

КРИТЕРИИ ОПАСНОСТИ И УЯЗВИМОСТИ В СТРУКТУРЕ РАНГОВ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С.В. Баловцев¹, О.В. Скопинцева¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: balovcev@yandex.ru

Аннотация: На основе риск-ориентированного подхода выстроена методология оценки аэрологических рисков по рангам, охватывающим как шахту в целом, так и отдельные ее части. Определены критерии опасности и уязвимости в структуре аэрологических рисков и распределены по рангам. К основным критериям для установления степени опасности горно-геологических условий отнесены величины: метаноносности пластов, относительной метанообильности шахт, пылеобразующей способности пластов, содержания тяжелых углеводородов в остаточных газах пластов, геотермической ступени в угольных месторождениях. К основным критериям для установления степени уязвимости вентиляции отнесены: величина депрессии шахты и магистральных штреков, резерв по воздуху главной вентиляционной установки, степень устойчивости проветривания и устойчивости совместной работы главных вентиляционных установок, степень разбавления вредностей по источникам поступления, степень влияния направления движения свежей и исходящей струй на утечки воздуха, степень влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне, степень влияния зоны отброса газов на проветривание подготовительной выработки и др. Представленная методология позволяет осуществлять прогнозирование и снижение аэрологических рисков при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт.

Ключевые слова: угольная шахта, методология обеспечения аэрологической безопасности, иерархическая структура рисков, ранги аэрологических рисков, метан, угольная пыль, критерии опасности, уязвимость схем вентиляции.

Для цитирования: Баловцев С. В., Скопинцева О. В. Критерии опасности и уязвимости в структуре рангов аэрологических рисков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №10. – С.153–165. DOI:10.25018/0236_1493_2022_10_0_153.

Hazard and vulnerability criteria in the rank structure of aerological risks in coal mines

S.V. Balovtsev¹, O.V. Skopintseva¹

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: balovcev@yandex.ru

Abstract: Based on the risk-oriented approach, the methodology for assessing the aerological risks by ranks embracing the whole mine and its separate parts is constructed. The hazard and vulnerability criteria are defined and ranked in the structure of aerological risks. The key criteria of geological hazards are: methane content of coal seams, relative methane content of mine

air, dust producibility of coal seams, content of heavy hydrocarbons in residue gases in coal seams and geothermal stage in coal deposits. The key criteria of ventilation vulnerability are depression in mine and in main drifts, air reserve of a main fan, ventilation stability and joint operation stability of main fans, hazard attenuation rate per sources, influence of fresh and return air flow direction on air leakage, influence of gas intermix activity in face zone, influence of gas kick zone on ventilation of a gateway, etc. The described methodology enables prediction and reduction of aerological risks at the stages of coal mine planning and design, operation, closure and abandonment.

Key words: coal mine, aerological safety methodology, risk hierarchy, aerological risk ranks, methane, coal dust, hazard criteria, ventilation circuit vulnerability.

For citation: Balovtsev S. V., Skopintseva O. V. Hazard and vulnerability criteria in the rank structure of aerological risks in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(10):153-165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_153.

Введение

Ретроспективный анализ динамики взрывов метана за период с 1955 по 1990 гг. показывает, что частота взрывов в Карагандинском и Печорском бассейнах снижалась, в Донецком бассейне после снижения незначительно повышалась (на 16%), а в Кузнецком бассейне за период с 1973 по 1990 гг. частота взрывов почти в четыре раза повысилась по сравнению с периодом 1966–1972 гг. [1, 2]. Наиболее катастрофическими последствиями характеризуются взрывы газа и пыли. Несмотря на применяемый на шахтах комплекс мероприятий газового и пылевого режимов, количество взрывов газа и пыли в Кузнецком бассейне за последние 30 лет имеет тенденцию к некоторому росту [3, 4]. Уровень травматизма и профессиональной заболеваемости в Кузбассе (за последние несколько десятков лет) остается превышающим средний показатель по Российской Федерации в 2 раза и более [5].

Кузнецкий бассейн является основным поставщиком угля в России. Наиболее производительные шахты России находятся в Кузнецком бассейне: ПЕ «Шахта им. В.Д. Явлевского» АО «СУЭК Кузбасс» (годовая добыча угля 8,5 млн т),

ПЕ «Шахта им. А.Д. Рубана» АО «СУЭК Кузбасс» (6,5 млн т), ПЕ «Шахта им. С.М. Кирова» АО «СУЭК Кузбасс» (5,4 млн т) [6, 7]. В целом по шахтам России все угольные пласты являются опасными хотя бы по одному фактору (высокая метаноносность; суфлярные выделения; внезапные выбросы угля, породы, газа; горные удары; самовозгорание; опасные по взрывам пыли и др.), и большинство пластов опасны по одному и более факторам одновременно.

Данные утверждения приводятся с целью показать сложность решения задачи обеспечения аэрологической безопасности угольных шахт, так как условия отработки пластов заведомо опасные (увеличение метаноносности, температуры горных пород, увеличение пылеобразующей способности пластов вследствие уменьшения их влажности из-за роста температур пород, рост горного давления и др.). Ухудшение горно-геологических условий усугубляется горно-техническими и технологическими — ростом концентрации и интенсификации горных работ [8, 9] с дальнейшим увеличением метанообильности шахт и участков, скорости продвижения забоев, энерговооруженности шахт и др.

При построении методологии обеспечения аэрологической безопасности угольных шахт использован риск-ориентированный подход [10, 11], так как добыча угля подземным способом осуществляется в заведомо неблагоприятных условиях горного производства, характеризующихся, во-первых, высокой степенью опасности и вредности природных факторов по отношению к человеку, во-вторых, технологической спецификой, проявляющейся в непостоянстве рабочего места и нестационарности шахты как технологической системы.

Методология оценки аэрологических рисков

Применительно к угольной шахте понятия «опасность» и «риск» относятся к возможным влияниям на функционирование шахты и ее реакции на эти влияния («уязвимость»). Риск возникает только в области пересечения опасности с объектом, например, с горными выработками (выработанным пространством, угольным массивом и др.) в пределах участка, крыла или шахты в целом. Если такие области пересечения опасности с объектом отсутствуют, то и риски отсутствуют.

Поскольку все объекты угольной шахты находятся в зоне действия горно-геологических и горнотехнических опасностей [12, 13], то для них существуют риски не суметь противодействовать этим опасностям [14, 15]. Риск-ориентированный подход применительно к вопросам аэрологической безопасности связан с анализом, оценкой и уменьшением риска аварий, которые могут произойти из-за несоответствия параметров шахтной атмосферы их нормативным значениям вследствие уязвимости схем, способов и средств вентиляции. Такие риски носят название аэрологических, и чем они ниже, тем выше аэрологическая безопасность угольных шахт.

По степени последствий реализации аэрологических рисков последние подразделяются на три ранга (I, II, III) с иерархической структурой, представленной в предыдущих работах авторов. Аэрологические риски I ранга охватывают всю шахту, аэрологические риски II ранга охватывают пласты, крылья, залежи; аэрологические риски III ранга охватывают отдельные добычные или подготовительные участки. Наиболее опасны риски I ранга, однако вероятность их реализации весьма мала по сравнению с рисками III ранга, но виды аварий этого ранга (взрывы газа и пыли) являются наиболее распространенными на шахтах.

Математически аэрологический риск выражает вероятностную меру опасности возникновения аварий, реализуемой для схемы вентиляции определенной уязвимости, из-за неудовлетворительного состава шахтной атмосферы. Рассмотрим основные виды опасных горно-геологических и горнотехнических процессов, провоцирующих отказы вентиляции, и основные виды уязвимости схем и способов вентиляции.

Основным барьером для угольных шахт был и остается газовый вентиляционный барьер [16 – 18]. В настоящее время вследствие значительной глубины горных работ и большой нагрузки на очистные забои в угольных шахтах выделяется большое количество метана (среднее значение абсолютной метанообильности по отрасли составляет 60,5 м³/мин, достигая в ПАО «Распадская» 251 м³/мин; среднее значение относительной метанообильности по отрасли составляет 20,2 м³/т, достигая в СП «Шахта Воркутинская» 108,35 м³/т) [1, 2]. Традиционные способы вентиляции с таким количеством газа уже не справляются, так как необходимо подавать большой объем воздуха для разбавления метана, что невозможно из-за

превышения скоростей движения воздуха по выработкам [19, 20]. В таких случаях необходимо проводить дегазацию пластов и организовывать работу вентиляционно-дегазационных систем, но даже они не могут предотвратить местные и слоевые скопления метана, так называемые аэрологические риски III ранга.

Наиболее частые виды аварий в угольных шахтах — это взрывы газа и пыли [2, 21, 22], поэтому газовый и пылевой факторы являются основными видами опасных факторов, сопровождающих угледобычу. В табл. 1 приведены показатели и критерии опасности горно-геологических факторов, на фоне которых формируются и развиваются аэрологические риски всех обозначенных выше рангов. Это так называемые фоновые факторы риска, которые усугубляются системными факторами аэрологического риска, такими как горнотехнические условия (газообильность шахты, нагрузка на очистной забой, скорость продвижения очистного забоя и др.).

Основным средством борьбы с проявлениями как фоновых, так и системных факторов в реализации аэрологических рисков всех рангов, является вентиляция [23—25]. Однако в силу нестационарности протекания горно-геологических процессов могут возникать условия, при которых схемы и способы вентиляции будут иметь недостатки в проветривании, которые мы обозначим их уязвимостью, отражающейся на вентиляции шахты в целом, отдельных ее участках, подготовительных выработках и др. Для устранения уязвимости схем и способов вентиляции и снижения таким образом аэрологических рисков используются дегазация, газодренаж, газоотсасывающие установки, предварительное увлажнение пластов, обеспыливание воздуха и горных выработок и др. [26, 27], что нашло отражение в работах авторов

при расчете прогнозных значений аэрологических рисков.

Следует более подробно прокомментировать такой показатель опасности (табл. 1), как наличие тяжелых углеводородов в остаточных газах углей. Результаты опытов Е.С. Розанцева и Н.П. Таран показали, что выбросоопасные пласты содержат тяжелые углеводороды от и более $0,01 \text{ м}^3/\text{т}$ горючей массы. Дальнейшими исследованиями авторов установлено, что в остаточных газах угля пласта Е-1 содержится тяжелых углеводородов $0,025 \text{ м}^3/\text{т}$, для пласта Е-5 это значение равно $0,013 \text{ м}^3/\text{т}$, для угольной пыли этого же пласта Е-5 это значение больше и равно $0,018 \text{ м}^3/\text{т}$ [28]. Наличие азота и диоксида углерода (балластных газов) не обеспечивает пожаровзрывобезопасность, если содержание тяжелых углеводородов в остаточных газах углей более 20%. Температура воспламенения тяжелых углеводородов значительно меньше температуры воспламенения метана, поэтому при высоких нагрузках на очистной забой в атмосферу выработок могут поступать значительные концентрации тяжелых углеводородов, что может явиться спусковым механизмом для воспламенения и взрыва метана и угольной пыли.

В табл. 2 приведены основные виды уязвимости для схем и способов вентиляции соответственно рангам иерархической структуры аэрологических рисков. Устойчивость проветривания угольных шахт (п. 9) оценивают по категориям их схем вентиляции, где к категории 1 относят схемы с высокой степенью устойчивости (вентиляционные сети, в которых отсутствуют диагонали, а также сети с диагоналями, опрокидывание вентиляционных струй в которых маловероятно даже в аварийных режимах). К категории 2 относят схемы со средней степенью устойчивости (вентиляционные сети, осложненные диаго-

Таблица 1

Показатели и критерии опасности в структуре аэрологических рисков аварий на угольных шахтах

Hazard criteria and values in the structure of aerological risks of accidents in coal mines

№ п/п	Критерии опасности	Степень опасности	Значение показателя опасности	Интерпретация значений критериальных чисел	Комплекс мероприятий по борьбе с опасностью
1.	Относительная метанообильность, м ³ /т; виды выделения метана	I	до 5	При метанообильности пласта ≥ 13 м ³ /т необходимо применять дегазацию	Вентиляция (центрально-сдвоенная, фланговая схемы вентиляции)
		II	от 5 до 10		Вентиляция (центрально-сдвоенная, фланговая схемы вентиляции)
		III	от 10 до 15		Вентиляция (фланговая схема проветривания шахты), дегазация пласта
		Сверх-категорные	>15, суфлярные выделения метана		Вентиляция (фланговая схема проветривания шахты, схемы проветривания с полным обособленным разбавлением вредных по источникам их поступления в шахтную атмосферу), предварительная дегазация пласта, опережающая отработка защитных пластов, каптирование метана, газодренаж, газоотсос
	Опасные по внезапным выбросам	Наличие опасности внезапных выбросов угля и газа		Вентиляция (фланговая схема проветривания шахты, схемы проветривания с полным обособленным разбавлением вредных по источникам их поступления в шахтную атмосферу), заблаговременная дегазация массива, предварительная дегазация пласта, опережающая отработка защитных пластов, каптирование метана, газодренаж, газоотсос	

2.	Пылеобразующая способность пласта, удельное пылевыведение, г/т	Мало-пыльные	до 50 (I)	При выходе летучих < 15% пыль является невзрывчатой	Орошение мест разрушения и погрузки горной массы (давление не менее 1,5 МПа)	
		Средней пыльности	50 – 100 (II)			Предварительное увлажнение массива. Орошение мест разрушения и погрузки горной массы (давление не менее 1,5 МПа). Водяные, водовоздушные, лабиринтно-тканевые завесы. Обмывка выработок
			100 – 150 (III)			
			150 – 250 (IV)			
Пыльные	250 – 400 (V)	Выход летучих $\geq 15\%$ определяет взрывчатость угольной пыли	Предварительное увлажнение массива. Орошение мест разрушения и погрузки горной массы (давление не менее 1,5 МПа) с применением смачивателей. Водяные, водовоздушные, туманообразующие, лабиринтно-тканевые завесы. Осланцевание выработок. Сланцевые и водяные заслоны			
	400 – 700 (VI)					
	700 – 1200 (VII)					
Весьма пыльные	более 1200 (VIII)			Содержание тяжелых углеводородов до 0,001 м ³ /т горючей массы определяет невыбросоопасность пластов	Вентиляция, предварительная дегазация пласта	
Содержание тяжелых углеводородов С3-С6 в остаточных газах углей средней стадии метаморфизма (марки угля Д, Ж, ОС)	$\geq 20\%$	Содержание тяжелых углеводородов более 0,001 м ³ /т горючей массы определяет выбросоопасность пластов	Вентиляция, предварительная дегазация пласта, опережающая отработка защитных пластов, каптирование метана, газозенж, газоотсос. Предварительное увлажнение массива. Орошение мест разрушения и погрузки горной массы (давление не менее 1,5 МПа) с применением смачивателей			
						менее 30 м ³ /С
4.	Температура горных пород	Геотермическая ступень	30 – 70 м ³ /С			Температура воздуха в выработках не должна превышать 26 °С
			более 70 м ³ /С			

Таблица 2

Показатели системной составляющей аэрологического риска аварий на выемочных участках (в подготовительных выработках и шахте в целом)
System component of aerological risks of accidents in extraction panels (in gateways and in the mine as a whole)

№ п/п	Критерии уязвимости	Степень уязвимости	Значение степени уязвимости	Объекты уязвимости
1.	Степень разбавления вредностей по источникам поступления	малая	последовательное	схемы вентиляции выемочных участков
		средняя	частичное	
		большая	полное	
2.	Степень устойчивости проветривания выемочных участков как при нормальных, так и при аварийных режимах	малая	наличие диагоналей, неустойчивое проветривание	схемы вентиляции выемочных участков
		большая	отсутствие диагоналей, коэффициент устойчивости >15	
3.	Степень влияния направления движения свежей и исходящей струй воздуха в пределах выемочного участка	малая	прямоточная схема движения воздуха	схемы вентиляции выемочных участков
		большая	возвратноточная схема движения воздуха	
4.	Степень влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне	малая	всасывающий способ проветривания	способы вентиляции подготовительных выработок
		большая	нагнетательный способ проветривания, комбинированный способ проветривания	
5.	Степень влияния зоны отброса газов на проветривание подготовительной выработки	большая	нагнетательный способ проветривания, комбинированный способ проветривания	способы вентиляции подготовительных выработок
		малая	всасывающий способ проветривания	
6.	Степень влияния направления движения свежей и исходящей струй на утечки воздуха	большая	центрально-сдвоенная схема проветривания	схемы вентиляции шахт, крыльев шахты
		малая	фланговая и комбинированная схемы проветривания	
7.	Степень влияния вентиляции на загазование выработок при аварийной остановке вентилятора главного проветривания	малая	всасывающий способ вентиляции шахты	способы вентиляции шахт
		большая	нагнетательный, нагнетательно-всасывающий способы вентиляции шахты	
8.	Устойчивость совместной работы вентиляторов главного проветривания	малая	напорные характеристики вентиляторов пересекаются характеристиками сети в двух и более точках	вентиляторы главного проветривания
		большая	напорные характеристики вентиляторов пересекаются характеристиками сети в одной точке	

9.	Устойчивость проветривания	малая	категория 3	схемы вентиляции шахт, крыльев шахты
		средняя	категория 2	
		большая	категория 1	
10.	Депрессия шахты, депрессия откаточного и вентиляционного магистральных штреков	малая	не превышает 300 даПа, не превышает проектные значения для магистральных штреков	схемы вентиляции шахты, крыла шахты
		средняя	больше 300 даПа, но не превышает 450 даПа, не превышает проектные значения для магистральных штреков	
		большая	превышает 450 даПа, превышает проектные значения для магистральных штреков	
11.	Степень влияния вентиляционных сооружений на устойчивость проветривания	малая	регуляторы распределения воздуха установлены до слияния диагональных струй или на ветвях (в случае положительных регуляторов)	вентиляционные сооружения
		большая	регуляторы распределения воздуха установлены в контуре слияния диагональных струй	
12.	Обеспеченность шахты воздухом	малая	менее 10%	вентиляторы главного проветривания
		средняя	от 10 до 20%	
		большая	более 20%	
13.	Внешние утечки воздуха	малые	менее 20%	вентиляторы главного проветривания
		большие	более 20%	

налями, изменение направления движения воздуха в которых возможно только в аварийных режимах). К категории 3 — схемы с низкой степенью устойчивости (опрокидывание вентиляционных струй в диагоналях возможно или происходит при нормальной работе шахты).

Заключение

Угольная отрасль была и остается одной из самых опасных не только в России, но и в мире. В связи с развивающимся в Европе энергетическим кризисом востребованность угля возрастает, в некоторых странах Европы планируют расконсервировать и пустить в работу угольные шахты. Угольная отрасль широко развивается в таких странах, как

Россия, США, Китай, Индия, Казахстан и др. Вместе с ростом объемов добываемого угля возрастают роль и внимание к вопросам безопасности угледобычи, к цифровым технологиям в системе управления промышленной и экологической безопасностью [29].

Одной из основополагающих составляющих многофункциональной системы безопасности угольных шахт является аэрологическая безопасность. На основе риск-ориентированного подхода выстроена методология оценки аэрологических рисков по рангам, охватывающим как шахту в целом, так и отдельные ее части. Это позволяет сравнивать аэрологические риски одинаковых рангов на разных шахтах, проводить управляющие

организационно-технические воздействия с целью снижения аэрологических рисков и минимизации последствий возможных аварий, а также позволяет

осуществлять прогнозирование аэрологических рисков при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов И. А., Филин А. Э. Анализ состояния аварийности на угольных предприятиях России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 1. – С. 208–215. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215.

2. Кабанов Е. И., Коршунов Г. И., Корнев А. В., Мяков В. В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005-2019 гг. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.

3. 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, no. 2, pp. 1917–1929.

4. Rodionov V., Tumanov M., Skripnik I., Kaverzneva T., Pshenichnaya C. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022, vol. 981, no. 3, article 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.

5. Kabanov E. I., Korshunov G. I., Magomet R. D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings // Journal of Applied Science and Engineering. 2020, vol. 24, no. 1, pp. 105–110. DOI: 10.6180/jase.202102_24(1).0014.

6. Slastunov S., Kolikov K., Batugin A., Sadov A., Khautiev A. Improvement of intensive in-seam gas drainage technology at Kirova Mine in Kuznetsk Coal Basin // Energies. 2022, vol. 15, no. 3, article 1047. DOI: 10.3390/en15031047.

7. Сластунов С. В., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В., Садов А. П., Понизов А. П. Обеспечение метанобезопасности шахт на основе глубокой дегазации угольных пластов при их подготовке к интенсивной разработке // Уголь. – 2019. – № 7. – С. 42–47. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-42-47.

8. Кубрин С. С., Решетняк С. Н., Загоршменный И. М., Карпенко С. М. Имитационное моделирование режимов работы оборудования комплексно-механизированного забоя угольной шахты // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 286–294. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-286-294.

9. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Загоршменный И. М., Решетняк С. Н. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт // Уголь. – 2019. – № 3. – С. 46–49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

10. Куликова Е. Ю. Методика интегральной оценки риска в шахтном и подземном строительстве // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 124–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.

11. Куликова Е. Ю., Виноградова О. В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 146–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

12. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat // Geodesy and Geodynamics. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.

13. Trinh L. H., Nguyen V. N. Mapping coal fires using normalized difference coal fire index (NDCFI): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam // Mining Science and Technology (Russia). 2021, vol. 6, no. 4, pp. 233–240. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-233-240.

14. *Smirniakov V. V., Smirniakova V. V.* Formation peculiarities of caving zones as aerodynamic active branches of mine ventilation systems in pillar mining of coal beds // *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017, vol. 33, no. 1, pp. 864–872.

15. *Nguyen Q. L., Nguyen Q. M., Tran D. T., Bui X. N.* Prediction of ground subsidence due to underground mining through time using multilayer feed-forward artificial neural networks and back-propagation algorithm – case study at Mong Duong underground coal mine (Vietnam) // *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 4, pp. 241–251. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-241-251.

16. *Баймухаметов С. К., Имашев А. Ж., Муллагалиев Ф. А., Муллагалиева Л. Ф., Коликов К. С.* Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в Карагандинском угольном бассейне // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021. – № 10-1. – С. 124–136. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.

17. *Soloviov V. B., Magomet R. D.* The ways of safety improvement during the outburst-prone and gas-bearing coal seams development // *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017, vol. 33, no. 1, pp. 1042–1047.

18. *Lolon S. A., Brune J. F., Bogin G. E., Juganda A.* Study of methane outgassing and mitigation in longwall coal mines // *Mining, Metallurgy and Exploration*. 2020, vol. 37, no. 5, pp. 1437–1449. DOI: 10.1007/s42461-020-00287-6.

19. *Босиков И. И., Ключев Р. В., Аймбетова И. О., Махошева С. А.* Оценка и анализ аэродинамических параметров воздушных потоков для эффективного выбора схем воздухообеспечения в угольных шахтах // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 397–405. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.

20. *Yi H., Park J., Kim M. S.* Characteristics of mine ventilation air flow using both blowing and exhaust ducts at the mining face // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2020, vol. 34, pp. 1167–1174. DOI: 10.1007/s12206-020-0218-0.

21. *Kornev A. V., Korshunov G. I., Kudelas D.* Reduction of dust in the longwall faces of coal mines: Problems and perspective solutions // *Acta Montanistica Slovaca*. 2021, vol. 26, no. 1, pp. 84–97. DOI: 10.46544/AMS.v26i1.07.

22. *Забурдяев В. С.* Прогноз и предотвращение рисков формирования взрывоопасных смесей в угольных шахтах // *Безопасность труда в промышленности*. – 2019. – № 6. – С. 65–69. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-65-69.

23. *Босиков И. И., Ключев Р. В., Майер А. В., Стась Г. В.* Разработка метода анализа и оценки оптимального состояния аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 97–106. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.

24. *Li Y., Su H., Ji H., Cheng W.* Numerical simulation to determine the gas explosion risk in longwall goaf areas. A case study of Xutuan Colliery // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 6, pp. 875–882. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.007.

25. *Cheng L., Guo H., Lin H.* Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021, vol. 147, pp. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

26. *Романченко С. Б., Нагановский Ю. К., Корнев А. В.* Инновационные способы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок // *Записки Горного института*. – 2021. – Т. 252. – С. 927–936. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.

27. *Dmitrievich M. R., Alekseevich R. V., Borisovich S. V.* Methodological approach to issue of researching dust-explosion protection of mine workings of coal mines // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1154–1161.

28. *Лебедев В. С., Скопинцева О. В.* Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // *Горный журнал*. – 2017. – № 4. – С. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

29. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123. **МИАБ**

REFERENCES

1. Arhipov I. A., Filin A. E. Accident rate analysis in coal mines in Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 1, pp. 208–215. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215.
2. Kabanov E. I., Korshunov G. I., Kornev A. V., Myakov V. V. Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005-2019. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 18–29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.
3. 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, no. 2, pp. 1917–1929.
4. Rodionov V., Tumanov M., Skripnik I., Kaverzneva T., Pshenichnaya C. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022, vol. 981, no. 3, article 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.
5. Kabanov E. I., Korshunov G. I., Magomet R. D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. *Journal of Applied Science and Engineering.* 2020, vol. 24, no. 1, pp. 105–110. DOI: 10.6180/jase.202102_24(1).0014.
6. Slastunov S., Kolikov K., Batugin A., Sadov A., Khautiev A. Improvement of intensive in-seam gas drainage technology at Kirova Mine in Kuznetsk Coal Basin. *Energies.* 2022, vol. 15, no. 3, article 1047. DOI: 10.3390/en15031047.
7. Slastunov S. V., Yutyaev E. P., Mazanik E. V., Sadov A. P., Ponizov A. V. Ensuring methane safety of mines on the basis of deep degassing of coal seams in their preparation for intensive development. *Ugol'.* 2019, no. 7, pp. 42–47. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-42-47.
8. Kubrin S. S., Reshetnyak S. N., Zakorshmenniy I. M., Karpenko S. M. Simulation modeling of equipment operating modes of complex mechanized coal mine face. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2022, vol. 14, no. 2, pp. 286–294. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-286-294.
9. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Zakorshmenniy I. M., Reshetniak S. N. Reserves of increase of efficiency of coal extraction sections of coal mines. *Ugol'.* 2019, no. 3, pp. 46–49. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.
10. Kulikova E. Yu. Methods of forming an integral risk assessment in mine and underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 124–133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.
11. Kulikova E. Yu., Vinogradova O. V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 146–154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.
12. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics.* 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.
13. Trinh L. H., Nguyen V. N. Mapping coal fires using normalized difference coal fire index (NDCF_I): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam. *Mining Science and Technology (Russia).* 2021, vol. 6, no. 4, pp. 233–240. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-233-240.
14. Smirniakov V. V., Smirniakova V. V. Formation peculiarities of caving zones as aerodynamic active branches of mine ventilation systems in pillar mining of coal beds. *Journal of Industrial Pollution Control.* 2017, vol. 33, no. 1, pp. 864–872.

15. Nguyen Q. L., Nguyen Q. M., Tran D. T., Bui X. N. Prediction of ground subsidence due to underground mining through time using multilayer feed-forward artificial neural networks and back-propagation algorithm – case study at Mong Duong underground coal mine (Vietnam). *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 4, pp. 241–251. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-241-251.
16. Baymukhametov S. K., Imashev A. Zh., Mullagaliev F. A., Mullagalieva L. F., Koli-kov K. S. Low-permeable gas-bearing and outburst-hazardous coal seam mining in the Kara-ganda Coal Basin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 124–136. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.
17. Soloviov V. B., Magomet R. D. The ways of safety improvement during the outburst-prone and gas-bearing coal seams development. *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017, vol. 33, no. 1, pp. 1042–1047.
18. Lolon S. A., Brune J. F., Bogin G. E., Juganda A. Study of methane outgassing and mitigation in longwall coal mines. *Mining, Metallurgy and Exploration*. 2020, vol. 37, no. 5, pp. 1437–1449. DOI: 10.1007/s42461-020-00287-6.
19. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Aimbetova I. O., Makhosheva S. A. Assessment and analysis of aerodynamic parameters of air flows for effective selection of air supply schemes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 3, pp. 397–405. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.
20. Yi H., Park J., Kim M. S. Characteristics of mine ventilation air flow using both blowing and exhaust ducts at the mining face. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2020, vol. 34, pp. 1167–1174. DOI: 10.1007/s12206-020-0218-0.
21. Kornev A. V., Korshunov G. I., Kudelas D. Reduction of dust in the longwall faces of coal mines: Problems and perspective solutions. *Acta Montanistica Slovaca*. 2021, vol. 26, no. 1, pp. 84–97. DOI: 10.46544/AMS.v26i1.07.
22. Zaburdayev V. S. Methane abundance of high-performance mining areas. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 6, pp. 65–69. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-65-69.
23. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Mayer A. V., Stas G. V. Development of a method for analyzing and evaluating the optimal state of aerogasodynamic processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 1, pp. 97–106. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.
24. Li Y., Su H., Ji H., Cheng W. Numerical simulation to determine the gas explosion risk in longwall goaf areas. A case study of Xutuan Colliery. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 6, pp. 875–882. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.007.
25. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021, vol. 147, pp. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.
26. Romanchenko S. B., Naganovskiy Y. K., Kornev A. V. Innovative ways to control dust and explosion safety of mine workings. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 252, pp. 927–936. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.
27. Dmitrievich M. R., Alekseevich R. V., Borisovich S. V. Methodological approach to issue of researching dust-explosion protection of mine workings of coal mines. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1154–1161.
28. Lebedev V. S., Skopintseva O. V. Residual coalbed gas components: Composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 4, pp. 84–86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.
29. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 113–123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Баловцев Сергей Владимирович*¹ – канд. техн. наук,

доцент, e-mail: balovcev@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-0961-6050,

*Скопинцева Ольга Васильевна*¹ – д-р техн. наук,

профессор, e-mail: skopintseva54@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-7257-8720,

¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Баловцев С.В., e-mail: balovcev@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.V. Balovtsev*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor, e-mail: balovcev@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-0961-6050

*O.V. Skopintseva*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: skopintseva54@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-7257-8720,

¹ National University of Science and Technology «MISiS»,

119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: S.V. Balovtsev, e-mail: balovcev@yandex.ru.

Получена редакцией 02.07.2022; получена после рецензии 30.08.2022; принята к печати 10.09.2022.

Received by the editors 02.07.2022; received after the review 30.08.2022; accepted for printing 10.09.2022.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТКАЗОВ ПО ОСНОВНЫМ УЗЛАМ И СОСТАВНЫМ ЧАСТЯМ МЕХАНИЗМОВ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АО «ПОЛЮС АЛДАН»

(2022, № 6, СБ 5, 12 с.)

*Дмитриев Андрей Андреевич*¹ – старший преподаватель, e-mail: daa.1972@mail.ru,

*Васильева Диана Васильевна*¹ – ст. ОГР-20,

¹ Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова.

Экспертизы промышленной безопасности по оценке технического состояния в АО «Полюс Алдан» проходили несколько типов горных машин (Куранахская золотоизвлекательная фабрика, участок кучного выщелачивания ОК «Надежный», участок рудной подготовки). Исследование и систематизация полученных нарушений и дефектов, позволили выявить наиболее часто встречающиеся нарушения по отдельным классам горного оборудования (обогащительное и транспортирующее). Больше количество ремонтных работ на отечественном и на зарубежном оборудовании приходится на отказы в нарушении привода и рабочих органов различных горных машин.

Ключевые слова: экспертиза, промышленная безопасность, визуальный и измерительный контроль, дефекты, обогащительное оборудование, конвейер, фабрика, кучное выщелачивание.

RESEARCH AND SYSTEMATIZATION OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF VARIOUS FAILURES ON MAIN NODES AND COMPONENTS OF MINING EQUIPMENT MECHANISMS IN JSC POLYUS ALDAN

*A.A. Dmitriev*¹, Senior Lecturer, e-mail: daa.1972@mail.ru, *D.V. Vasilyeva*¹, art. OGR-20,

¹ Mining Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, Russia.

Several types of mining machines (Kuranakh gold extraction factory, heap leaching site of OK «Reliable», ore preparation site) passed industrial safety examinations to assess the technical condition in JSC Polyus Aldan. The study and systematization of the violations and defects obtained made it possible to identify the most common violations in certain classes of mining equipment (concentrating and transporting). A greater number of repairs on domestic and foreign equipment account for failures in violation of the drive and working bodies of various mining machines.

Key words: expertise, industrial safety, visual and measuring control, defects, processing equipment, conveyor, factory, heap leaching.