

К ВОПРОСУ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВОВ

И. Б. Малых¹, А. В. Корнев², Г. И. Коршунов², А. С. Серёгин²

¹ АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, 652507, Россия

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 199106, Россия

Аннотация: Вопрос организации механизированной доставки в подземные выработки людей и грузов является одним из ключевых при ведении горных работ. В большинстве случаев для этой цели применяют дизель-гидравлические локомотивы (ДГЛ). От дальности расположения маршрута их движения относительно забоя зависит длительность простоев и производительность предприятия в целом. Для обеспечения безопасной эксплуатации транспорта с дизельным приводом в России действует ряд нормативных документов (правила промышленной безопасности, инструкции, руководящие документы, ГОСТы), которые предписывают необходимость контроля в рудничной атмосфере оксидов азота и углерода, выделяемых с выхлопными газами, и подачи воздуха в объеме, достаточном для разбавления фактических концентраций указанных веществ до допустимых значений. Кроме того, не отменен на сегодняшний день и РД 05–312–99, в котором содержится требование по обеспечению расхода воздуха 5 м³/мин. на одну л.с. используемых дизельных двигателей. Реализация данного требования сопряжена с определенными сложностями и затратами, в ряде случаев нецелесообразна либо невозможна. С целью оценки обоснованности указанных требований по проветриванию горных выработок применительно к эксплуатации современного дизель-гидравлического транспорта выполнен анализ подходов к нормированию и нормализации параметров рудничной атмосферы, применяемых в отечественной и зарубежной практике. Представлены сведения по объемам ДГЛ, их загрузенности и маршрутам движения на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Проанализированы выработки, в которых в настоящее время по фактору расхода воздуха не эксплуатируются дизелевозы. Предложены пути решения вопроса.

Ключевые слова: шахты, рудничная атмосфера, дизель-гидравлические локомотивы, выхлопные газы, оксид углерода, оксиды азота, максимально-допустимая концентрация, расход воздуха.

Для цитирования: Малых И. Б., Корнев А. В., Коршунов Г. И., Серёгин А. С. К вопросу проветривания подземных горных выработок при работе дизель-гидравлических локомотивов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 140–156. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_140.

To the question of ventilation of underground mine workings during operation of diesel-hydraulic locomotives

I. B. Malykh¹, A. V. Kornev², G. I. Korshunov², A. S. Seregin²

¹ JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, 652507, Russia

² St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, 199106, Russia

Abstract: The issue of organizing mechanized delivery of people and loads to underground workings is one of the key issues in mining operations. In most cases, diesel-hydraulic locomotives (DHL) are used for this purpose. The duration of downtime and output capacity of the enterprise depends on the distance from their route to the face. To ensure the safe operation of vehicles with a diesel engine in Russia, there are a number of regulatory documents (industrial safety rules, instructions, guidelines, GOSTs), which prescribe the need to control nitrogen and carbon oxides emitted with exhaust gases in the mine atmosphere, and to supply air in volume, sufficient to dilute the actual concentrations of these substances to acceptable values. In addition, RD 05–312–99 has not been canceled to date, which contains a requirement to ensure an air flow of 5 m³/min. for one hp used diesel engines. The implementation of this requirement is associated with certain difficulties and costs, in some cases it is impractical or impossible. In order to assess the validity of these requirements for the ventilation of mine workings in relation to the operation of modern diesel-hydraulic transport, an analysis of approaches to the regulation and normalization of mine atmosphere parameters used in domestic and foreign practice was performed. The volumes of DHL, their workload and traffic routes in the mines of JSC «SUEK-Kuzbass» are presented. The workings in which diesel locomotives are not currently operated due to the air consumption factor are analyzed. Ways of solving the problem are proposed.

Key words: mines, mine atmosphere, diesel-hydraulic locomotives, exhaust gases, carbon monoxide, nitrogen oxides, maximum allowable concentration, air consumption.

For citation: Malykh I. B., Kornev A. V., Korshunov G. I., Seregin A. S. To the question of ventilation of underground mine workings during operation of diesel-hydraulic locomotives. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–1):140–156. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_140.

Введение

Дизель-гидравлический транспорт (ДГТ) является незаменимым элементом технологической цепи добычи как угля, так и руды подземным способом. Он широко применяется не только для перевозки работников до рабочих мест, но и для механизированной доставки необходимых для ведения технологических процессов материалов, сырья, горно-шахтного оборудования, запасных элементов, металлических конструкций и инструментов, что позволяет повысить эффективность производства в целом [1]. Также дизелевозы задействуются при ведении аварийно-спасательных работ и могут включать различные модули: скорой помощи, осланцевания и объемного пожаротушения, модули со средствами механизации разборки завалов и др. [2].

В настоящее время, только в пределах шахт АО «СУЭК-Кузбасс», используется порядка 94 дизель-гидравли-

ческих локомотивов марок «Ferrit», «Becker», «Scharf», включая маневровые устройства. Фактическое время их работы стабильно превышает плановое значение — например, в 2020 г. эта разница составила 7,7 %, в 2021 г. в отдельные месяцы превышение фактической нагрузки над плановой достигало 11 % и более (таблица 1).

Количество маршрутов в зависимости от условий ведения горных работ на конкретных шахтах варьируется от 2 до 12. Общая длина маршрутов составляет от 4 км на шахте «Полысаевская» до 48 и 33 км на шахтах «имени С. М. Кирова» и «имени В. Д. Ялевского» соответственно. Минимальная протяженность отдельных маршрутов составляет 100–300 м, максимальная — достигает 10 км (таблица 2).

С увеличением объемов производства и протяженности горных выработок парк дизелевозов на угольных шахтах постоянно растет.

Таблица 1

Распределение ДГЛ по шахтам АО «СУЭК-Кузбасс» и время их работы за один месяц (август 2021 г.) [составлена авторами]

Distribution of diesel-hydraulic locomotives in the mines of JSC «SUEK-Kuzbass» and their operating time for one month (August 2021) [compiled by the authors]

Шахта	Количество ДГЛ		Время работы ДГЛ, маш. / час	
	план	факт	план	факт
имени В. Д. Ялевского	17	21	9775	9635
ШУ «Талдинское-Западное»	12	26	6900	10989
имени 7 ноября-новая	4	5	2300	3054
имени А. Д. Рубана	11	16	6246	6369,6
Комсомолец	7	8	4025	3623
имени С. М. Кирова	14	18	8050	8240
ВСЕГО	65	94	37296	41911

Таблица 2

Характеристика маршрутов ДГЛ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (август 2021 г.) [составлена авторами]

Characteristics of diesel-hydraulic locomotives routes at the mines of JSC «SUEK-Kuzbass» (August 2021) [compiled by the authors]

Шахта	Количество маршрутов	Минимальная / максимальная протяженность маршрута, м	Общая длина маршрутов, м
имени А. Д. Рубана	12	250 / 4100	12 550
имени С. М. Кирова	10	100 / 5490	48 055
имени В. Д. Ялевского	12	1000 / 7100	33 710
Талдинская-Западная-1	7	300 / 2800	7 900
имени 7 ноября-новая	6	300 / 5890	13 450
Комсомолец	4	300 / 10000	18 320
Полысаевская	2	1800 / 2080	3880

Несмотря на то, что использование ДГТ имеет важное значение для производства горных работ, дизелевозы являются источниками вредных и опасных для человека выбросов: оксидов углерода и азота, канцерогенных твердых пылевых сажевых частиц (Dust Particulate Matter – DPM) [3–5], что требует их разжижения в воздухе горных выработок до безопасных (предельно-допустимых) концентраций. Доля выбросов в общем объеме поступающих в воздух локальных участков горных выработок вредных веществ может достигать 90 % [6–8]. Выхлоп-

ные газы дизельных двигателей в зависимости от типа используемого топлива, скорости его расхода, режима работы двигателя, нагрузки на него и своевременности его обслуживания содержат 0,01–1 об. % (100–10000 ppm) CO, 2–12 об. % (20000–12000 ppm) CO₂, 0,003–0,1 об. % (30–1000 ppm) NO_x, 0,005–0,05 об. % (50–500 ppm) несгоревших углеводородов, SO_x – в объеме, пропорциональном содержанию серы в топливе, 20–200 мг/м³ DPM. DPM состоят в основном из углерода с незначительными компонентами органических соединений из несгорев-

шего топлива, смазочного масла и неорганических соединений, таких как зола (неорганические минералы) и соединения серы [9–11]. Формула сажи может быть приблизительно описана как C_8H [12]. Согласно исследованию [13], типичный состав твердых частиц сверхмощного дизельного двигателя, испытанного в условиях интенсивного переходного цикла, представлен на 41 % углеродом, на 7 % — несгоревшим топливом, на 25 % — несгоревшим маслом, на 14 % — сульфатами и водой, на 13 % — золой и иными компонентами. В зависимости от конструкции двигателя, условий эксплуатации и состава топлива содержание фракции, связанной с несгоревшим топливом и смазочным маслом, описываемой как растворимая органическая фракция (SOF), варьируется от 10 до 90 %.

Виды вредных газов, подлежащих контролю в условиях подземных горных выработок, и их максимально допустимые значения в рудничной атмосфере, регламентированы нормативными документами в области охраны труда и промышленной безопасности [14–16]. Так, в России требования к составу воздуха в горных выработках угольных шахт, в которых в том числе осуществляется движение дизель-гидравлических локомотивов и применяется иная техника с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), содержатся:

– в «Правилах промышленной безопасности в угольных шахтах», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 507;

– в «Инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт», утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 506;

– в Руководстве по безопасности «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 января 2016 года №7.

В воздухе горных выработок рудников не допускается содержание ядовитых газов и паров выше допустимых концентраций, указанных в таблице №2 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», утвержденных приказом № 505 в декабре 2020 г.

Наряду с разработкой и использованием более экологичных видов топлива [6, 7, 17], основным подходом к нормализации параметров рудничной атмосферы горных выработок при работе дизельной техники является подача в эти выработки свежего воздуха в таком объеме, которого будет достаточно для разбавления всех вредных веществ, включая выхлопные газы [18–20]. Обеспечение угольных шахт расчетным количеством воздуха является также ключевым мероприятием по снижению аэрологических рисков [21], связанных угрозой взрыва метана и взвешенной угольной пыли [22–24]. При этом особое внимание уделяется вопросам аэрологического контроля [25, 26], повышения эффективности дегазации [27] и увеличения интенсивности проветривания [28].

Один из основных, выпущенных за последнее время документов «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом» не содержит требования по подаче конкретного объема воздуха в горные выработки с пролегающими через них маршрутами движения ДГЛ. Главное условие, которое должно выполняться, состоит

в том, чтобы подаваемого количества воздуха хватало для снижения концентрации вредных компонентов выхлопных газов до их предельно-допустимых значений.

В тоже время, продолжает действовать утвержденный в 1999 г. и вступивший в силу с 1.10.2000 г. РД 05-312-99 «Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах», предписывающий необходимость подачи воздуха в горные выработки, исходя из расчета 5 м³/мин. на одну л.с. используемых ДВС. Однако, это требование было закреплено еще «Временными нормами и техническими требованиями для безопасной эксплуатации дизельных локомотивов (машин) в угольных шахтах», разработанными МакНИИ 47 лет назад.

За это время были созданы аккумуляторные системы впрыска топлива, устройства каталитической нейтрализации выхлопных газов, усовершенствован состав дизельного топлива и предложены иные технические решения, что позволило в совокупности значительно шагнуть вперед в вопросах очистки выхлопных газов. Кроме того, в настоящее время действуют жесткие экологические стандарты «Stage V» и «Tier 5», которым должны отвечать современные горные машины на дизельном приводе.

Реализация требования по обеспечению расхода воздуха в 5 м³/мин. на одну л.с. используемых дизельных двигателей требует значительных ресурсов на проветривание поддерживаемых горных выработок, а в некоторых случаях является невозможной или нецелесообразной. По этой причине

Таблица 3

Горные выработки с планируемыми маршрутами ДГЛ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», необеспеченные расчетным (5 м³ на л.с.) количеством воздуха [составлена авторами]
Mine workings with planned DHL routes at the mines of JSC «SUEK-Kuzbass», not provided with the estimated (5 m³ per hp) amount of air [compiled by the authors]

Шахта	Количество выработок	№ п/п	Наименование горной выработки
имени А. Д. Рубана	2	1	Сбойка №121
		2	Сбойка №131
имени С. М. Кирова	4	3	Вентиляционная печь 25 – 98 от сб.5 бис до 25 – 98 конвейерной печи
		4	Заезд 25 – 99 к/п
		5	Заезд 25 – 98 к/п
		6	Заезд 24 – 63 к/п
имени 7 ноября-новая	2	7	26 – 8 конвейерный штрек (от сб.26 – 8-1 до конвейерного бремсберга №1)
		8	26 – 9 конвейерный штрек (от сб. 26 – 9-11 до сб.26 – 9-14)
Талдинская-Западная 1	1	9	Путевой уклон пл. 66
Талдинская-Западная 2	2	10	Конвейерный уклон пл.69 (от путевого квершлага на пл.69 до 69 – 07 конвейерного штрека)
		11	Фланговый путевой уклон пл. 69

ограничивается маршрут движения монорельсовых локомотивов в ряде горных выработок, приводя к увеличению временных затрат на доставку материалов и людей к месту ведения работ.

В настоящее время на 5 из 8 шахт АО «СУЭК-Кузбасс» имеется порядка 11 горных выработок, которые не обеспечены воздухом в объеме из расчета 5 м^3 на л.с., закрепленного в указанном выше РД и, следовательно, в которых на сегодняшний день не могут быть реализованы запланированные маршруты ДГЛ (таблица 3).

Если в выработках № 7 – 11 шахт «имени 7 ноября-новая», «Талдинская-Западная 1» и «Талдинская-Западная 2» потенциально возможно решение данного вопроса за счет перераспределения воздуха по выработкам и увеличения их сечения, то в выработки № 1 – 6 шахт «имени А. Д. Рубана» и «имени С. М. Кирова» подать воздух в объеме 5 м^3 на л.с. затруднительно, так как проходящий воздух в дальнейшем используется для проветривания лав и (или) подготовительных забоев.

Разрешить сложившуюся ситуацию возможно несколькими способами: использовать электровозы вместо дизель-гидравлических локомотивов либо научно обосновать возможность безопасного использования последних в горных выработках при меньших расходах воздуха. Так как на закупку и обслуживание транспорта на электротяге требуется значительные первоначальные инвестиции, то представляется более приемлемым второй вариант решения данного вопроса.

Научно-техническое обоснование включает несколько этапов:

1. Анализ мирового опыта нормирования параметров рудничной атмосферы и организации проветривания на шахтах и рудниках.

2. Оценка реальной аэротехногенной нагрузки от работы дизель-гидравлических локомотивов в условиях конкретных шахт, проведение натурных исследований.

3. Компьютерное моделирование процессов распределения выхлопных газов ДГЛ по длине и сечению горных выработок.

Современные программные продукты позволяют получать адекватные модели для прогнозирования аэродинамических процессов для условий как подземных [29], так и открытых горных выработок [30].

В рамках 1-го этапа исследований были рассмотрены и проанализированы современные подходы к нормированию вредных веществ в воздухе подземных горных выработок и их проветриванию при работе дизель-гидравлических локомотивов в крупнейших горнодобывающих странах мира.

Методы

В работе на данном этапе использованы теоретические методы исследования, предполагающие проведение анализа нормативно-технической документации в области регулирования вопросов аэрологической безопасности на шахтах и рудниках при использовании техники с дизельным приводом.

Результаты

В горных выработках угольных шахт осуществляется контроль концентрации кислорода (O_2), метана (CH_4), водорода (H_2), монооксида (CO) и диоксида углерода (CO_2), оксидов азота в пересчете на NO_2 (NO_x), сернистого ангидрида (SO_2) и сероводорода (H_2S). В рудниках дополнительно к упомянутым газам измеряется акролеин ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$), формальдегид (CH_2O), ртуть металлическая (Hg), аммиак (NH_3), углеводороды алифатические ($\text{C}_1\text{-C}_{10}$) предельные в пересчете на углерод ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$).

Для оценки аэротехногенной нагрузки от работы дизель-гидравлического транспорта на состояние рудничной атмосферы рассматриваются в основном замеры СО и оксидов азота (NO_x), которые проводятся на рабочем месте машиниста ДГЛ (в кабине) и на расстоянии 20 м от дизелевоза по ходу воздушной струи. В России ПДК оксида углерода принята равной 0,0017 % (17 ppm) по объему. Максимально допустимая в воздухе горных выработок концентрация оксидов азота (в пересчете на NO_2) составляет 0,00025 % (2,5 ppm) по объему.

Для обеспечения безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах осуществляется также контроль концентрации вредных и опасных газов на выхлопе, которые не должны превышать значений, указанных в нижеприведенных документах:

– РД 05 – 312 – 99 «Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах», утвержденные Постановлением Госгортехнадзора РФ от 30.09.1999 № 71;

– РД 05 – 311 – 99 «Нормы безопасности на транспортные машины с дизельным приводом для угольных шахт», утвержденные Постановлением Госгортехнадзора РФ от 30.09.1999 № 71;

– Руководство по безопасности «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 января 2016 года №7;

– ГОСТ Р 53648 – 2009 «Дизелевозы подземные. Общие технические требования и методы испытаний».

В приведенных нормативных документах, регулирующих применение

дизельных ДВС в угольных шахтах, устанавливаются предельно допустимые концентрации газов до системы очистки и после них. Для напочвенных дизелевозов максимальные концентрации выхлопных газов определены в п. 5.3 ГОСТ Р 53648 – 2009 «Дизелевозы подземные. Общие технические требования и методы испытаний». Так, для новых дизельных двигателей содержание по объему оксида углерода (СО) в выхлопных газах не должно превышать 0,05 %, оксидов азота (NO_x) в пересчете на диоксид азота (NO_2) – 0,07 % и альдегидов – 0,001 %. При эксплуатации локомотива содержание оксида углерода в выхлопных газах не должно превышать 0,08 % по объему. Аналогичные требования содержатся в п. 1.10 РД 05 – 311 – 99 «Нормы безопасности на транспортные машины с дизельным приводом для угольных шахт».

Для подвесных дизельных локомотивов, передвигающихся по монорельсу, требования к параметрам выхлопных газов содержатся в п. 3.4 РД 05 – 312 – 99 «Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах». Допускается эксплуатация дизельных двигателей, в неразбавленных выхлопных газах которых при любом разрешенном режиме работы двигателя после газоочистки концентрация оксида углерода составляет не выше 0,08 % (800 ppm) по объему, оксидов азота в пересчете на NO_2 – не более 0,07 % (700 ppm). В приложении №2 к Руководству по безопасности «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом» указаны аналогичные требования.

Отбор проб воздуха для последующего анализа с целью определения концентрации оксидов азота и оксидов

углерода рядом с выхлопной трубой ДГЛ проводится обычно при работе дизелевоза на максимальных оборотах и холостых оборотах.

В табл. 4 приведены требования к концентрации CO и NO_x в горных выработках шахт России в сравнении с требованиями, принятыми в других угледобывающих странах.

Из анализа данных, приведенных в таблице, очевидно, что нормативы по содержанию вредных газов в воздухе горных выработок российских

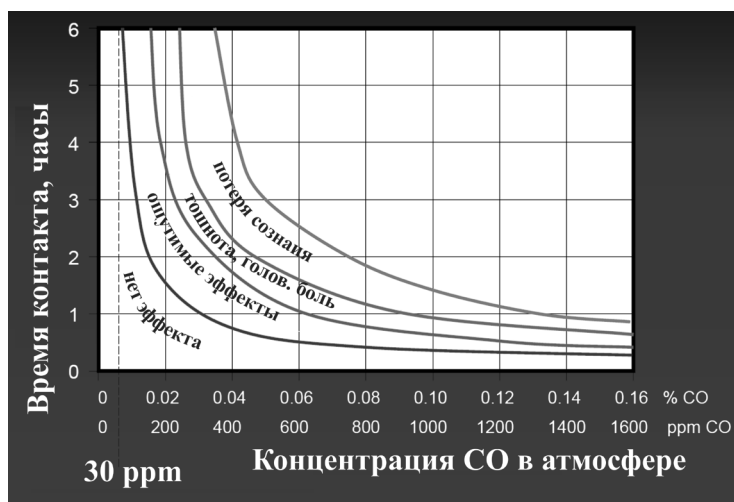
угольных шахт жестче по сравнению с нормами в других странах. Наиболее «мягкие» требования предусмотрены в отношении горнодобывающих предприятий на территории Канады и США. Для оценки обоснованности принятых в России максимально допустимых концентраций окислов азота и углерода в подземных горных выработках, следует рассмотреть факторы, определяющие степень их негативного воздействия на организм человека.

Таблица 4

Максимально допустимые концентрации CO и NO_x в горных выработках шахт основных угледобывающих стран [31]

The maximum allowable concentrations of CO and NO_x in mine workings of mines of the main coal-producing countries [31]

Страна	Максимально допустимые концентрации, об. % (ppm)	
	CO	NO _x
Россия	0,0017 (17)	0,00025 (2,5)
США	0,0050 (50)	0,0005 (5)
Австралия	0,0030 (30)	0,0003 (3)
Канада	0,0020 – 0,0050 (20 – 50)	0,0002 – 0,0005 (2 – 5)
ЮАР	0,0030 (30)	0,0003 (3)



Влияние концентрации CO и времени его воздействия на характер последствий для человека [31]

Influence of CO concentration and time of its exposure on the nature of consequences for humans [31]

Монооксид углерода опасен, прежде всего, тем, что при попадании в организм человека он очень быстро связывается с гемоглобином, содержащимся в крови, и приводит к образованию прочного соединения — карбоксигемоглобина (HbCO), имеющего период полураспада не менее 4—6 часов. При повышении в крови концентрации HbCO происходит вытеснение кислорода и постепенно появляется кислородное голодание, головокружение, тошнота, рвота и может наступить даже смерть [4, 32].

Степень нанесенного вреда здоровью от вдыхания воздуха с повышенным содержанием угарного газа зависит как от концентрации CO в воздухе, так и продолжительности воздействия (рисунок).

Как видим концентрация CO до 30 ppm является безопасной при условии воздействия в течение 6—8 часов. Нарушения самочувствия фиксируются по мере повышения концентрации окиси углерода и продолжительности контакта с органами дыхания. При кратковременном воздействии в течение не более 10—15 минут ощутимые эффекты не наблюдаются даже при увеличении концентрации CO до 1600 ppm.

Согласно исследованиям Национального исследовательского совета

США по выбросам ракетных двигателей воздействие на добровольцев диоксида азота NO₂ в течение 2 часов в концентрации 5,0 ppm приводило к нарушению протекания кислородного обмена в легких, повышению сопротивления на вдохе, нарушению функции дыхания [33].

Американской ассоциацией правительственных промышленных гигиенистов (American Conference of Governmental Industrial Hygienists — ACGIH) было рекомендовано установить значение максимально допустимой концентрации CO на уровне 25 ppm, NO_x — 3 ppm, что несколько ниже нормируемых значений вредных выбросов, утвержденных управлением по безопасности и охране труда в горной промышленности (Mine Safety and Health Administration — MSHA) [34]. Рекомендованные нормативы аналогичны тем, которые приняты в Австралии, Канаде и Южной Африке.

Требования к расходу воздуха для разбавления вредных веществ, поступающих с выхлопными газами от работающей дизельной техники в атмосферу горных выработок, зависят от конкретных условий и различаются для отдельных стран и регионов (табл. 5).

Однако, даже с учетом всех особенностей максимальная подача воз-

Таблица 5

Требования к проветриванию горных выработок при использовании техники с ДВС в некоторых странах [31, 35]

Requirements for ventilation of mine workings when using machinery with internal combustion engines in some coal-mining countries [31, 35]

Страна	Требования по расходу воздуха
Австралия	Варьируется в зависимости от штата и территории, от 0,05 до 0,06 м ³ /с на кВт, чаще всего 0,06 м ³ /с на кВт (2,2—2,65 м ³ /мин на л.с.)
Канада	Варьируется в зависимости от провинции и территории, от 0,047 до 0,092 м ³ /с на кВт (2,07—4,06 м ³ /мин на л.с.), чаще всего 0,06 м ³ /с на кВт (2,65 м ³ /мин на л.с.)
ЮАР	0,06 м ³ /с на кВт (2,65 м ³ /мин на л.с.)

духа, которая должна быть обеспечена для выработок с дизельным транспортом, не превышает 2,65 м³/мин на л.с., что почти в 2 раза меньше российских нормативов, прописанных в РД 05 – 312 – 99.

В США для предотвращения превышения фактических концентраций вредных веществ в атмосфере угольных шахт относительно их максимально допустимых значений использован несколько иной подход к нормированию параметров вентиляции. Так, MSHA дифференцирует требования к вентиляции, исходя из используемых в машинах типов дизельных двигателей, их преобладающих рабочих режимов и эксплуатационных условий [36, 37]. Расход воздуха, требуемый для снижения концентрации вредных компонентов выхлопных газов до значения ПДК, принятого MSHA, при каждом режиме работы ДВС, рассчитывается на основе программы испытаний двигателя. MSHA также рассчитывает расход воздуха, необходимый для разбавления выбросов DPM двигателя до концентрации 1 мг/м³ [38, 39]. В табл. 6 приведены некоторые примеры утвержденных MSHA требований к вентиляции шахт, в которых исполь-

зуется техника с дизельными двигателями различных производителей.

Большинство значений требуемого расхода воздуха, приведенных в таблице 6, меньше нормируемых в других странах значений, указанных в табл. 5.

Обсуждение результатов

Исходя из проведенного анализа следует, что принятые в России нормативные требования к содержанию вредных веществ в атмосфере угольных шахт, на которых используется дизель-гидравлический транспорт, несколько завышены по сравнению с требованиями других угледобывающих стран и на наш взгляд, могут быть смягчены.

Внедрение в горнодобывающую промышленность оборудования с двигателями уровня «Tier IV» также требует пересмотра текущих требований. Согласно исследованиям, описанным в работе [37], использование двигателей нового поколения позволит снизить объемы токсичных выбросов в выхлопе до 90 %. Это также позволит снизить расход воздуха, необходимого для разжижения вредных выбросов в горных выработках.

С учетом того, что дизелевозы разных марок и моделей отличаются

Таблица 6

Примеры сертифицированных MSHA расходов воздуха для ДВС [31]

Table 6

Examples of MSHA-certified airflow rates for internal combustion engines [31]

Производитель ДВС	Модель	Мощность, кВт / об./мин. на высоте 305 м	Расход воздуха для разбавления газов		Расход воздуха для разбавления твердых частиц	
			м ³ /с	м ³ /мин на л.с.	м ³ /с	м ³ /мин на л.с.
Caterpillar	3054 DIT	81 / 2400	4,2	3,11	4,2	3,11
Caterpillar	3306 DITA	123 / 2200	5,0	2,44	2,6	1,27
Cummins	QSX15	336 / 2000	8,3	1,48	8,0	1,43
Cummins	QSK19	567 / 2100	23,6	2,50	11,8	1,25
Volvo	TAD1340VE	259 / 2100	7,3	1,69	5,0	1,16
Volvo	TAD1344VE	357 / 2100	9,9	1,66	5,9	0,99

по мощности, имеют некоторые фирменные особенности и могут эксплуатироваться в разных условиях (в выработках с разным сечением и конфигурацией, скоростью воздуха, отличающихся режимах работы), требование обеспечения минимального расхода воздуха в 5 м³/мин на каждую л.с. дизельного двигателя, работающего в горной выработке, является в не полной мере обоснованным.

Заключение

Российские требования по максимально допустимым концентрациям СО и NO_x в действующих горных выработках, составляющих 0,0017 и 0,00025 об. % соответственно, являются более жесткими по сравнению с требованиями на шахтах других угледобывающих стран (США, Австралии, ЮАР, Канады), на которых максимально допустимые концентрации СО и NO_x равны 0,0020 – 0,0050 об. % и 0,0003–0,0005 об. % соответственно. Также, российские нормативы в отношении СО и NO_x жестче значений, рекомендованных Американской ассоциацией правительственных промышленных гигиенистов, равных 0,0025 об. % — для СО, 0,0003 об. % — для NO_x, что позволяет сделать вывод о возможности смягчения существующих в настоящее время в России требований.

Анализ отечественной и зарубежной практики показал, что норма расхода воздуха в 5 м³/мин. на каждую л.с., закрепленная в РД 05 – 312 – 99, превышает значения расходов воздуха, требуемых к обеспечению в южноафриканских (2,65 м³/мин на л.с.), канадских (2,07 – 4,06 м³/мин на л.с.), австралийских (2,2 – 2,65 м³/мин на л.с.) и американских (1,66 – 3,11 м³/мин на л.с.)

шахтах. Требование по расходу воздуха в 5 м³/мин не менялось с 1975 г. и нуждается в пересмотре с учетом типа используемых дизельных двигателей, режима и условий их работы.

Для обоснования возможности снижения закрепленного расхода воздуха для проветривания горных выработок с дизель-гидравлическим транспортом авторами проводятся натурные измерения загазованности горных выработок шахт АО «СУЭК-Кузбасс» при работе машин с дизельным приводом; исследуются фактическое распределение вредных газов в тупиковых и поддерживаемых горных выработках в шахтной вентиляционной сети; реализуется компьютерное моделирование процессов распределения выхлопных газов по сечению и длине горной выработки при работе дизель-гидравлического транспорта. Полученные результаты будут представлены в последующих работах.

Вклад авторов

Малых И. Б. — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, получение данных для анализа, анализ результатов исследования, написание текста статьи.

Корнев А. В. — написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала.

Коршунов Г. И. — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, анализ результатов исследования.

Серёгин А. С. — получение данных для анализа, анализ результатов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gornostayev V., Kubrin S.* Organization of People and Materials Delivery by Suspended Diesel-Hydraulic Transport in the Mines of JSC «SUEK-Kuzbass». E3S Web of Conferences. 2018. vol. 41, 01017, pp. 1–4. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101017.
2. *Романченко С. Б., Цеслик П. Я., Величкова Б., Костеренко В. Н.* Модульный комплекс обеспечения аварийно-спасательных работ в шахтах и рудниках // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2019. — №1. — С. 70–81.
3. *Чеботарёв А. Г.* Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // Горная промышленность. — 2012. — № 2 (102). — С. 84–88.
4. *Chang P., Xu G.* Review of Diesel Particulate Matter Control Methods in Underground Mines. Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress. Springer, Singapore, 2019, pp. 461–470. DOI: 10.1007/978-981-13-1420–9_39.
5. *Lutz E. A., Reed R. J., Lee V. S. T., Jefferey L.* Burgess Comparison of personal diesel and biodiesel exhaust exposures in an underground mine. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2017, vol. 14 (7), pp. 102–109. DOI: 10.1080/15459624.2017.1285488.
6. *Коршунов Г. И., Еремеева А. М., Дребенштетт К.* Обоснование применения растительной добавки к дизельному топливу в качестве способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов // Записки Горного института. — 2021. — Т. 247. — С. 39–47. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.5.
7. *Коршунов Г. И., Еремеева А. М., Серегин А. С.* Обоснование снижения требуемого расхода воздуха при проветривании горных выработок угольных шахт с работающими дизельными двигателями // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 47–59. DOI: 10.25018/0236_2022_3_0_47.
8. Diesel Emissions Management in Underground Coal Mines. Best Practices and Recommendations. 2019. Available at: https://www.resources.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/1438524/diesel-emissions-mgt-underground-coal-mines.pdf.
9. *Burtscher H.* Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. Aerosol Science. 2005, vol. 36, pp. 896–932.
10. *Saarikoski S., Teinilä K., Timonen H., Aurela M., Laaksovirta T., Reyes F., Vasques Y., Oyola P., Artaxo P., Pennanen S., Juntila S., Linnainmaa M., Salonen R. O., Hillamo R.* Particulate matter characteristics, dynamics and sources in an underground mine. Aerosol Science and Technology. 2018. vol. 52 (1), pp. 114–122. DOI: 10.1080/02786826.2017.1384788.
11. *Peters S., de Klerk N., Reid A., Fritschi L., Musk A. B., Vermeulen R.* Quantitative levels of diesel exhaust exposure and the health impact in the contemporary Australian mining industry. Occupational and Environmental Medicine. 2017. vol. 74 (4), pp. 282–289. DOI:10.1136/oemed-2016–103808.
12. *Hall-Roberts V. J., Hayhurst A. N., Knight D. E., Taylor S. G.* The Origin of Soot in Flames: is the Nucleus an Ion. Combustion and Flame. 2000, vol. 120, pp. 578–584.
13. *Maricq M. M.* Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. Journal of Aerosol Science. 2007, vol. 38, pp. 1079–1118. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2007.08.001.
14. *Gonen A.* Ventilation Requirements for Today’s Mechanized Underground Metal Mines. International Journal of Advanced Research in Engineering. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 7–10, DOI: 10.24178/ijare.2018.4.1.07.
15. Code of Federal Regulations. Limit on Exposure to Diesel Particulate Matter. Available at: www.law.cornell.edu/cfr/text/30/57.5060.

16. 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, pp. 579-588 DOI: 10.14505/jemt.v11.3(43).10.

17. Eretneva A. M., Kondrasheva N. K., Nelkenbaum K. S. Studying the possibility of improving the properties of environmentally friendly diesel fuels. Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. 2020, pp. 108—114. DOI: 10.1201/9781003017226—16.

18. Чемезов Е. Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 649—653. DOI: 10.31897/pm.2019.6.649.

19. Гришин Е. Л., Зайцев А. В., Кузьминых Е. Г. Обеспечение безопасных условий деятельности сотрудников по фактору вентиляция в подземных рудниках при работе техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания // Недропользование. — 2020. — Т. 20. — № 3. — С. 280—290. DOI: 10.15593/2712—8008/2020.3.8.

20. Sidorenko A. A., Dmitriev P. N., Sirenko Y.G. Predicting Methane Emissions from Multiple Gas-Bearing Coal Seams to Longwall Goafs at Russian Mines, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021, vol. 16, no. 8, pp. 851-857. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0421_8562.pdf.

21. Баловцев С. В. Сравнительная оценка аэрологических рисков на действующих угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2—1. — С. 5—17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21—0-5—17.

22. Гендлер С. Г., Копачев В. Ф., Ковшов С. В. Мониторинг потерь сжатого воздуха в разветвленных воздухопроводных сетях горных предприятий // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 3-11. DOI: 10.31897/PMI.2022.8.

23. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V., Pekarchuk D. S., Orlov F. A. Analysis of methane and dust explosions in modern coal mines in Russia. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019, vol. 10, iss. 02, pp. 1917—1929.

24. Vinogradov E. A., Nikiforov A. V., Kochneva A. A. Computational fluid dynamics study of ventilation flow paths on longwall panel, International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019, vol. 10, iss. 02, pp. 1140—1147.

25. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 78—89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0—78—89.

26. Смирняков В. В., Родионов В. А., Смирнякова В. В., Орлов Ф. А. Влияние формы и размеров пылевых фракций на их распределение и накопление в горных выработках при изменении структуры воздушного потока // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 71-81. DOI: 10.31897/PMI.2022.12.

27. Каледина Н. О., Малашкина В. А. Индикаторная оценка надежности функционирования шахтных вентиляционно-дегазационных систем // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 553-561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8

28. Sidorenko A. A., Dmitriyev P. N., Ivanov V. V. A study of gas drainage methods efficiency in Kotinskaya mine in Russia. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 530-535. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_0220_8125.pdf.

29. Кобылкин А. С. Исследование распределения вредных газов в горных выработках с использованием компьютерного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — №10. — С. 202—207.

30. Гендлер С. Г., Борисовский И. А. Управление аэродинамическими процессами при разработке золоторудных месторождений открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 99—107. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-99-107.

31. Halim A. Ventilation requirements for diesel equipment in underground mines – Are we using the correct values? Proceedings of 16th North American Mine Ventilation Symposium, USA. 2017, pp. 1 – 7.
32. Neol de N. Air Pollution control engineering. McGraw Hill, New York: Technology & Engineering. 2000. – 586 p.
33. US National Research Council. Assessment of Exposure-Response Functions for Rocket-Emission Toxicants. Washington, DC: National Academy Press. – 1998. – 228 p. DOI: 10.17226/6205.
34. American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Threshold Limit Values. Available at: <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>.
35. McGinn S. Controlling diesel emissions in underground mining within an evolving regulatory structure in Canada and the United States of America // Proceedings of Queensland Mining Industry Health and Safety Conference, Australia. 2007. Available at: <https://www.qmihconference.org.au/wp-content/uploads/qmihsc-2007-writtenpaper-mcginn.pdf>.
36. Babu K. V. R., Dias C., Waje S. Technology solutions to meet diesel particulate emission legislation for Euro IV and V in Asia. International conference on emission control technologies: To improve ambient air quality – path forward for India. 2009. pp. 395 – 416.
37. Stinette J. D. Establishing total airflow requirements for underground metal/non-metal mines based on the diesel equipment fleet. MASc thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. – 2013. – 251 p.
38. Haney R. A. Ventilation requirements for modern diesel engines. Proceedings of 14th North American Mine Ventilation Symposium, USA. 2012. pp. 249 – 256.
39. Bugarski A. D., Hummer J. A. Contribution of various types and categories of diesel-powered vehicles to aerosols in an underground mine. Journal of occupational and environmental hygiene. 2020, vol. 17, iss. 4, pp. 121 – 134. DOI: 10.1080/15459624.2020.1718157. **MIAB**

REFERENCES

1. Gornostayev V., Kubrin S. Organization of People and Materials Delivery by Suspended Diesel-Hydraulic Transport in the Mines of JSC «SUEK-Kuzbass». *E3S Web of Conferences*. 2018. vol. 41, 01017, pp. 1 – 4. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101017.
2. Romanchenko S. B., Ciešlik P., Velichkova B., Kosterenko V. N. Modular complex for ensuring emergency-rescue works in mine and mines. *Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry*. 2019, no. 1. pp. 70 – 81. [In Russ].
3. Chebotarjov A. G. Modern working conditions at mining enterprises and ways to normalize them. *Russian Mining Industry*. 2012. no. 2 (102). pp. 84 – 88. [In Russ].
4. Chang P., Xu G. Review of Diesel Particulate Matter Control Methods in Underground Mines. *Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress*. Springer, Singapore, 2019. pp. 461 – 470. DOI: 10.1007/978-981-13-1420-9_39.
5. Lutz E. A., Reed R. J., Lee V. S. T., Jefferey L. Burgess Comparison of personal diesel and biodiesel exhaust exposures in an underground mine. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2017, vol. 14 (7), pp. 102 – 109. DOI: 10.1080/15459624.2017.1285488.
6. Korshunov G. I., Ereemeeva A. M., Drebenstedt C. Justification of the use of a vegetal additive to diesel fuel as a method of protecting underground personnel of coal mines from the impact of harmful emissions of diesel-hydraulic locomotives. *Journal of Mining Institute*, 2021. vol. 247 (1), pp. 39 – 47. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.5. [In Russ].
7. Korshunov G. I., Ereemeeva A. M., Seregin A. S. Justification of reduction in air requirement in ventilation of coal roadways with running diesel engines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(3):47 – 59. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_47. [In Russ].

8. Diesel Emissions Management in Underground Coal Mines. Best Practices and Recommendations. 2019. Available at: https://www.resources.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/1438524/diesel-emissions-mgt-underground-coal-mines.pdf.

9. Burtcher H. Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Aerosol Science*. 2005, vol. 36, pp. 896–932.

10. Saarikoski S., Teinilä K., Timonen H., Aurela M., Laaksovirta T., Reyes F., Vasques Y., Oyola P., Artaxo P., Pennanen S., Juntila S., Linnainmaa M., Salonen R. O., Hillamo R. Particulate matter characteristics, dynamics and sources in an underground mine. *Aerosol Science and Technology*. 2018. vol. 52 (1), pp. 114–122. DOI: 10.1080/02786826.2017.1384788.

11. Peters S., de Klerk N., Reid A., Fritschi L., Musk A. B., Vermeulen R. Quantitative levels of diesel exhaust exposure and the health impact in the contemporary Australian mining industry. *Occupational and Environmental Medicine*. 2017. vol. 74 (4), pp. 282–289. DOI:10.1136/oemed-2016–103808.

12. Hall-Roberts V. J., Hayhurst A. N., Knight D. E., Taylor S. G. The Origin of Soot in Flames: is the Nucleus an Ion. *Combustion and Flame*. 2000, vol. 120, pp. 578–584.

13. Maricq M. M. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Journal of Aerosol Science*. 2007, vol. 38, pp. 1079–1118. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2007.08.001.

14. Gonen A. Ventilation Requirements for Today's Mechanized Underground Metal Mines. *International Journal of Advanced Research in Engineering*. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 7–10, DOI: 10.24178/ijare.2018.4.1.07.

15. Code of Federal Regulations. Limit on Exposure to Diesel Particulate Matter. Available at: www.law.cornell.edu/cfr/text/30/57.5060.

16. 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, pp. 579-588 DOI: 10.14505/jemtv11.3(43).10.

17. Eremeeva A. M., Kondrasheva N. K., Nelkenbaum K. S. Studying the possibility of improving the properties of environmentally friendly diesel fuels. *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues*. 2020, pp. 108–114. DOI: 10.1201/9781003017226–16.

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

19. Grishin E. L., Zaitsev A. V., Kuzminykh E. G. Ensuring Safe Workplace Conditions when Working Equipment with Internal Combustion Engines by Ventilation in Underground Mines. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2020, vol. 20, no. 3, pp. 280–290. [In Russ]. DOI: 10.15593/2712–8008/2020.3.8. [In Russ].

20. Sidorenko A. A., Dmitriev P. N., Sirenko Y. G. Predicting Methane Emissions from Multiple Gas-Bearing Coal Seams to Longwall Goafs at Russian Mines, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021, vol. 16, no. 8, pp. 851-857. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0421_8562.pdf.

21. Balovtsev S. V. Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2-1):5–17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21–05–17. [In Russ].

22. Gendler S. G., Kopachev V. F., Kovshov S. V. Monitoring of compressed air losses in branched air flow networks of mining enterprises. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 3-11. DOI: 10.31897/PMI.2022.8.

23. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V., Pekarchuk D. S., Orlov F. A. Analysis of methane and dust explosions in modern coal mines in Russia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, iss. 02, pp. 1917–1929.

24. Vinogradov E. A., Nikiforov A. V., Kochneva A. A. Computational fluid dynamics study of ventilation flow paths on longwall panel, *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, iss. 02, pp. 1140 – 1147.
25. Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):78 – 89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0 – 78 – 89. [In Russ].
26. Smirnyakov V. V., Rodionov V. A., Smirnyakova V. V., Orlov F. A. The influence of the shape and size of dust fractions on their distribution and accumulation in mine workings when changing the structure of air flow. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 71-81. DOI: 10.31897/PMI.2022.12.
27. Kaledina N. O., Malashkina V. A. Indicator assessment of the reliability of mine ventilation and degassing systems functioning. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 553-561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.
28. Sidorenko A. A., Dmitriyev P. N., Ivanov V. V. A study of gas drainage methods efficiency in Kotinskaya mine in Russia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 530-535. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_0220_8125.pdf.
29. Kobylkin A. S. Analysis of distribution of harmful gases in mine roadways using computer modeling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014;(10):202 – 207. [In Russ].
30. Gendler S. G., Borisovsky I. A. Aerodynamic control in open pit gold mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2):99 – 107. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2021- 2 – 0-99 – 107. [In Russ].
31. Halim A. Ventilation requirements for diesel equipment in underground mines Are we using the correct values? *Proceedings of 16th North American Mine Ventilation Symposium, USA*. 2017, pp. 1 – 7.
32. Neol de N. *Air Pollution control engineering*. McGraw Hill, New York: Technology & Engineering. 2000. 586 p.
33. US National Research Council. *Assessment of Exposure-Response Functions for Rocket-Emission Toxicants*. Washington, DC: National Academy Press. 1998. 228 p. DOI: 10.17226/6205.
34. American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). *Threshold Limit Values*. Available at: <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>.
35. McGinn S. *Controlling diesel emissions in underground mining within an evolving regulatory structure in Canada and the United States of America*. *Proceedings of Queensland Mining Industry Health and Safety Conference, Australia*. 2007. Available at: <https://www.qmihscconference.org.au/wp-content/uploads/qmihsc-2007-writtenpaper-mcginn.pdf>.
36. Babu K. V. R., Dias C., Waje S. Technology solutions to meet diesel particulate emission legislation for Euro IV and V in Asia. *International conference on emission control technologies: To improve ambient air quality path forward for India*. 2009. pp. 395 – 416.
37. Stinette J. D. *Establishing total airflow requirements for underground metal/non-metal mines based on the diesel equipment fleet*. MASC thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 2013. 251 p.
38. Haney R. A. Ventilation requirements for modern diesel engines. *Proceedings of 14th North American Mine Ventilation Symposium, USA*. 2012. pp. 249 – 256.
39. Bugarski A. D., Hummer J. A. Contribution of various types and categories of diesel-powered vehicles to aerosols in an underground mine. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2020, vol. 17, iss. 4, pp. 121 – 134. DOI: 10.1080/15459624.2020.1718157.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Малых Игорь Борисович — начальник управления стратегии и перспективного планирования, АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, д. 1, Россия, e-mail: malykhib@suek.ru;

Корнев Антон Владимирович — канд. техн. наук, заведующий лабораторией, доцент кафедры безопасности производств, <https://orcid.org/0000-0001-6371-9969>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В. О., д. 2, Россия, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru;

Коршунов Геннадий Иванович — докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры безопасности производств, <https://orcid.org/0000-0003-2074-9695>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В. О., д. 2, Россия, e-mail: Korshunov_GI@pers.spmi.ru;

Серёгин Александр Сергеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности производств, <https://orcid.org/0000-0002-2897-8604>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В. О., д. 2, Россия, e-mail: Seregin_AS@pers.spmi.ru.

Для контактов: *Корнев Антон Владимирович*, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Malykh I. B., Head of Strategy and Prospective Planning Department, JSC «SUEK-Kuzbass», 652507, Leninsk-Kuzneckij, Vasil'eva, 1, Russia, e-mail: malykhib@suek.ru;

Kornev A. V., Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory, Associate Professor at the Department of Industrial Safety, <https://orcid.org/0000-0001-6371-9969>, Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, 21st Line, 2, Russia, e-mail: Kornev_AV@pers.spmi.ru;

Korshunov G. I., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor at the Department of Industrial Safety, <https://orcid.org/0000-0003-2074-9695>, Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, 21st Line, 2, Russia, e-mail: Korshunov_GI@pers.spmi.ru;

Seregin A. S., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the Department of Industrial Safety, <https://orcid.org/0000-0002-2897-8604>, Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, 21st Line, 2, Russia, e-mail: Seregin_AS@pers.spmi.ru.

The contact person: *Kornev A. V.*, e-mail: Kornev_AV@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.

