

РАЗРАБОТКА ОСНОВ МЕТОДОЛОГИИ УЧЕТА АЭРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ РАБОТЕ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

С. В. Чмыхалова

Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Представлен ряд преимуществ и основных недостатков самоходных погрузочно-доставочных машин (ПДМ), которые широко используются на угольных шахтах России. Аэрологические риски при работе ПДМ связаны с превышением содержания в выхлопных (отработавших) газах вредных и токсичных компонентов по сравнению с рассчитанным значением, полученным в проектной документации. Разработаны основы методологии учета аэрологических рисков при работе транспортных машин с ДВС, появляющихся при выделении в шахтную атмосферу выхлопных (отработавших) газов от транспортных машин с дизельным приводом (ДВС). Показано влияние надежности на аэрологические риски и методика расчета концентрации отдельных токсичных компонентов отработавших газов и их совокупности (смеси), выраженные в СО-эквиваленте. На аэрологический риск влияют показатели технического риска, зависящего от технического качества конструкции машины: от их качества, заложенного при проектировании, и технологические отклонения от проектной документации при их изготовлении. На аэрологический риск влияют также эксплуатационные риски, связанные с отклонением режимов эксплуатации и обслуживания машин в шахтах, опасных по пыли и газу.

Ключевые слова: шахтная атмосфера, аэрологические риски, транспортные машины, ДВС, выхлопные (отработавшие) газы, надежность технических систем, индекс безопасности токсичных компонентов, индикаторы аэрологических рисков.

Для цитирования: Чмыхалова С. В. Разработка основ методологии учета аэрологических рисков при работе транспортных машин с двигателями внутреннего сгорания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. – С. 74–87. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_74.

Airborn risk assessment in operation of combustion engine-powered haulage machines: Basic guidelines

S. V. Chmykhalova

Mining Institute NUST "MISiS", Moscow, Russia

Abstract: Self-propelled loading and delivery vehicles (PDM) and other vehicles with internal combustion engines (ICE) are widely used in coal mines in Russia. PDMS have a number of advantages, which include: large bucket capacity, small width and height of machines,

the ability to perform several basic and auxiliary operations, the ability to service several faces, etc. The main disadvantages of PDM include the release of exhaust gases containing toxic and carcinogenic substances into the mine atmosphere. The operation of the internal combustion engine is influenced by the state of the mine atmosphere. Aerological risks during the operation of the PDM are associated with an excess of the content of harmful and toxic components in the exhaust (exhaust) gases compared to the calculated value obtained in the project documentation. The purpose of the study is to develop the basics of the methodology for taking into account the aerological risks during the operation of transport vehicles with internal combustion engines, which appear when exhaust (exhaust) gases from diesel-powered transport vehicles (ICE) are released into the mine atmosphere. The influence of reliability on aerological risks and the method of calculating the concentration of individual toxic components of exhaust gases and their aggregates (mixtures), expressed in CO-equivalent, are shown. The aerological risk is affected by the indicators of technical risk, depending on the technical quality of the machine design: on their quality, laid down in the design, and technological deviations from the design documentation during their manufacture. The aerological risk is also affected by operational risks associated with the deviation of the operating and maintenance modes of machines in mines dangerous for dust and gas.

Key words: mine atmosphere, upper-air risks, transport machines, diesel-engine drives, exhaust (exhaust) gases, reliability of technical systems, safety index of toxic components, indicators of upper-air risks.

For citation: Chmykhalova S. V. Airborn risk assessment in operation of combustion engine-powered haulage machines: Basic guidelines . *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10-1):74–87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_74.

Введение

Шахтная атмосфера формируется под воздействием ряда факторов: горно-геологических (природных) и горнотехнических (производственных, технических или технологических). К горно-геологическим факторам, влияющим на состав атмосферы, относятся залегание и свойства горных пород и их изменчивость, газо-выделение из горных пород, процессы окисления, геодинамические процессы [1–3]. Горнотехнические факторы формируются под воздействием работающего горного оборудования, процессов отделения горной массы от массива горных пород (взрывные работы, машинная выемка), погрузки и транспортировки горной массы и др. Основные составляющие шахтной атмосферы – кислород, оксиды азота, диоксид и оксиды углерода, метан,

водород, оксиды серы, пары воды, пыль и др. [1–2].

Шахтная атмосфера является особой производственной средой, призванной обеспечить работу и жизнеспособность человека в условиях обособленной воздушной среды, кислород в которую поступает только с поверхности. Качество шахтной атмосферы регламентируется требованиями ПБ к составу шахтной атмосферы, поэтому на всех этапах жизненного цикла горного производства необходимо иметь информацию о выделении вредностей по источникам с учетом планируемой интенсивности ведения горных работ (прогноз объемов выделения горючих и токсичных газов, угольной и породной пыли) [1–2].

Качество шахтной атмосферы является одним из главных производственных факторов, влияющих

на условия труда рабочих [4]. Учет и снижение загрязняющих веществ в шахтной атмосфере при работе транспортных машин с дизельным двигателем позволит улучшить качество шахтной атмосферы и, тем самым, условия труда на горных производствах [5].

К источникам выделения вредных веществ в шахтную атмосферу относятся машины с дизельным приводом: дизель-возная откатка, локомотивы монорельсовых дорог и, особенно следует выделить, погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и др. Главной задачей транспортных систем является обеспечение надежной, бесперебойной и безопасной работы всех технологических звеньев по добыче и транспортированию полезного ископаемого и людей. В угольных шахтах могут применяться транспортные машины с дизельным приводом, удовлетворяющие требованиям [5–7].

Под аэрологическими рисками от транспортных средств с ДВС будем понимать превышение содержания в выхлопных (отработавших) газах вредных и токсичных компонентов по сравнению со значением, рассчитанным в проектной документации [1, 2, 5–7].

Исследование проведено с целью разработать основы методологии учета аэрологических рисков при работе транспортных машин с ДВС, появляющихся при выделении в шахтную атмосферу выхлопных (отработавших) газов от транспортных машин с дизельным приводом (ДВС).

Формирование критериев оценки аэрологических рисков угольных шахт от дизельных транспортных средств

На угольных шахтах России и многих зарубежных стран широкое распространение получили высокопроиз-

водительные самоходные погрузочно-доставочные машины (ПДМ). ПДМ имеют ряд преимуществ, к которым относятся:

- большая вместимость ковша;
- малые ширина и высота машины;
- способность выполнять несколько основных и вспомогательных операций;
- высокая мобильность машин;
- возможность обслуживать несколько забоев и др.

Дизельные машины могут применяться во всех выработках шахт, опасных по газу и пыли в случае их рудничного взрывозащищенного (РВ) исполнения [6–7].

Аэрологические риски от ДВС связаны со спецификой работы в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом. С одной стороны, на работу машин оказывают влияние факторы производственной среды, а с другой — работа транспортных машин приводит к изменению шахтной атмосферы, что должно учитываться при оценке и анализе аэрологических рисков (рис. 1). К факторам производственной среды, влияющим на работу транспортных средств, относятся высокая запыленность, значительная влажность воздуха, наличие в шахтной атмосфере горючих и токсичных газов и др.

На стадии проектирования необходимо рассчитать (определить) значения ожидаемых средних и максимальных нагрузок на транспортные машины, доставляющие уголь и породу из очистных и подготовительных забоев, учесть возможность совместной работы машин, объем перевозок материалов, оборудования и людей по всем производственным объектам в шахте.

В соответствии с [6] проект шахты, использующей дизельную технику, должен содержать следующие разделы,

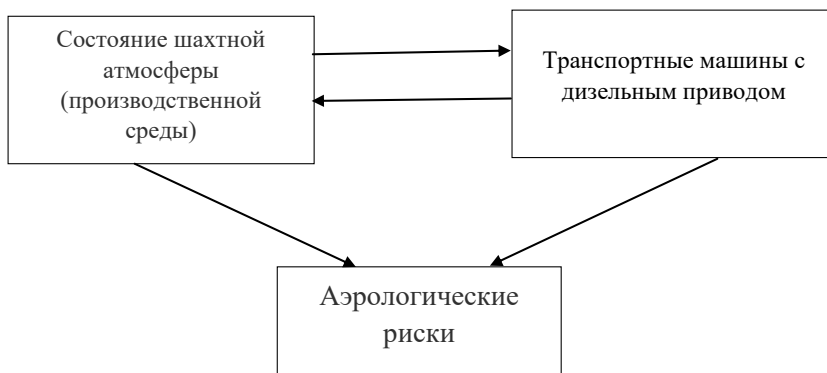


Рис. 1. Аэрологические риски как результат взаимного влияния транспортных машин с ДВС на шахтную атмосферу и состояния шахтной атмосферы на работу ДВС

Fig. 1. Airborn risks as a result of coupled effect of combustion engine-powered haulage machines on mine air and the mine air condition on combustion engine operation

включающие требования безопасности при:

- эксплуатации дизелевозной откатки;
- эксплуатации подвесных монорельсовых дизельных дорог;
- эксплуатации самоходных пневмоколесных дизельных машин;
- обслуживании транспортных машин с дизельным приводом.

На этапе проектирования должны определяться следующие параметры машины:

- параметры конструкции;
- эксплуатационные показатели.

Параметры конструкции машин подразделяют на группы параметров, характеризующих машину в целом, и подгруппы параметров, характеризующих отдельные части машин.

К параметрам машины в целом относятся: номинальная грузоподъемность; номинальная вместимость ковша, м³; эксплуатационная масса, т; габаритные размеры в рабочем и транспортном положениях (длина, ширина машины и ковша, высота, вылет ковша при максимальной высоте разгрузки), мм; эксплуатационная мощность двигателя (нетто), кВт и др. [8].

Параметры отдельных частей машин характеризуют [8]:

- двигатель машины;
- ходовую часть;
- рабочее оборудование и др.

Эксплуатационные показатели: производительность при погрузке и разгрузке, т/мин или м/мин; производительность при транспортировании, т/мин или м/мин; техническая производительность, т/ч или м/ч.

Надежность проектируемой шахтной транспортной системы определяют исходя из технико-экономической целесообразности затрат на обеспечение непосредственно качества оборудования, входящего в систему, например, транспортных машин с дизельным приводом [9–11].

К основным источникам технического риска для транспортных средств с дизельным приводом при проектировании шахты относятся [10]:

- отклонение при изготовлении от заданного химического состава конструкционных материалов;
- недостаточная точность конструкционных размеров;
- нарушение режимов термической и химико-термической обработки деталей и др.

Установлена тесная связь показателей надежности с эффективностью применения машин. С понижением надежности машин снижается эффективность применения машин, т. е. чем больше отказов — тем менее эффективна эксплуатация машин.

Уровень надежности машины должен быть таким, чтобы при ее использовании в любых оговоренных технических условиях (ТУ) ситуация не была отказов. Во многих случаях желательно, чтобы машина имела запас надежности для повышения сопротивляемости экстремальным воздействиям в условиях, не предусмотренных ТУ [9].

Уровень надежности машины можно оценить некоторым коэффициентом K (запас надежности), который характеризует поведение машины в нормальных условиях эксплуатации (предусмотренных ТУ) в сравнении с её поведением в экстремальных ситуациях [6, 7, 10, 11].

При $K < 1$ не обеспечивается необходимая надежность машины и имеется вероятность возникновения отказов, особенно при напряженных режимах работы машины и (или) интенсивном воздействии окружающей среды. При $K = 1$ машина удовлетворяет требованиям надежности, а при $K > 1$ имеется запас надежности для возможности сохранять работоспособность и функционирование при экстремальных ситуациях [10, 11].

Запас надежности необходим для обеспечения работоспособности машины на всем ее жизненном цикле, с учетом её износа при эксплуатации. Износ приводит к постепенному ухудшению технических характеристик машины, в том числе к неполному сгоранию топлива и увеличению вредных и токсичных компонентов выхлопных газов. Надежность транспортного средства включает два важных аспекта:

надежность конструкции и надежность таких эксплуатационных параметров, как состав выхлопных газов, влияющих на состав шахтной атмосферы, и др.

Более трудной и до сих пор не решенной комплексной ресурсно-экологической задачей является определение расходов топлива и воздуха и выбросов отработавших газов двигателем транспортного средства в циклическом перевозочном процессе в зависимости от режимов ее эксплуатации.

Определение расходов топлива и воздуха в зависимости от режимов ее эксплуатации рассматриваются в [5, 8].

В данном исследовании разработана модель определения токсикологических показателей отработавших газов.

Отработавшие газы автомобильных двигателей имеют в своем составе как нейтральные вещества, так и вещества, вредные для человека — токсичные и канцерогенные. К нейтральным компонентам относятся азот, кислород, водяной пар, в токсичным — оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, сажа, к канцерогенным — бенз(а)пирен.

В шахтной атмосфере в действующих подземных выработках при работе дизелевозов в нормативных документах определены предельно допустимые концентрации ядовитых газов, к которым относятся оксид углерода CO , оксиды азота (в пересчете на NO_2), диоксид азота NO , сернистый ангидрид SO_2 , сероводород H_2S . В выхлопных газах регламентируется содержание оксида углерода и оксидов азота [6].

Переход от весовых показателей, характеризующих выброс отработавших газов транспортными средствами в шахтную атмосферу, к объемным показателям может быть выполнен с учетом следующих положений.

Отработавшие газы после выброса в атмосферу смешиваются с шахтным

воздухом, в результате чего их давление и температура становятся такими же, как и у шахтной атмосферы. С достаточной для практических расчетов точностью можно принять, что плотность отработавших газов $\rho_{o.g}$ будет в этом случае равной плотности окружающего воздуха:

$$\rho_{o.g} \approx \rho_{o.v} \approx 1,2...1,3, \text{ кг/м}^3. \quad (1)$$

Для пересчета весового выброса отработавших газов $G_{o.g}$ в объемный $V_{o.g}$ может быть использована формула:

$$V_{o.g} = G_{o.g} / \rho_{o.g}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2)$$

Разделив суммарный часовой выброс в атмосферу токсичных компонентов отработавших газов $G_{т.к}$ в г/ч и часовые выбросы каждого токсичного вещества в отдельности $G_{i, т.к}$ в г/ч на часовой объемный выброс отработавших газов $V_{o.g}$ в м³/ч, получим значения суммарной концентрации токсичных компонентов в отработавших газах $C_{т.к}$ в г/м³ перед смешиванием отработавших газов с шахтной атмосферой. Формулы, рекомендуемые для расчета концентраций токсичных веществ в отработавших газах в мг/м³ при этих допущениях, запишем как:

$$G_{т.к} = 10^3 \frac{G_{i, т.к}}{V_{o.g}}, \text{ мг/м}^3, \quad (3)$$

$$G_{i, т.к} = 10^3 \frac{G_{i, т.к}}{V_{o.g}}, \text{ мг/м}^3, \quad (4)$$

где i — номер токсичного компонента отработавших газов.

Отработавшие газы ДВС содержат несколько вредных компонентов. Определение предельно допустимых концентраций при выделении в шахтную атмосферу нескольких вредных и токсичных веществ является очередной задачей данного исследования.

Для решения этой задачи необходимо привести токсиканты отработавших газов по вредности их для человека к сопоставимому виду. Это можно сделать путем сравнения предельно допустимых концентраций каждого токсиканта отработавших газов с предельно допустимой концентрацией токсичного вещества, принятого за эталон. В качестве такого эталона обычно принимают оксид углерода, он принадлежит к группе основных по количеству токсичных компонентов отработавших газов (табл. 1), и его воздействие на организм человека изучено достаточно глубоко [5, 8].

Степень загрязнения шахтной атмосферы токсичными веществами характеризуется их концентрацией в воздушной среде — количеством (массой) токсич-

Таблица 1

Количество токсичных компонентов отработавших газов автомобильных двигателей, образующихся при сгорании 1 кг дизельного топлива, г т.к./кг т [8]
Toxic components in spent gas of vehicle engines per 1 kg diesel fuel

Токсичные компоненты отработавших газов	Количество, г т.к./кг т	Долевые коэффициенты
Оксид углерода	20... 30 (25)	0,3
Углеводороды	4... 10 (7)	0,08
Оксиды азота	20... 40 (30)	0,34
Оксиды серы	10... 30 (20)	0,23
Альдегиды	0,8... 1,2	0,01
Сажа	3... 5 (4)	0,05
Всего	80... 100(87)	1,0

Примечание: в скобках указаны средние значения весовых показателей.

ных веществ (токсикантов), содержащихся в единице объема атмосферного воздуха. Концентрацию токсикантов в атмосфере измеряют обычно в мг/м³.

Концентрации отдельных токсичных компонентов отработавших газов и их совокупности (смеси), выраженные в СО-эквиваленте, рассчитываются по формулам:

$$C_{i_{т.к.СО}} = C_{i_{т.к}} \frac{[ПДК]_{СО}}{[ПДК]}, \text{ мг/м}^3, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C_{т.к.СО} &= \sum_{i=1}^j C_{i_{т.к}} \frac{[ПДК]_{СО}}{[ПДК]} = \\ &= \sum_{i=1}^j C_{i_{т.к.СО}}, \text{ мг/м}^3, \quad (6) \end{aligned}$$

где $C_{т.к.СО}$ — концентрации смеси токсичных компонентов отработавших газов, выраженная в СО-эквиваленте, мг/м³; $C_{i_{т.к.СО}}$ — концентрация i -го токсичного компонента отработавших газов, выраженная в СО-эквиваленте, мг/м³; $[ПДК]_{СО}$ — предельно допустимая концентрация СО в атмосферном воздухе, мг/м³; $[ПДК]_i$ — предельно допустимая концентрация i -го токсичного компонента отработавших газов в атмосферном воздухе, мг/м³; J — количество токсичных компонентов в отработавших газах.

Выброс отработавших газов будет безопасным для людей, находящихся в загрязненной атмосфере, при выполнении условия:

$$C_{т.к.СО_{атм}} [ПДК]_{СО}, \text{ г/м}^3. \quad (7)$$

Разделив правую и левую части неравенства (7) на $[ПДК]_{СО}$, получим математическое выражение условия токсикологической безопасности отработавших газов в другом виде:

$$I_{т.к} = \frac{C_{т.к.СО_{атм}}}{[ПДК]_{СО}} \leq 1, \quad (8)$$

где $I_{т.к}$ — суммарный индекс безопасности токсичных компонентов отработавших газов.

Фактическая концентрация токсикантов отработавших газов в каждой точке окружающего пространства после смешивания их с шахтным воздухом зависит от интенсивности поступления вредных веществ в шахтную атмосферу, параметров шахтной вентиляции и др.

На стадии проектирования могут применяться статические (эталонные) методы анализа риска, учитывающие уровень технической надежности транспортных машин с дизельным приводом, организацию технического обслуживания и ремонта транспортных средств, организацию способов заправки транспортных средств топливом и др., а также горно-геологическую (природную) и горно-технологическую (техническую, технологическую) уязвимость и уровень газовой опасности.

На рис. 2 рассмотрены основные аэрологические риски, связанные с эксплуатацией дизельного транспортного средства.

Основными критериями, характеризующими работу вентиляционной системы при эксплуатации дизельного транспорта, являются требования ПБ к поддержанию содержания токсичных (ядовитых) элементов на уровне ПДК [6, 7].

Основные требования к вентиляции угольных шахт при работе дизельных машин даны в [6, 7]. В соответствии с основными требованиями к вентиляции разработаны основные причины нарушения требований к шахтной атмосфере и индикаторы аэрологических рисков, которые сведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что превышение содержания загрязняющих веществ в выхлопных газах может произойти из-за эксплуатации машин в режимах более интенсивного использования транспортных машин, чем это было рассчитано в проектной документации,

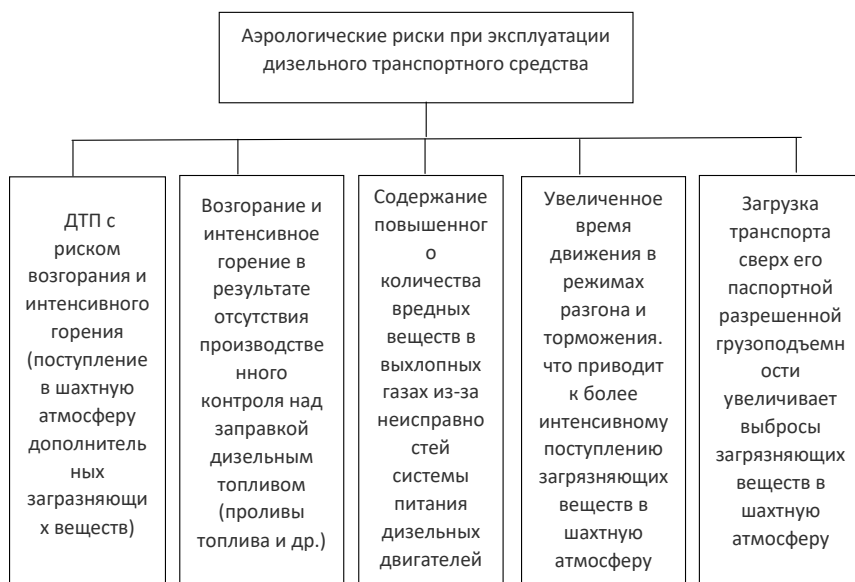


Рис. 2. Составляющие аэрологического риска при эксплуатации транспортного средства
Fig. 2. Airborn risk components in operation of transportation vehicle

Таблица 2

Индикаторы аэрологических рисков в выработках, в которых работают дизельные машины

Airborn risks indicators in roadways serviced by diesel machines

Факторы эксплуатации	Нарушение требований к шахтной атмосфере	Требования к вентиляции	Индикатор аэрологического риска
Перегрузка двигателя, когда в двигатель поступает слишком много топлива из топливного бака и не происходит полного сгорания топлива (черный дым)	Превышение концентраций в результате неисправности системы питания дизельных двигателей	В рудничной атмосфере в действующих подземных выработках при работе транспортных машин с ДВС рекомендуется поддерживать содержание ядовитых газов не более предельно допустимых концентраций	Индикатор приращения содержания ядовитых газов из-за неисправности системы питания дизельных двигателей
Двигатель работает в режиме неполного сгорания топлива (черный или голубой дым) из-за недостаточного количества кислорода, поступающего в ДВС	Неисправности в системе подачи воздуха в выработки, по которым проходят маршруты движения транспорта с ДВС	В выработки, по которым проходят маршруты движения дизелевозов, рекомендуется подавать воздух в количестве, обеспечивающем разбавление вредных компонентов выхлопных газов до ПДК. Для выработок протяженностью не более 30 м, в которых установлены перемычки с дверями, вместо расчетного	Индикатор приращения содержания ядовитых газов из-за неисправности в системе вентиляции выработок, по которым проходят маршруты транспортных средств

Окончание табл. 2

Факторы эксплуатации	Нарушение требований к шахтной атмосфере	Требования к вентиляции	Индикатор аэрологического риска
		воздуха по дизельному транспорту рекомендуется расход воздуха определять с учетом утечек в соответствии с действующими нормативными документами по вентиляции угольных шахт	
Используется топливо и рабочие жидкости, не соответствующие требованиям	В неразбавленных выхлопных газах после газоочистки концентрация оксида углерода и оксида азота больше разрешенной	Допускается эксплуатация дизельных двигателей, в неразбавленных выхлопных газах которых после газоочистки концентрация оксида углерода не более 0,08% (800 ppm) и оксидов азота в пересчете на — 0,07% (700 ppm) по объему	Индикатор превышения концентрации выхлопных газов дизелевоза из-за плохого качества топлива
Двигатель работает в режиме неполного сгорания топлива (черный или голубой дым)	В неразбавленных выхлопных газах после газоочистки концентрация оксида углерода и оксида азота больше разрешенной	Допускается эксплуатация дизельных двигателей, в неразбавленных выхлопных газах которых после газоочистки концентрация оксида углерода не более 0,08% (800 ppm) и оксидов азота в пересчете на — 0,07% (700 ppm) по объему	Индикатор превышения содержания ядовитых веществ в шахтной атмосфере из-за некачественного ТО и ТР
Применяется большее количество машин, чем указано в проектной документации, или машины с большей грузоподъемностью	Расчетное количество расхода воздуха для разжижения выхлопных газов выше, чем при работе расчетного числа машин	Последующая проверка достаточности расхода воздуха для разжижения выхлопных газов проводится путем отбора и анализа проб воздуха в атмосфере выработок в период работы расчетного числа машин	Индикатор превышения содержания ядовитых газов из-за превышения числа машин или их рассчитанной грузоподъемности
Прочие эксплуатационные издержки транспорта с ДВС			Индикатор превышения содержания ядовитых веществ в выхлопных газах из-за эксплуатации машин, несоответствующих проектной документации или некачественное исполнение машин при их производстве

или их несвоевременном или некачественном обслуживании.

На стадии эксплуатации рекомендуется решать следующие задачи анализа риска аварий транспортных средств с дизельным приводом:

- проведение мониторинга степени аварийной опасности и оценки эффективности мер по снижению риска аварий на шахте;
- организация безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом;
- совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию транспортных машин с дизельным приводом;
- разработку планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий транспортных машин на шахте.

Источники и факторы технического риска при эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом приведены в табл. 3.

На стадии эксплуатации шахты целесообразно применять динамический метод расчета (по данным текущего мониторинга).

На стадии закрытия (ликвидации) шахты необходимо решать те же задачи, что и на стадии эксплуатации.

Формирование опасных и чрезвычайных ситуаций — результат определенной совокупности факторов риска, порождаемых соответствующими источниками, основывается на теории надежности работы транспортных систем [5, 8, 11].

Транспортная система шахты, состоящая из отдельных транспортных машин с ДВС, является объектом аэрологического риска для шахтной атмосферы, источником риска — техническое несовершенство, нарушение правил эксплуатации технических систем, нежелательным событием — авария, взрыв, катастрофа, пожар, разрушение.

Технический риск — комплексный показатель надежности транспортных машин. Он оценивает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации транспортных машин [5, 11]:

$$R_T = \Delta T(t) / T(f), \quad (9)$$

где R_T — технический риск; $\Delta T(t)$ — число аварий в единицу времени t на транспортных машинах с ДВС;

Таблица 3

Источники и факторы технического риска при эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом

Sources and factors of technical risks in operation of diesel-driven transportation vehicles

Индикаторы риска	Источники и факторы технического риска при эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом
Нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем	Использование техники не по назначению. Нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации. Несвоевременные профилактические осмотры и ремонты. Нарушение правил транспортирования и хранения.
Ошибки персонала	Слабые навыки действия в сложной ситуации. Неумение оценивать информацию о состоянии процесса. Слабое знание сущности происхождения процесса. Отсутствие самообладания в условиях стресса. Недисциплинированность.
Изменчивость горно-геологических условий горного производства	Изменчивость свойств горных пород, горно-технологическая надежность (уязвимость), динамика газовыделения из горных пород, изменения состава выхлопных газов, расходов воздуха, организационные риски и др.

T – число идентичных транспортных машин, подверженных общему фактору риска f .

Состояние транспортных машин можно охарактеризовать как исправность, неисправность, работоспособность, неработоспособность.

Первый шаг к ликвидации опасностей состоит в выявлении опасностей, т. е. в их идентификации. Специалист должен определить потенциальные источники опасности, которые могли и не вызвать аварий до сих пор; выявить опасности, которые маловероятны, но которые могут привести к серьезным последствиям; устранить из рассмотрения опасности, которые практически неосуществимы.

Оценивание каждой опасности включает изучение вероятности ее появления, серьезности травм персонала, повреждения систем, выработок и прочих компонентов производства, а также экологического ущерба, к которому может привести авария. Опасности должны быть сравнимы, это необходимо для их ранжирования. Для успешного анализа опасностей необходимо провести и изучение контрмер по отношению к каждой из опасностей, что добавляет еще одно направление при проведении анализа, так как в последующем принимаемые решения будут связаны с компромиссами среди альтернативных решений.

Чтобы способы обеспечения безопасности стали реальностью, необходимо использовать определенные процедуры или отдельные действия:

- идентификация опасностей;
- логические процедуры формулирования предупредительных мероприятий (контрмер);
- выбор наиболее оптимального решения для внедрения.

Риск-ориентированный подход подразумевает повышение ответственности производства, усиление роли

в этом процессе работников и управляющих производства, их обучения и их мотивации на заблаговременное предотвращение опасных производственных ситуаций, связанных с аэрологическими рисками, в том числе эксплуатацией и обслуживанием ПДМ [1, 5, 11 – 15].

Заключение

Транспортные машины с двигателями внутреннего сгорания загрязняют шахтную атмосферу токсичными и канцерогенными газами, а также состояние шахтной атмосферы влияет на работу транспортных машин с ДВС, т. к. при недостатке кислорода в шахтной атмосфере происходит неполное сгорание топлива и больше выбрасывается токсичных веществ.

Для оценки аэрологического риска угольных шахт при использовании транспортных машин с ДВС применен системный подход, который позволяет комплексно проанализировать причины и факторы аэрологического риска.

На аэрологический риск влияют показатели технического риска, зависящего от технического качества конструкции машины. К основным источникам технического риска для транспортных средств с дизельным приводом при проектировании шахты относятся отклонения от качества транспортных машин при изготовлении, от качества машин при их проектировании. Также на аэрологический риск влияют эксплуатационные риски, связанные с отклонением режимов эксплуатации и обслуживания машин, в том числе отличающихся от правил эксплуатации в шахтах, опасных по пыли и газу.

Разработанная методика определения концентрации загрязняющих веществ в шахтной атмосфере при работе ДВС позволяет учесть

состав выхлопных газов ДВС на стадии проектирования.

Превышение содержания вредных веществ в выхлопных газах может произойти из-за эксплуатации машин в режимах более интенсивного использования транспортных машин, чем это было рассчитано в проектной документации, или их несвоевременного или некачественного обслуживания.

Технический риск использования транспортных машин является функцией числа аварий в единицу времени t на транспортных машинах с ДВС число идентичных транспортных машин, подверженных общему фактору риска f .

На аэрологический риск влияют показатели технического риска, зависящего от технического качества кон-

струкции машины: от их качества, заложенного при проектировании, и технологические отклонения от проектной документации при их изготовлении. На аэрологический риск влияют также эксплуатационные риски, связанные с отклонением режимов эксплуатации и обслуживания машин в шахтах опасных по пыли и газу. Установление причин возникновения аэрологического риска и их оценка являются основой для разработки методологии учета аэрологических рисков при работе транспортных машин с ДВС.

Риск-ориентированный подход подразумевает повышение ответственности производства, усиление роли в этом процессе работников и управляющих производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каледина Н. О. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 5–14. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–61–0-5–14.
2. Чмыхалова С. В. Системный подход к оценке риска, способствующий предотвращению потерь и повышению безопасности горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 146–153. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–61–0-146–153.
3. Batugin, A. (2021). A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics*, 12(1), 21–30. doi:10.1016/j.geog.2020.10.002
4. Малашкина В. А. Мониторинг эффективности системы дегазации угольной шахты — основа безопасного труда горнорабочих // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 38–45. DOI: 10.25018/0236–1493–202061–0-38–45.
5. Чмыхалова С. В. Об учете работы транспортных машин с дизельным приводом при проектировании вентиляции в угольных шахтах. Горный журнал. 2018, (3), С. 67–71 DOI 10.17580/gzh.2018.03.11
6. Руководство по безопасности «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 января 2016 г. N 7)
7. Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах РД 05–312–99. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 30.09.99 №7, <https://docs.cntd.ru/document/1200029862>. Дата обращения 30.05.2021
8. Чмыхалова С. В. Моделирование ресурсно-экологических параметров карьерного транспорта. Горный журнал № 12, 2007 г. с. 97–100
9. Лукьянов В. Г. Горные машины и проведение горно-разведочных выработок: учебник / В. Г. Лукьянов, В. Г. Крец. Национальный исследовательский Томский поли-

технический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 342 с. ISBN 978—5-98298—574—3.


10. Акимов В. А., Лапин В. Л., Попов В. М., Пучков В. А., Томаков В. И., Фалеев М. И. Надежность технических систем и техногенный риск. — ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 — 368 с.

11. ГОСТ Р 55153—2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Оборудование горно-шахтное. Машины погрузочно-доставочные шахтные. Требования безопасности и методы испытаний. Дата введения 2014—01—01.

12. Tubis A., Węrbinska-Wojciechowska S., Wroblewski A. Risk Assessment Methods in Mining Industry — A Systematic Review. *Appl. Sci.* 2020, 10, 5172; doi:10.3390/app10155172

13. Domínguez N., Rodríguez J., Jara J., Raymundo C. Occupational health and safety maturity model to manage the surface mining operations WMSCI 2019 — 23rd World Multi Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando; United States 6—9 July. Proceedings Volume 4, 2019, pp. 17—20.

14. Zhang J., Xu K., You G., Wang B., Zhao L. Causation analysis of risk coupling of gas explosion accident in Chinese underground coal mines // *Risk Analysis*. 2019. Vol. 39. No 7. Pp. 1634—1646. DOI: 10.1111/risa.13311.

15. Pence J., Sakurahara T., Zhu X., Mohaghegh Z., Ertem M., Ostroff C., Kee E. Data theoretic methodology and computational platform to quantify organizational factors in socio-technical risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 185, May 2019, pp. 240—260 

REFERENCES

1. Kaledina N. O. Risk-based approach to keep mining industrial safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 6—1. pp. 5—14. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—61—05—14. [In Russ]

2. Chmyhalova S. V. Loss prevention and safety improvement in the mining industry: main directions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 6—1. pp. 146—153. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—61—0-146—153. [In Russ]

3. Batugin, A. (2021). A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics*, 12(1), 21—30. doi:10.1016/j.geog.2020.10.002.

4. Malashkina V. A. Monitoring the effectiveness of the coal mine degassing system—the basis for safe work of miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 6—1. pp. 38—45. DOI: 10.25018/0236—1493—202061—0-38—45. [In Russ]

5. Chmyhalova S. V. Ventilation planning and design in coal mines, considering operation of transport machines with diesel-engine drives. *Gornyj zhurnal*. 2018, (3), pp. 67—71 DOI 10.17580/gzh.2018.03.11 [In Russ]

6. *Rukovodstvo po bezopasnosti «Rekomendacii po ispol'zovaniyu v ugol'nyh shahtah transportnyh mashin s dizel'nyh privodom» (utv. prikazom Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 12 yanvarya 2016 g. N 7)* [Safety Manual “Recommendations for the use of transport vehicles with diesel-engine drives in coal mines” (approved by the Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of January 12, 2016 N 7)] [In Russ]

7. *Tekhnicheskie trebovaniya po bezopasnoj ekspluatatsii transportnyh mashin s dizel'nyh privodom v ugol'nyh shahtah RD 05—312—99. Utverzhdeny postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 30.09.99 no.7* [Technical requirements for the safe operation of transport vehicles with diesel-engine drives in coal mines RD 05—312—99. Approved by the resolution of Gosgortekhnadzor of Russia of 30.09.99 no. 7], <https://docs.cntd.ru/document/1200029862>. Data obrashcheniya 30.05.2021 [In Russ]

8. Chmyhalova S. V. Simulation of resource ecological parameters of quarry automotive transport. *Gornyj zhurnal*. no. 12, 2007. pp. 97–100 [In Russ]
9. Luk'yanov V. G., Krec V. G. Mining machines and mining exploration workings: textbook. *Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010. 342 p. ISBN 978–5-98298–574–3. [In Russ]
10. Akimov V. A., Lapin V. L., Popov V. M., Puchkov V. A., Tomakov V. I., Faleev M. I. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk* [Reliability of technical systems and technogenic risk]. ZAO FID «Delovoj ekspress», 2002. 368 p. [In Russ]
11. *GOST R 55153–2012*. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Oborudovanie gorno-shahtnoe. Mashiny pogruchno-dostavochnye shahtnye. Trebovaniya bezopasnosti i metody ispytaniy. Data vvedeniya 2014–01–01. [In Russ]
12. Tubis A., Werbinska-Wojciechowska S., Wroblewski A. Risk Assessment Methods in Mining Industry A Systematic Review. *Appl. Sci.* 2020, 10, 5172; doi:10.3390/app10155172.
13. Domínguez N., Rodríguez J., Jara J., Raymundo C. Occupational health and safety maturity model to manage the surface mining operations WMSCI 2019 23rd World Multi Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando; United States 6–9 July. Proceedings. Vol. 4, 2019, pp. 17–20.
14. Zhang J., Xu K., You G., Wang B., Zhao L. Causation analysis of risk coupling of gas explosion accident in Chinese underground coal mines. *Risk Analysis*. 2019. Vol. 39. no. 7. pp. 1634–1646. DOI: 10.1111/risa.13311.
15. Pence J., Sakurahara T., Zhu X., Mohaghegh Z., Ertem M., Ostroff C., Kee E. Data theoretic methodology and computational platform to quantify organizational factors in socio-technical risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 185, May 2019, pp. 240–260.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чмыхалова Светлана Валерьевна — канд. техн. наук, доцент, доцент Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», e-mail: tchmy@mail.ru, Москва, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Chmykhalova S. V., Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, tchmy@mail.ru, National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 30.06.2021; получена после рецензии 31.08.2021; принята к печати 10.09.2021.

Received by the editors 30.06.2021; received after the review 31.08.2021; accepted for printing 10.09.2021.

