

УПРАВЛЕНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ АЭРОГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ

О.В. Скопинцева¹, С.В. Баловцев¹

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

Аннотация: Разработан метод расчета вероятностей безотказной работы выемочного участка угольной шахты для различных схем вентиляции (U-образной, Z-образной и Y-образной) на основе статистических данных о числе отказов элементов вентиляционных систем шахт за достаточно большой промежуток времени. Анализ рассчитанных значений риска загазования выемочного участка $R_{\text{заг.уч}}$ показал, что при одних и тех же горнотехнических условиях $R_{\text{заг.уч}}$ в 2,9 раз больше для U-образной схемы, чем для Y-образной, и в 1,9 раз больше, чем для Z-образной. Из сравнения между собой Z- и Y-образных схем следует, что первая опаснее второй в 1,4 раза. В газовых шахтах необходимо применять Y-образные схемы вентиляции с обособленным разбавлением метана, риск загазования выемочных участков которых почти в 3 раза меньше риска загазования в U-образных схемах вентиляции. При расчете риска загазования выработок для различных горнотехнических и горно-геологических условий необходим представительный объем статистических данных как по элементам вентиляционной системы (главные вентиляторы, газоотсасывающие установки, вентиляторы местного проветривания, вентиляционные двери и шлюзы, кроссинги, главные воздухоподающие и вентиляционные стволы, лавы, откаточные и вентиляционные штреки, газоотсасывающие трубопроводы, средства автоматики и др.), так и по горнотехническим условиям (производительность лавы, мощность пласта, крепость пород, способ охраны выработок, глубина разработки, система разработки и др.). При сборе данных по отказам элементов вентиляционной системы должны использоваться данные аэрогазового контроля шахт. Приведенные результаты научных исследований заложены в основу разработанного С.В. Баловцевым комплексного метода оценки и управления аэрологическим риском аварий при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт.

Ключевые слова: сверхкатегорные шахты, аэрологическая безопасность, аэрогазовый контроль, оценка риска загазования выработок, схема вентиляции выемочного участка, надежность шахтных вентиляционных систем, интенсивность отказов.

Для цитирования: 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.

Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics

O.V. Skopintseva¹, S.V. Balovtsev¹

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

Abstract: The computational method is developed for failure-free operation of coal longwalls with various ventilation schemes (U-type, Z-type and Y-type) based on statistics on failures of mine ventilation elements within a sufficiently long period of time. The calculated gas pollution risks R_{gas} for longwalls in the same geotechnical conditions are 2.9 times higher in case of U-type ventilation and 1.9 times higher in Y-type ventilation as compared with Z-type ventilation. The Z-type ventilation scheme is 1.4 times more hazardous than the Y-type ventilation. Coal mines with high gas content should use the Y-type ventilation schemes, with detached dissolution of methane, as they feature 3 times less risk of gas pollution of air in longwalls as compared with the U-type ventilation. Gas pollution risk calculation for longwalls in different geological and geotechnical conditions requires a representative volume of statistical data on elements of ventilation systems (main fans, gas suction plants, local ventilation fans, air doors and air locks, crossings, main air feed and ventilation shafts, longwalls, haulage and ventilation drifts, gas suction pipelines, automation equipment, etc.) and geotechnology (longwall capacity, coal seam thickness, rock mass strength, mine support systems, mining depth, mining system, etc.). Data base on failures of ventilation system elements should use the data of gas monitoring of mine air. The research findings serve as a ground of Balovtsev's integrated procedure for air quality assessment and control in planning, design, operation, closure and abandonment of coal mines.

Key words: super hazardous coal mines by gas criterion, safe air quality, gas monitoring, gas pollution risk assessment, longwall ventilation system, mine ventilation reliability, failure rate.

For citation: Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3):78-89. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

Введение

Основная цель теории аэрологического риска на угольных шахтах состоит в разработке методов количественной оценки и оптимизации надежности вентиляции шахты в целом, позволяющих осуществлять выбор оптимальных по фактору надежности вариантов систем вентиляции проектируемых и действующих шахт. Для шахтной вентиляционной системы наиболее существенным является свойство безотказности, т.е. возможность непрерывно выполнять требуемую функцию в течение заданного времени, иными словами, непрерывно обеспечивать требуемое (по условиям безопасности и санитарно-гигиеническим нормам) состояние шахтной атмосферы [1–5]. В настоящей статье авторами уделено внимание разработке метода расчета вероятностей безотказной работы выемочного участка для раз-

личных схем вентиляции. Метод позволяет научно обосновать принятие технических и организационных решений по снижению аэрологического риска.

Оценка риска загазирования выемочного участка по статистическим данным интенсивности отказов элементов шахтной вентиляционной системы

Отказ шахтной вентиляционной системы — это событие, заключающееся в таком изменении ее параметров, при котором расходы воздуха в выработках меньше требуемых. Отказы возникают случайно и делятся на приработочные, износные и катастрофические. Приработочные отказы вызываются ошибками при конструировании, изготовлении и монтаже; катастрофические отказы вызываются внезапной концентрацией

нагрузок. Эти два вида отказов лежат за пределами нормального режима эксплуатации угольных шахт и требуют особого рассмотрения. В настоящей статье остановимся на износных отказах, вызванных старением элементов, накладывающихся на процессы загазирования выработок, со всеми нежелательными последствиями, и присущих штатному режиму эксплуатации угольных шахт.

Примем во внимание, что под отказом шахтной вентиляционной системы (горной выработки) будем понимать необеспеченность воздухом шахты (выработки) более чем на 10%.

Вероятность безотказной работы горных выработок и шахты в целом в течение времени t можно определить по формуле [6]:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right), \quad (1)$$

где $\lambda(\tau)$ — интенсивность отказов.

При анализе функционирования шахтных вентиляционных систем предполагают, что в первом приближении интенсивность отказов можно считать постоянной, то есть $\lambda(\tau) = \lambda = \text{const}$. Тогда выражение (1) преобразуется к виду:

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (2)$$

В этом случае частота отказов определяется по формуле [6, 7]:

$$a = \lambda \cdot \exp(-\lambda t), \quad (3)$$

Риск загазирования выемочного участка будем рассчитывать по формуле

$$R_{\text{заг}} = 1 - P(t), \quad (4)$$

где $P(t)$ — вероятность безотказной работы выемочного участка по фактору загазирования.

С учетом формулы (2) получаем:

$$R_{\text{заг}} = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (5)$$

где λ — интенсивность отказов (загазирования), сут^{-1} .

Первоначально характеристики надежности устанавливаются по статистическим данным о числе отказов вентиляционных систем шахт за достаточно большой промежуток времени, а затем приводятся к требуемому периоду времени (месяц, сутки, час). Так как в нашем случае $\lambda = \text{const}$, то приближенно интенсивность отказов на шахте, выемочном участке или другом объекте (верхние части лав, вентиляционные двери в выработках с рельсовыми путями, кроссинги, главные вентиляторы и т.д.)

$$\lambda = N / T \quad (6)$$

где N — число отказов вентиляции за время T .

Согласно «Справочнику по рудничной вентиляции» [6] по среднестатистическим данным интенсивность отказов в откаточных выработках можно принять равной $0,013 \text{ сут}^{-1}$, интенсивность отказов в вентиляционных выработках можно принять равной $0,066 \text{ сут}^{-1}$, интенсивность отказов в лавах можно принять равной $0,02366 \text{ сут}^{-1}$.

Тогда по формуле (2) вероятность безотказной работы лавы $P(l)$, откаточного $P(o)$ и вентиляционного $P(v)$ штреков за сутки будет равна:

$$P(l) = \exp(-0,02366) = 0,977,$$

$$P(o) = \exp(-0,013) = 0,987,$$

$$P(v) = \exp(-0,066) = 0,936.$$

С учетом полученных значений $P(l)$, $P(o)$ и $P(v)$ рассчитаем риск загазирования для выемочного участка для разных схем проветривания.

Для выемочного участка при возвратной схеме проветривания вероятность безотказной работы по правилу умножения вероятностей будет равна произведению вероятностей безотказной работы откаточного штрека, лавы и вентиляционного штрека, так как выработки соединены последовательно. Тогда

$$R_{\text{заг.уч.}} = 1 - P_{\text{отк.ш.}} \cdot P_{\text{лавы}} \cdot P_{\text{вент.ш.}}, \quad (7)$$

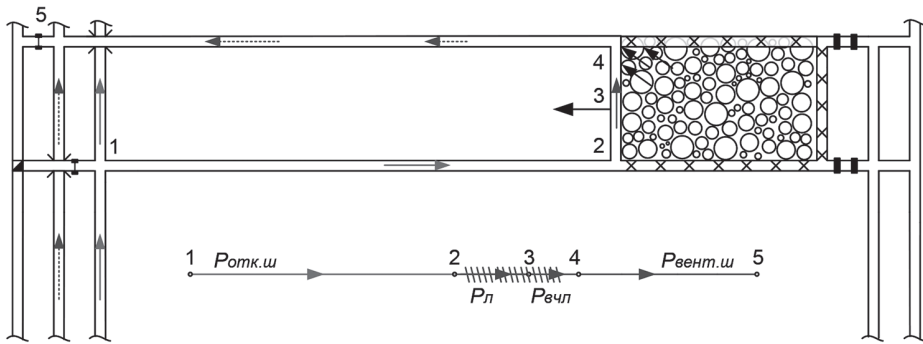


Рис. 1. Возвратноточная схема вентиляции выемочного участка и аэродинамическая схема с последовательным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении массива угля: $P_{отк.ш.}$ — вероятность безотказной работы откаточного штрека; $P_{лавы}$ — вероятность безотказной работы лавы; $P_{вент.ш.}$ — вероятность безотказной работы вентиляционного штрека; $P_{вчл}$ — вероятность безотказной работы верхней части лавы

Fig. 1. Reverse flow ventilation scheme of the mining area and aerodynamic scheme with sequential dilution of hazards and diversion of the outgoing jet in the direction of the coal mass: $P_{отк.ш.}$ — probability of trouble-free operation of the haulage drift; $P_{лавы}$ — likelihood of failure-free longwall operation; $P_{вент.ш.}$ — probability of failure-free operation of the ventilation drift; $P_{вчл}$ — probability of failure-free operation of the upper part of the face

где $P_{отк.ш.}$ — вероятность безотказной работы откаточного штрека; $P_{лавы}$ — вероятность безотказной работы лавы; $P_{вент.ш.}$ — вероятность безотказной работы вентиляционного штрека.

Следует обратить внимание, что риск загазирования выемочного участка $R_{заг.уч.}$ для U-образной и Z-образной схем проветривания рассчитывается по одной и той же формуле (7), так как откаточный штрек, лава и вентиляционный штрек соединены последовательно. Однако качество проветривания при этих двух схемах будет разным, обусловленным направлением движения воздушной струи: возвратноточным или прямоточным. А именно: при U-образной схеме проветривания выемочного участка будет проявляться основной недостаток этой схемы — концентрированный вынос метана из выработанного пространства в верхнюю часть лавы и на вентиляционный штрек, что не позволяет применять ее в условиях существенного газовыделения из выработанного пространства.

Чтобы учесть в расчетной формуле (7) процесс загазирования верхней части лавы, условно можно разделить лаву

(рис. 1) на два участка, соединенных последовательно: небольшой участок конца лавы с ее верхней частью (ветвь 3—4) и оставшаяся основная часть лавы (ветвь 2—3). Согласно «Справочнику по рудничной вентиляции» [6] для возвратноточной схемы проветривания выемочного участка средняя интенсивность отказов в верхней части лавы равна $0,1055 \text{ сут}^{-1}$. Тогда

$$P_{вчл} = \exp(-0,1055) = 0,8999.$$

И для U-образной схемы проветривания будем иметь:

$$R_{заг.уч.} = 1 - P_{отк.ш.} \cdot P_{лавы} \cdot P_{вчл} \cdot P_{вент.ш.}, \quad (8)$$

где $P_{вчл}$ — вероятность безотказной работы верхней части лавы.

Подставляя в формулу (8) значения вероятностей, рассчитанные по среднестатистическим значениям интенсивностей, получим значение риска загазирования выемочного участка за сутки:

$$R_{заг.уч.} = 1 - 0,987 \cdot 0,977 \cdot 0,899 \cdot 0,936 = 1 - 0,8114 = 0,189.$$

Свежий воздух подается по откаточному штреку 1—2 (рис. 1), распреде-

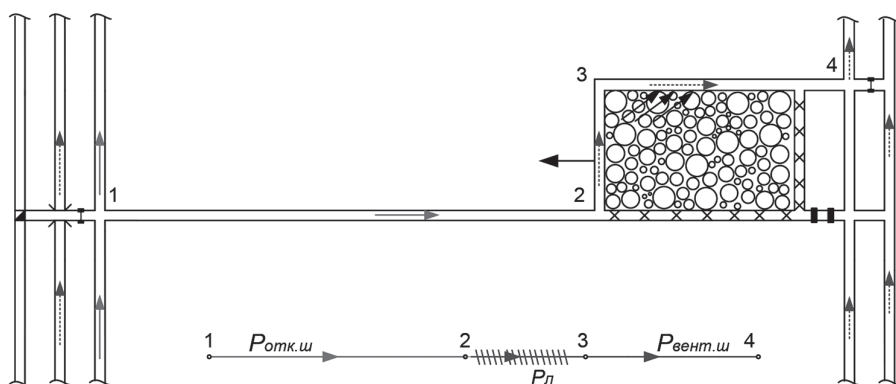


Рис. 2. Прямоточная схема вентиляции выемочного участка и аэродинамическая схема с последовательным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении выработанного пространства: $P_{\text{отк.ш.}}$ — вероятность безотказной работы откаточного штрека; $P_{\text{лавы}}$ — вероятность безотказной работы лавы; $P_{\text{вент.ш.}}$ — вероятность безотказной работы вентиляционного штрека

Fig. 2. Direct-flow ventilation scheme of the excavation area and aerodynamic scheme with sequential dilution of hazards and diversion of the outgoing jet in the direction of the worked-out space: $P_{\text{отк.ш.}}$ — probability of trouble-free operation of the haulage drift; $P_{\text{лавы}}$ — the likelihood of failure-free longwall operation; $P_{\text{вент.ш.}}$ — the probability of failure-free operation of the ventilation drift

ляется между очистным забоем и выработанным пространством 2–3–4 и отводится по вентиляционному штреку 4–5. Направление движения воздуха по очистному забою — восходящее.

При прямоточной схеме вентиляции выемочного участка с последовательным разбавлением вредностей (Z-образная схема) и отводом исходящей струи в направлении выработанного пространства (рис. 2) отсутствует основной недостаток возвратноточных схем проветривания — концентрированный вынос метана из выработанного пространства в верхнюю часть лавы. В этом случае вынос метана из выработанного пространства будет производиться на вентиляционный штрек. И тогда риск загазирования участка за сутки можно посчитать по формуле (7):

$$R_{\text{заг.уч.}} = 1 - 0,987 \cdot 0,977 \cdot 0,936 = 1 - 0,9026 = 0,097.$$

Свежий воздух подается по откаточному штреку 1–2 (рис. 2), распределяется между очистным забоем и выработанным пространством 2–3 и отводится по вентиляционному штреку 3–4.

Направление движения воздуха по очистному забою — восходящее.

В газовых шахтах с высокой газообильностью разрабатываемых пластов и выработанного пространства и при ведении горных работ на глубоких горизонтах необходимо применять схемы вентиляции с обособленным разбавлением метана (рис. 3) [8–10], поступающего из различных источников.

Свежий воздух подается по откаточному штреку 1–2 (рис. 3), распределяется между очистным забоем и выработанным пространством 2–3 и отводится по вентиляционному штреку 3–4; по дополнительной выработке 1–5–3 подается свежий воздух для разбавления исходящей струи воздуха из лавы (так называемое подсвеживание воздуха). Направление движения воздуха по очистному забою — восходящее.

Для таких Y-образных схем вентиляции откаточный штрек и лава соединены последовательно, а дополнительная выработка со свежей струей воздуха соединена с откаточным штреком и лавой параллельно. К этому параллельному соединению последовательно подклю-

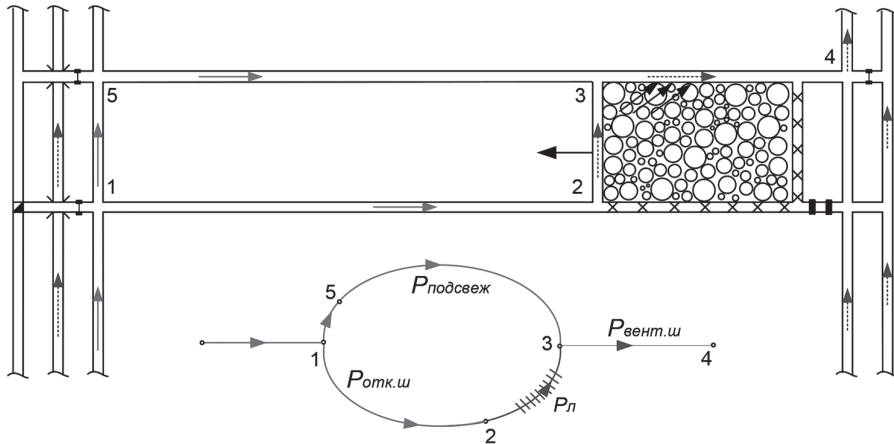


Рис. 3. Прямоточная схема вентиляции выемочного участка и аэродинамическая схема с обособленным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении выработанного пространства: $P_{\text{отк.ш.}}$ — вероятность безотказной работы откаточного штрека; $P_{\text{лавы}}$ — вероятность безотказной работы лавы; $P_{\text{вент.ш.}}$ — вероятность безотказной работы вентиляционного штрека; $P_{\text{подсвж.}}$ — вероятность безотказной работы дополнительной выработки со свежей струей воздуха

Fig. 3. Direct-flow ventilation scheme of the excavation area and aerodynamic scheme with separate dilution of hazards and diversion of the outgoing jet in the direction of the worked-out space: $P_{\text{отк.ш.}}$ — probability of trouble-free operation of the haulage drift; $P_{\text{лавы}}$ — the likelihood of failure-free longwall operation; $P_{\text{вент.ш.}}$ — the probability of failure-free operation of the ventilation drift; $P_{\text{подсвж.}}$ — the likelihood of trouble-free operation of the additional production with a fresh air stream

чается вентиляционный штрек. Участок 1 – 5 дополнительного пути подачи свежего воздуха относится к капитальным воздухоподающим выработкам и имеет вероятность безотказной работы, близкую к единице, поэтому в расче-

тах этой величиной можно пренебречь. Формула для расчета риска загазирования выемочного участка примет вид:

$$R_{\text{заг.уч.}} = 1 - (P_{\text{отк.ш.}} \cdot P_{\text{лавы}} + P_{\text{подсв.}} - P_{\text{отк.ш.}} \cdot P_{\text{лавы}} \cdot P_{\text{подсв.}}) P_{\text{вент.ш.}} \quad (9)$$

Значения риска загазирования выемочного участка для основных схем вентиляции Values of risk of gas contamination of the excavation area for basic ventilation schemes

Схема вентиляции	Горнотехнические условия	Значение риска загазирования выемочного участка $R_{\text{заг.уч.}}$, сут ⁻¹
U-образная	Производительность лавы 2400 – 3140 т/сут; столбовая система разработки; крепость пород средняя; штреки расположены в массиве угля; шахта сверхкатегорная; вентиляция участка возвратноточная	0,189
Z-образная	Производительность лавы 2400 – 3140 т/сут; столбовая система разработки; крепость пород средняя; штреки расположены в массиве угля; шахта сверхкатегорная; вентиляция участка прямоточная	0,097
Y-образная	Производительность лавы 2400 – 3140 т/сут; столбовая система разработки; крепость пород средняя; штреки расположены в массиве угля; шахта сверхкатегорная; вентиляция участка возвратноточная	0,065

Подставляя в формулу (9) значения вероятностей, рассчитанные по средне-статистическим значениям интенсивностей, получим значение риска зага-зирования выемочного участка за сутки для Y-образной схемы вентиляции:

$$\begin{aligned} R_{\text{заг.уч.}} &= 1 - (0,987 \cdot 0,977 + 0,987 - \\ &- 0,987 \cdot 0,977 \cdot 0,987) \cdot 0,936 = \\ &= 1 - (0,964 + 0,987 - 0,9518) \cdot 0,936 = \\ &= 1 - 0,9992 \cdot 0,936 = \\ &= 1 - 0,935 = 0,065. \end{aligned}$$

Приведем рассчитанные значения риска загазирования выемочного участка в таблице.

Из анализа рассчитанных значений риска загазирования выемочного участка $R_{\text{заг.уч.}}$ (таблица) следует, что при одних и тех же горнотехнических условиях $R_{\text{заг.уч.}}$ в 2,9 раз больше для U-образной схемы, чем для Y-образной, и в 1,9 раз больше, чем для Z-образной. При сравнении между собой Z-и Y-образной схем следует, что первая опаснее второй в 1,4 раза.

Таким образом, в газовых шахтах необходимо применять Y-образные схемы вентиляции с обособленным разбавлением метана, риск загазирования которых почти в 3 раза меньше U-образных схем вентиляции.

При расчете риска загазирования выработок для различных горнотехнических и горно-геологических условий необходимо представить объем статистических данных, как по элементам вентиляционной системы (главные вентиляторы, газоотсасывающие установки, вентиляторы местного проветривания, вентиляционные двери и шлюзы, кроссинги, главные воздухоподающие и вентиляционные стволы, лавы, откаточные и вентиляционные штреки, газоотсасывающие трубопроводы, средства автоматики и др.), так и по горнотехническим условиям (производительность лавы, мощность пласта, крепость по-

род, способ охраны выработок, глубина разработки, система разработки и др.) [11 – 17]. При сборе данных по отказам элементов вентиляционной системы должны использоваться данные аэрогазового контроля шахт.

Аэрогазовый контроль — составная часть аэрологической безопасности

Аэрогазовый контроль является неотъемлемой частью многофункциональных систем безопасности угольных шахт, в том числе шахтной вентиляционной системы [18 – 21].

Система аэрогазового контроля обеспечивает:

- автоматическое непрерывное измерение параметров шахтной атмосферы [22];
- непрерывный контроль параметров работы вентиляторов главного и местного проветривания, газоотсасывающих установок и положения дверей вентиляционных шлюзов;
- предоставление информации о контролируемых параметрах для оперативного управления горными работами, принятие мер по обеспечению безопасности путем отключения напряжения питания электрооборудования и оповещения работников;
- передачу информации об аэрологическом состоянии на шахте в режиме реального времени [19], а также ее хранение в целях системного анализа, в том числе при оценке аэрологического риска и принятии решений по его снижению.

К основным функциям системы аэрогазового контроля относятся автоматический контроль (измерение) содержания метана, оксида углерода, других опасных и вредных газов, кислорода и пыли в шахтной атмосфере, автоматическая газовая защита, автоматический контроль расхода воздуха, контроль па-

раметров работы вентиляторов, газоотсасывающих установок и воздухорегулирующих сооружений и др.

Непрерывный автоматический контроль расхода воздуха, который свидетельствует об успешном функционировании шахтной вентиляционной системы, в соответствии с [19] осуществляется в исходящих струях выемочных участков, в поступающих струях выемочных участков шахт, опасных по внезапным выбросам угля и газа, в поступающих струях выемочных участков, проветриваемых по прямоточным схемам с подсыжением исходящей из очистной выработки вентиляционной струи, в исходящих струях очистных забоев, в газоотсасывающих трубопроводах и в выработках, оборудованных смесительными камерами.

Данные от всех датчиков основных измерительных каналов записываются в журнал оператора аэрогазового контроля. Данные от других датчиков записываются в соответствии с проектными решениями по аэрогазовому контролю.

В работах [22–25] представлены возможности систем аэрогазового контроля, связанные с мониторингом метанобезопасности угольных шахт, базирующегося на применении технологических методов снижения аэрологических рисков, оптимизации совместной работы вентиляции и дегазации. Непрерывный мониторинг параметров шахтной атмосферы является неотъемлемой частью информационно-аналитического обеспечения оценки аэрологических рисков. Оценка рисков загазирования на выемочном участке должна производиться на основе результатов измерений и контроля параметров аэрогазового состояния, технологических и производственных процессов. Разработанная С.В. Баловцевым и О.В. Скопинцевой методика оценки аэрологических рисков аварий на выемочных участках и

в подготовительных выработках угольных шахт по данным аэрогазового контроля и с учетом схемы управления газоотсасыванием позволяет научно обосновать принятие решений по управлению аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт.

Выводы

1. Анализ рассчитанных значений риска загазирования выемочного участка $R_{\text{заг. уч.}}$ показал, что при одних и тех же горнотехнических условиях $R_{\text{заг. уч.}}$ в 2,9 раз больше для U-образной схемы, чем для Y-образной, и в 1,9 раз больше, чем для Z-образной. При сравнении между собой Z- и Y-образных схем следует, что первая опаснее второй в 1,4 раза.

2. В газовых шахтах, риск загазирования выемочных участков которых почти в 3 раза меньше риска загазирования в U-образных схемах вентиляции, необходимо применять Y-образные схемы вентиляции с обособленным разбавлением метана.

3. При расчете риска загазирования выработок для различных горнотехнических и горно-геологических условий необходим представительный объем статистических данных как по элементам вентиляционной системы (главные вентиляторы, газоотсасывающие установки, вентиляторы местного проветривания, вентиляционные двери и шлюзы, кроссинги, главные воздухоподающие и вентиляционные стволы, лавы, откаточные и вентиляционные штреки, газоотсасывающие трубопроводы, средства автоматики и др.), так и по горнотехническим условиям (производительность лавы, мощность пласта, крепость пород, способ охраны выработок, глубина разработки, система разработки и др.). При сборе данных по отказам элементов вентиляционной системы должны использо-

зоваться данные аэрогазового контроля шахт.

4. Риск загазирования выемочного участка является одним из ключевых показателей аэрологического риска. Приведенные в настоящей статье результаты

научных исследований заложены в основу разработанного С.В. Баловцевым комплексного метода оценки и управления аэрологическим риском аварий при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korshunov G. I., Rudakov M. L., Kabanov E. I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines // Journal of Environmental Management and Tourism. 2018. Vol. 9. No 1. Pp. 181 – 186. DOI: 10.14505/jemt.v9.1(25).23.

2. Filin A. E., Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries // Eurasian Mining. 2018. No 1. Pp. 31 – 34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.

3. Кabanov E. И., Коршунов Г. И., Родионов В. А. Разработка экспертной системы на основе нечеткой логики для оценки риска взрывов метана и пыли на угольных шахтах // Горный журнал. – 2019. – № 8. – С. 85 – 88. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.17.

4. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

5. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Решетняк С. Н. Актуальность повышения уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты // Уголь. – 2018. – № 10 (1111). – С. 66 – 71. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-67.

6. Рудничная вентиляция: Справочник / Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1988. – 440 с.

7. Landry M. J. The coset construction for non-equilibrium systems. High Energy Physics – Theory. Submitted on 27 Dec 2019, p. 35. <https://arxiv.org/abs/1912.12301>.

8. Baggioli M., Landry M. J. Effective field theory for quasicrystals and phason dynamics [arXiv:2008.05339 [hep-th]].

9. Slastunov S. V., Kolikov K. S., Zakharova A. A., Mazanik E. V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds // Solid Fuel Chemistry. 2015. Vol. 49. No 6. Pp. 381 – 386.

10. Филин А. Э., Овчинникова Т. И., Зиновьева О. М., Меркулова А. М. Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве // Горный журнал. – 2020. – № 3. – С. 67 – 71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.

11. Kolikov K. S., Mazina I. E., Manevich A. I. Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling // Eurasian Mining. 2018. No 2. Pp. 15 – 17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.

12. Batugin A. S. Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process // Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development. 2020. Vol. 6. Pp. 1261 – 1268.

13. 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.

14. Batugin A., Musina V., Golovko I. Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 95. Article 042023. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042023.

15. Wang Zhiqiang, Zhao Jingli, Zhang Baoyou, Liu P.-C. Stable characters of key stratum in stagger arrangement roadway layout top-coal caving mining // Journal of China Coal Society. 2008. Vol. 33. No 9. Pp. 961 – 965. [in Chinese].

16. Manevich A. I., Kolikov K. S., Egorova E. A. Geocological aspects of stress-strain state modeling results of Leninsky coal deposit (Kuzbass, Russia). *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. Vol. 19. No 4. Pp. ES4002. DOI: 10.2205/2019ES000663.

17. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385 – 390. DOI: 10.4028/www.scientific.net / MSF.931.385.

18. Korshunov G. I., Andreev R. E., Gridina E. B. Calculation of gas-dynamic parameters in powder chamber of a blast hole // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. No 2. Pp. 69 – 78.

19. Приказ Ростехнадзора от 01.12.2011 № 678 (ред. от 25.09.2018) «Об утверждении Положения об аэрогазовом контроле в угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2011 № 22812).

20. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Загоршменный И. М., Решетняк С. Н. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт // *Уголь*. – 2019. – № 3 (1116). – С. 46 – 49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

21. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Решетняк С. Н. Повышение уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты // *Горный журнал*. – 2019. – № 4. – С. 85 – 89.

22. Поздняков Г. А., Голоскоков С. И., Голоскоков Е. И., Закутский Е. Л. Проблемы и перспективы развития систем мониторинга взрывобезопасности горных выработок // *Горная промышленность*. – 2016. – № 4 (128). – С. 66.

23. Гоффарт Т. В., Новиков А. В., Паневников К. В. Сканирующий (динамический) газовый контроль в угольных шахтах // *Безопасность труда в промышленности*. – 2017. – № 6. – С. 59 – 62. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-6-59-62.

24. Ушаков В. К. Анализ затрат на создание и эксплуатацию шахтных вентиляционных систем с целью повышения безопасности труда // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 6. – С. 214 – 221. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-214-221.

25. Ушаков В. К. Динамическая иерархическая сегментация шахтных вентиляционных систем при моделировании способов повышения аэрологической безопасности труда // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 12. – С. 76 – 85. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-76-85. **ИИЭ**

REFERENCES

1. Korshunov G. I., Rudakov M. L., Kabanov E. I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. Vol. 9. No 1. Pp. 181 – 186. DOI: 10.14505/jemt.v9.1(25).23.

2. Filin A. E., Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*. 2018. No 1. Pp. 31 – 34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.

3. Kabanov E. I., Korshunov G. I., Rodionov V. A. Expert system based on fuzzy logic for assessment of methane and dust explosion risk in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 8, pp. 85 – 88. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.17.

4. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

5. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Reshetnyak S. N. The importance of improving energy efficiency and safety of coal mine extraction area. *Ugol'*. 2018, no 10 (1111), pp. 66 – 71. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-67.

6. *Rudnichnaya ventilyatsiya: Spravochnik*. Pod red. K. Z. Ushakova [Mine ventilation: Handbook. K. Z. Ushakov (Ed.)], Moscow, Nedra, 1988, 440 p.

7. Landry M.J. *The coset construction for non-equilibrium systems*. High Energy Physics – Theory. Submitted on 27 Dec 2019, p. 35. <https://arxiv.org/abs/1912.12301>.
8. Baggioli M., Landry M.J. *Effective field theory for quasicrystals and phason dynamics* [arXiv:2008.05339 [hep-th]].
9. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Solid Fuel Chemistry*. 2015. Vol. 49. No 6. Pp. 381 – 386.
10. Filin A.E., Ovchinnikova T.I., Zinov'eva O.M., Merkulova A.M. Advance of pulsating ventilation in mining. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no 3, pp. 67 – 71. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.
11. Kolikov K.S., Mazina I.E., Manevich A.I. Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018. No 2. Pp. 15 – 17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.
12. Batugin A.S. Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development*. 2020. Vol. 6. Pp. 1261 – 1268.
13. 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.
14. Batugin A., Musina V., Golovko I. Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 95. Article 042023. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042023.
15. Wang Zhiqiang, Zhao Jingli, Zhang Baoyou, Liu P.-C. Stable characters of key stratum in stagger arrangement roadway layout top-coal caving mining. *Journal of China Coal Society*. 2008. Vol. 33. No 9. Pp. 961 – 965. [in Chinese].
16. Manevich A.I., Kolikov K.S., Egorova E.A. Geoecological aspects of stress-strain state modeling results of Leninsky coal deposit (Kuzbass, Russia). *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. Vol. 19. No 4. Pp. ES4002. DOI: 10.2205/2019ES000663.
17. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385 – 390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385.
18. Korshunov G.I., Andreev R.E., Gridina E.B. Calculation of gas-dynamic parameters in powder chamber of a blast hole. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. No 2. Pp. 69 – 78.
19. *Prikaz Rostekhnadzora ot 01.12.2011 № 678 (red. ot 25.09.2018) «Ob utverzhdenii Polozheniya ob aerogazovom kontrole v ugol'nykh shakhtakh»* [Order of Rostekhnadzor dated 01.12.2011 No. 678 (revised from 25.09.2018) «On approval of the Regulation on air-gas control in coal mines»]. [In Russ].
20. Kopylov K.N., Kubrin S.S., Zakorshmennyy I.M., Reshetnyak S.N. Reserves of increase of efficiency of coal extraction sections of coal mines. *Ugol'*. 2019, no 3 (1116), pp. 46 – 49. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.
21. Kopylov K.N., Kubrin S.S., Reshetnyak S.N. Improvement of energy efficiency and safety in coal longwalls. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 4, pp. 85 – 89. [In Russ].
22. Pozdnyakov G.A., Goloskokov S.I., Goloskokov E.I., Zakutskiy E.L. Problems and prospects for the development of monitoring systems for the explosion safety of mine workings. *Russian Mining Industry*. 2016, no 4 (128), pp. 66. [In Russ].
23. Goffart T.V., Novikov A.V., Panevnikov K.V. Scanning (dynamic) gas control in the coal mines. *Occupational Safety in Industry*. 2017, no 6, pp. 59 – 62. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-6-59-62.
24. Ushakov V.K. Cost estimate of mine ventilation system design and operation towards enhanced labor safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 6, pp. 214 – 221. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-214-221.

25. Ushakov V. K. Dynamic hierarchical segmentation of mine ventilation systems in modeling methods of improvement of aerological safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 12, pp. 76–85. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-76-85.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Скопинцева Ольга Васильевна¹ — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: skopintseva54@mail.ru,

Баловцев Сергей Владимирович¹ — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: Balovcev@yandex.ru,

¹ НИТУ «МИСиС».

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

O. V. Skopintseva¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: skopintseva54@mail.ru,

S. V. Balovtsev¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Balovcev@yandex.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

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

Получена редакцией 07.08.2020; получена после рецензии 02.10.2020; принята к печати 10.12.2020.

Received by the editors 07.08.2020; received after the review 02.10.2020; accepted for printing 10.12.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ, ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

(2020, № 10, СБ 31, 76 с.)

Коллектив авторов

Эффективность технической модернизации горного производства сдерживается изменчивостью горно-геологических и горнотехнических условий снижающих достоверность проектирования, планирования горных работ и эффективность текущего управления производством. Для обеспечения рентабельной работы горного производства нужны интеллектуальные погрузочно-транспортные комплексы, обеспечивающие ритмичность работы за счет способности адекватно реагировать на изменение горнотехнических условий. Предложено решение задачи качественного информационного обеспечения проектирования, планирования и управления горными работами, что направлено на переход к роботизированному горному производству.

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF DESIGN AND MANAGEMENT OF MINING OPERATIONS BASED ON MODERN INTELLIGENT TECHNICAL, SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXES

Team of authors

The effectiveness of technical modernization of mining production is constrained by the variability of geological and mining conditions that reduce the reliability of design, planning of mining operations and the effectiveness of current production management. To ensure the cost-effective operation of mining production, we need intelligent loading and transport systems that ensure the rhythm of work due to the ability to adequately respond to changes in mining conditions. A solution to the problem of high-quality information support for the design, planning and management of mining operations is proposed, which is aimed at the transition to robotic mining.