol. 50, no. 1, pp. 46 – 56. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181579316.

12. Moroe N. F., Audrey S., Barker M., Bond L. Process evaluation of complex interventions: Medical research council guidance. *British Medical Journal*. 2015, vol. 350. DOI: 10.1136/bmj.h1258.

13. Christa T., Masterson E. A. Occupational noise exposure. A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2019, vol. 146, no. 5, pp. 3879 – 3905. DOI: 10.1121/1.5134465.

14. Peterson J. S. Experimental methods to reduce noise generated by haul trucks and LHDs. *Noise Control Engineering Journal*. 2018, vol. 66, no. 5, pp. 446 – 458.

15. Edwards A. L., Milanzi L. A., Khoza N. N., Letsoalo M. S., Zungu L. I. Evaluation of the current practices of noise-induced hearing loss (NIHL) awareness training in the South African mining industry. *Occupational Health Southern Africa*. 2015, vol. 21, no. 1, pp. 1 – 6.

16. Taket A., Crips B. R., Nevil A. *Theorising social exclusion*. London, 2009, 248 p. DOI: 10.4324/9780203874646.

17. Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Charlotte C., Janssen S., Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*. Author manuscript. 2014, vol. 383, pp. 1325 – 1332, available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X) (accessed 22.04.2021).

18. Nikulin A. N., Dolzhnikov I. S. The impact of increased noise level on coal miners. *Bezopasnost' v stroitel'stve: Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Safety in construction: Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation], Saint-Petersburg, SPbGASU, 2019, pp. 91 – 99. [In Russ].

19. Parkhansky Yu. The risk of injuries of coalmine workers and its hysteresis. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 222, pp. 869 – 876. [In Russ]. DOI: 10.18454/PMI.2016.6.869.

20. Flavitsky Yu. V., Galin L. A., Reznikov I. G. *Zashchita ot shuma i vibratsii na predpriyatiyakh ugol'noy promyshlennosti: spravochnoe posobie* [Protection from noise and vibration at the enterprises of the coal industry: reference manual], Moscow, Nedra, 1990, 1340 p.

21. Kovachev N. Monitoring the risk of noise in production. Part II. Control and forecasting of risks from noise emissions and emissions. *Nauchnye stat'i Rossiyskogo universiteta*. 2013, no. 52, pp. 236 – 240. [In Russ].

22. Moroe N. F. Occupational noise-induced hearing loss in South African large-scale mines: exploring hearing conservation programmes as complex interventions embedded in a realist approach. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2020, vol. 26, pp. 753 – 761. DOI: 10.1080/10803548.2018.1498183.

23. Nyarubeli I. P., Tungu A. M., Bratveit M., Moen B. E. Occupational noise exposure and hearing loss. A study of knowledge, attitude and practice among Tanzanian iron and steel workers. *Archives of Environmental & Occupational Health*. 2020, vol. 75, no. 4, pp. 216 – 225. DOI: 10.1080/19338244.2019.1607816.

24. Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., Dolzhnikov I. S. Increasing labour safety on coal mines. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2019, vol. 12, no. 7, pp. 842 – 848. DOI: 10.30534/ijeter/2019/19712201.

25. Kovshov S., Istomin R., Sotiriu A. Industrial injuries appraisal in mines of JSC «SUEK Kuzbass». *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1001, pp. 414 – 420. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.414.

26. Shuvalov Yu. V., Burlakov S. D., Tucha N. A. Assessment of the impact and protection of miners from the negative impact of the environment. *Journal of Mining Institute*. 2005, vol. 164, pp. 128–133. [In Russ].

27. Kharitonov V. I. Experimental study of the effectiveness of anti-noise for the prevention of intensive noise exposure. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2018, vol. 26, no. 4, pp. 484–492. [In Russ]. DOI: 10.23888/PAVLOVJ2018264484-492.

28. Alekseev A. M., Gavrilyev I. M. The state of labor conditions and injuries at mining enterprises in the USA. *Science Time*. 2015, no. 5 (17), pp. 29–36. [In Russ].

29. Lawson S. M., Masterson E. A., Azman A. S. Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors 2006–2015. *American Journal of Industrial Medicine*. 2019, vol. 62, no. 10, pp. 826–837. DOI: 10.1002/ajim.23031.

30. Fadin S. I. *Avtomatizirovanny monitoring fizicheskikh opasnykh i vrednykh faktorov* [Automated monitoring of physical hazards and harmful factors], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2004, 230 p.

31. Smirnyakova V. V., Skudarnov S. M. Analysis of labor conditions of coal industry workers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. S7, pp. 425–430. [In Russ].

32. Buldakova E. G., Gridina E. B. Analysis of industrial injuries and stages of creating an effective industrial safety management system on the example of JSC «Vorkutaugol». *Journal of Mining Institute*. 2014, vol. 207, pp. 95–98. [In Russ], available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21685512> (accessed 27.04.2021).

33. *Sostoyanie promyshlennoy bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii. Ugol'naya promyshlennost'* [The state of industrial safety in the Russian Federation. Coal industry]. Rostekhnadzor, 2019. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/>. (дата обращения: 01.05.2021).

34. Kargopolova A. P., Rudakov M. L., Nikulin A. N., Duka N. E. Analysis of noise as a harmful production factor in underground coal mining. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti*. 2020, no. 4, pp. 70–78. [In Russ]. DOI: 10.26631/issn.2072-6554.

35. Osipov G. L. *Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshchenie* [Sound insulation and sound absorption]. Moscow, Astrel, 2004, 451 p.

36. *Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года* (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 1582-Р). [In Russ]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433>.

37. *Доклад о состоянии охраны труда в Российской Федерации*. Министерство труда РФ, 2019. [In Russ]. URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рудаков Марат Леонидович*¹ — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,

*Дука Никита Евгеньевич*¹ — аспирант, e-mail: duka.nikita996@mail.ru,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Дука Н.Е., e-mail: duka.nikita996@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M.L. Rudakov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair,

*N.E. Duka*¹, Graduate Student, e-mail: duka.nikita996@mail.ru,

¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: N.E. Duka, e-mail: duka.nikita996@mail.ru.

Получена редакцией 10.05.2021; получена после рецензии 04.06.2021; принята к печати 10.09.2021.

Received by the editors 10.05.2021; received after the review 04.06.2021; accepted for printing 10.09.2021.