

АНАЛИЗ ГАЗОВОГО БАЛАНСА ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н. О. Каледина¹, К. Н. Чечель¹

¹ Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Обоснована роль анализа газового баланса в системе управления газовой выделением газообильной шахты, цели и задачи этого анализа, а также предложения по методике определения основных составляющих газового баланса выемочного участка по данным дистанционного аэрогазового контроля. Указывается, что требования правил безопасности к расстановке датчиков контроля метана и скоростей движения воздуха, на которые ориентируются проектировщики, недостаточны для определения газового баланса выемочного участка. Для автоматического контроля динамики газового баланса в системе аэрогазового контроля участка необходимо увеличить количество замерных станций и разработать алгоритмы, учитывающие осреднение измеряемой скорости движения и вычисления интенсивности каждого источника метановыделения в пределах участка. При этом, в случае применения дегазации, для целей анализа динамики газового баланса необходимо одновременно контролировать параметры газовой смеси в вентиляционной и дегазационной сетях. При комбинированных схемах управления газовой выделением, предусматривающих многоштрековую подготовку для обеспечения обособленного разбавления метана по источникам его поступления, изолированный отвод метана и дегазацию, предлагаемые решения усложняют обслуживание системы аэрогазового контроля и автоматической газовой защиты за счет количества датчиков, большинство из которых необходимо перемещать по мере подвигания очистного забоя. Это усложнение компенсируется полной картиной потоков газовой смеси в пределах выемочного участка, возможностью в реальном режиме времени отслеживать достижение проектных показателей всех способов управления газовой выделением, прогнозировать изменение газообильности каждого источника при изменении нагрузки на очистной забой, обоснованно выбирать объекты и способы дегазации, уточнять параметры схем дегазации, т.е. управлять эффективностью функционирования вентиляционно-дегазационных систем угольной шахты.

Ключевые слова: выемочный участок; газовый баланс, источники метановыделения; автоматический контроль; места установки датчиков; концентрация метана; скорость движения воздуха; интерпретация результатов измерений; управление метановыделением.

Для цитирования: Каледина Н. О., Чечель К. Н. Анализ газового баланса выемочного участка в обеспечении аэрологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. – С. 5–16. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_5.

Analysis of the gas balance of the exhaust area in ensuring aerological security

N. O. Kaledina¹, K. N. Chechel¹

¹ Mining Institute NUST "MISIS", Moscow, Russia

Abstract: Substantiates the role of the gas balance analysis in the gas emission control system of a gas-rich mine, the goals and objectives of this analysis, as well as proposals for the methodology for determining the main components of the gas balance of an extraction area based on remote air gas monitoring data. It is indicated that the requirements of the safety rules for the placement of methane and air velocity control sensors, which the designers are guided by, are insufficient to determine the gas balance of the mining area. To automatically control the dynamics of the gas balance in the air-gas control system of the site, it is necessary to increase the number of metering stations and develop algorithms that take into account the averaging of the measured speed of movement and the calculation of the intensity of each source of methane release within the site. At the same time, in the case of degassing, for the purpose of analyzing the dynamics of the gas balance, it is necessary to simultaneously control the parameters of the gas-air mixture in the ventilation and degassing networks. With combined gas emission control schemes that provide for multi-track preparation to ensure separate dilution of methane according to its sources, isolated methane removal and degassing, the proposed solutions will complicate the maintenance of the air gas control system and automatic gas protection not only due to the number of sensors, but also due to the fact that most of them need to be moved as the production face moves forward. But this complication is compensated by the full picture of the gas-air mixture flows within the extraction area, the ability to monitor in real time the achievement of design indicators of all methods of gas emission control, predict the change in gas content of each source when the load on the working face changes, reasonably select objects and methods of degassing, clarify the parameters of the schemes degassing, that is, to really manage the efficiency of the ventilation and degassing systems of a coal mine.

Key words: exhaust area; gas balance, sources of methane release; automatic control; places of installation of sensors; methane concentration; air speed; interpretation of measurement results; methane release management.

For citation: Kaledina N. O., Chechel K. N. Analysis of the gas balance of the exhaust area in ensuring aerological security. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10-1):5–16. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_5.

Введение

Под газовым балансом участка принято понимать его газообильность (абсолютную или относительную), представленную как сумму газообильностей основных источников газоделения: разрабатываемого пласта, сближенных пластов-спутников и вмещающих пород при проектировании (по данным прогноза), или поверхности обнажения разрабатываемого пласта, отбитого угля (за пределами очистного забоя) и выработанного пространства для действующей шахты.

Требование о необходимости анализа газового баланса выемочных участков газообильных шахт уже много лет содержится в нормативных

документах, касающихся аэрологической безопасности [1, 2]. Однако на его исполнении надзорные органы не настаивали, т.к. в правилах безопасности для угольных шахт не раскрываются ни цели, ни требования к методам его проведения, ни формы отчетности. И на сегодняшний день какие-либо методические документы по реализации такого анализа отсутствуют. Тогда как для оценки эффективности применяемых средств управления метановыделением, соответствия проектным решениям и прогнозирования газообильности выработок участка [3, 4], а также определения возможности полезного использования шахтного метана [5, 6], необходимо анализиро-

вать динамику газообильности каждого источника.

Проектируемые системы аэрогазового контроля направлены на выполнение требований правил безопасности по допустимым концентрациям метана, а не на контроль газообильности горных выработок и газового баланса участка, т.е. они не обеспечивают возможности анализа газового баланса и его динамики. Для автоматического контроля газообильности источников выделения метана на участке необходимо совершенствование системы аэрогазового контроля [7].

Методы и обоснование

Формально элементы оценки газового баланса имеют место при проектировании: в разделе технического проекта «Вентиляция» и при разработке паспортов (проектов) выемочных участков при эксплуатации шахты. Фактически интенсивность источников используется только для статического прогноза газообильности на определенный момент времени (как правило, такую оценку дают по средним или максимальным значениям) для обоснования схемы проветривания и параметров системы дегазации выемочного участка.

Однако цели анализа газового баланса несколько иные: важно не только определить долю каждого источника, но и отслеживать динамику каждого источника для оценки эффективности управления газовой выделением и обеспеченности выработок с источниками газовой выделением расчетным количеством воздуха. Особенно большое значение такой анализ приобретает в условиях реформы контрольно-надзорной деятельности [8], когда предприятие или компания самостоятельно должны принимать и контролировать исполнение решений по обеспечению метанобезо-

пасности, а государственные органы надзора будут оценивать уровень безопасности работ по укрупненным показателям (индикаторам), не вдаваясь в детали, если предприятие работает без аварий и не допускает роста травматизма.

Для того, чтобы был высокий уровень метановой безопасности, требуется обеспечить эффективность управления газовой выделением не ниже, чем предусмотрено проектом. Это значит, что в режиме мониторинга состояния атмосферы необходимо автоматически отслеживать, достигаются ли проектные значения обеспеченности очистных и подготовительных забоев воздухом, запланированные коэффициенты дегазации и другие показатели, характеризующие функционирование вентиляционно-дегазационной системы. Накопление данных по динамике газового баланса участка также позволит прогнозировать изменение газообильности каждого источника метановой выделением при изменяющихся технико-экономических показателях, что имеет важнейшее значение при планировании нагрузок на забои. Современные системы контроля параметров шахтной атмосферы позволяют все это делать в режиме реального времени [9]. Проблема состоит только в том, что в системах дистанционного контроля параметров атмосферы отсутствуют алгоритмы определения газового баланса, т.е. такие задачи перед многофункциональными системами обеспечения безопасности не ставятся. Такое положение приводит к тому, что эффективность управления газовой выделением часто не соответствует заложенным в проекте показателям, что, в свою очередь, может приводить к аварийным газификациям.

Системы автоматического контроля состояния шахтной атмосферы проек-

тируются в соответствии с нормативными требованиями к ПДК метана, установленными действующими правилами безопасности [10], т.е. на поступающих и исходящих струях очистных и подготовительных забоев, выемочных участков, камер и выработок для изолированного отвода метана; пластов, крыльев и шахты в целом; в дегазационных системах; а также для контроля в местах, потенциально опасных по формированию локальных скоплений метана. Таким образом, на выемочном участке устанавливаются три датчика, измеряющие концентрацию метана в вентиляционных струях (по одному датчику на поступающей в лаву струе и исходящей из нее, один — на исходящей выемочного участка) и отключающие электроэнергию при достижении 1% метана, и один или два (в зависимости от схемы проветривания), измеряющие концентрацию в местах, опасных по местным скоплениям, и отключающие электроэнергию при достижении концентрации 2%. Такой принцип расстановки датчиков соответствует цели создания системы газового контроля, а именно контролю за концентрациями метана.

Сегодня системы автоматического контроля воздуха в шахте не решают задачу автоматического определения газообильности, хотя технические возможности для этого имеются.

Для получения информации, необходимой для оперативного определения газообильности горных выработок, необходимо знать значения средних по сечению скоростей движения воздуха и концентраций метана [11], поскольку и расчет объемных расходов воздуха и газа, и нормативные значения ПДК в нормативных документах указываются для средних по сечению значений. Это связано с неравномерностью распределения

концентраций в плоскости поперечного сечения выработки. Исключением являются допустимые концентрации в местных скоплениях, которые определяются в любой точке сечения, где возможно формирование скоплений динамически активных газов (метана, водорода, диоксида углерода).

Неравномерность распределения автоматически определяемых параметров (скорость движения воздуха и концентрация газа) зависит от интенсивности турбулизации потока, зависящей от средней скорости движения воздуха, геометрической формы и размеров поперечного сечения выработки [3]. Поэтому методы измерения должны обеспечивать осреднение этих параметров по площади сечения. Сегодня серийные приборы, применяемые в шахтах, позволяют получить осредненные значения только при ручных замерах, поэтому для автоматического определения газообильности необходимо вводить поправочные коэффициенты на точечный замер стационарного датчика. Эти коэффициенты должны определяться и корректироваться периодически ручным контролем, или нужно переходить на системы с искусственным интеллектом [12].

Для того, чтобы автоматически определить газовый баланс участка, необходимо знать не только общую газообильность участка или забоя, а все газовые потоки в вентиляционной сети данного участка. Для этого необходимо увеличивать количество датчиков таким образом, чтобы измерять газообильность каждой выработки участка. Определение мест контроля параметров в шахтной вентиляционной сети (далее ШВС) должно производиться для каждого участка индивидуально, с учетом особенностей схемы вентиляции и технологической схемы выемки [13].

В анализе газового баланса выемочного участка необходимо учитывать также газ, отводимый дегазационной системой, т.е. система контроля метана в ШВС должна сопрягаться с системой контроля метановоздушной смеси в дегазационной сети [9].

Ниже приведен пример расстановки датчиков для выемочного участка реальной шахты с целью автоматического определения составляющих газового баланса.

Результаты

Система автоматического газового контроля (АГК) предназначена для обеспечения взрывобезопасности горных работ путем автоматического отключения выемочного оборудования при превышении ПДК метана в точке размещения любого датчика, входящего в систему мониторинга. Система АГК, осуществляющая непрерывный автоматический контроль параметров, характеризующих газовой и пылевой режимы шахты, сбор, отображение, хранение и анализ информации управления установками и оборудованием, является составной частью многофункциональных систем безопасности угольных шахт (МФСБ) [14], что требует ее модернизации в соответствии с современными требованиями.

Согласно требованиям ПБ, типовыми проектами систем АГЗ для выемочных участков предусматриваются датчики, которые по их назначению можно разделить на следующие три группы (поясним на примере технологической схемы отработки выемочного участка, приведенной на рис. 1).

1 группа — условно стационарные датчики с диапазоном измерения концентраций 1—5%, контролирующие концентрации метана в вентиляционных струях и устанавливающиеся в верхней части выработки:

– в поступающих на участок и в очистной забой струях датчики метана М1, М2 и М3 с уставкой срабатывания (отключения оборудования) 0,5% устанавливаются соответственно в сбойке перед входом в конвейерный штрек 2-бис, на конвейерном штреке (для исключения влияния возмущений, вносимых в распределение поля скоростей местными сопротивлениями, датчики устанавливаются на расстоянии 10÷20 м после сопряжений выработок) и в конвейерном штреке 2 бис на расстоянии не более 5 м от «окна» лавы у стенки, противоположной выходу из очистного забоя, в верхней части выработки;

– в исходящих струях из очистного забоя и с выемочного участка датчики метана М5 и М6 с уставкой срабатывания 1,0% устанавливаются соответственно в вентиляционном штреке 2 бис на расстоянии 10÷20 м от очистной выработки и в 10÷20 м от сопряжения с конвейерным бремсбергом; для пластов, опасных по внезапным выбросам, эти датчики должны иметь диапазон измерения 1—100%.

2 группа — условно стационарные датчики с уставкой срабатывания 2,0%, устанавливающиеся в верхней части выработки и контролирующие концентрацию метана в местах, опасных по формированию местных скоплений метана: датчик М4 с диапазоном измерения объемной доли метана 0—100% устанавливается на сопряжении лавы с вентиляционным штреком 2 бис у ограждающего элемента механизированной крепи в верхней части выработки.

При выявлении других мест, потенциально опасных по микроциркуляции или повышенному притоку метана, по локальному снижению скорости движения воздуха и т.п., туда также устанавливаются дополнительные датчики этой группы.

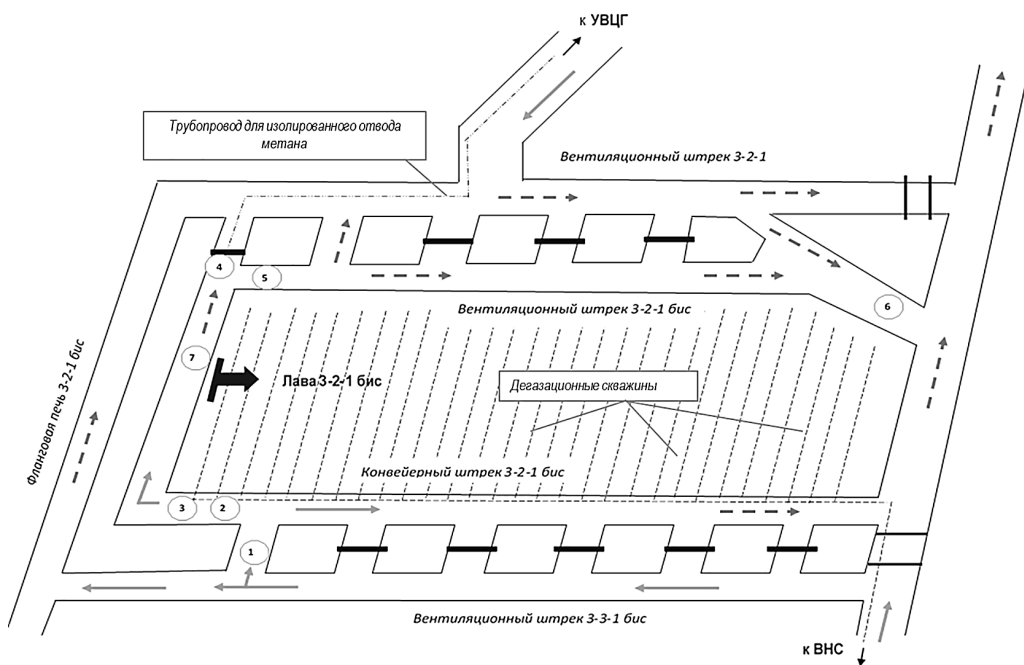


Рис. 1. Схема расстановки датчиков АГЗ на выемочном участке согласно требованиям ПБ
 Fig. 1. Gas sensor array in extraction panel as per safety regulations

3 группа — датчики с уставкой срабатывания 2,0%, которые устанавливаются на движущемся оборудовании для контроля концентрации метана в точках, максимально приближенных к разрушаемому массиву, соответствующих наиболее опасным зонам по объемам выделения метана (также относятся к контролю местных скоплений):

- датчик М7, имеющий диапазон измерения метана 0–2,5%, устанавливается на очистном комбайне в призабойной зоне активного метановыделения из свежесобранной поверхности пласта и отбиваемого угля;

- для контроля этого же источника предусматривается также дополнительная установка датчиков метана на очистном комбайне (по торцам комбайна и в месте ввода комбайнового кабеля в пусковое устройство двигателя), которые при обнаружении пре-

вышения ПДК отключают комбайн за счет воздействия на его пусковой аппарат.

Описанный подход к размещению датчиков метана обеспечивает контроль соответствия фактических концентраций требованиям ПБ, но не позволяет определить баланс газо-воздушной смеси по источникам и соответствие достигнутой эффективности дегазации проектным решениям.

На рис. 2 приведена схема размещения датчиков метана, позволяющая обеспечить возможность оперативного определения газового баланса по данным текущего контроля состояния атмосферы выработок выемочного участка.

В данной схеме предусмотрено увеличение количества датчиков первой группы, измеряющих параметры газозвушной смеси во всех поступающих и исходящих струях в пре-

делах вентиляционной сети участка. Для приведенной схемы выемки соответственно добавляются датчики: в поступающей струе М8 (для определения газовой выделенности из отбитого угля), М11 у сопряжения с фланговой печью и М12 на диагональной печи (к УВЦГ); в исходящих на вентиляционном штреке: датчики М13 за перемычкой, М14 после открытой сбойки и М15 перед сопряжением с конвейерным бремсбергом; а также датчики в трубопроводе для изолированного отвода метана М9 и в участковом дегазационном трубопроводе М10.

Кроме того, для мониторинга газообильности каждого источника выделения метана необходимо устанавливать датчики контроля скорости движения воздуха в пределах выемочного участка в точках размещения датчиков метана данной группы. При этом средняя по сечению скорость должна определяться программными средствами, учитывающими неравномерность распределения скоростей движения в поперечном сечении выработки.

При применении дегазации в анализе газового баланса к газовым потокам в вентиляционной сети следует добавлять дебиты метана, извлекаемого из каждого дегазируемого источника, т.е. необходимо обеспечивать контроль концентраций и дебитов метана в дегазационных системах.

Обсуждение результатов

Систему аэрогазового контроля выемочных участков газообильных шахт рекомендуется совершенствовать на основе добавления функций, связанных с определением абсолютной газообильности и анализом газового баланса по данным оперативного контроля, что можно обеспечить путем увеличения числа точек контроля, включая участковую систему дегазации.

Полный анализ газового баланса в вентиляционно-дегазационной системе участка позволит оптимизировать текущие параметры дегазации с учетом влияния их на состав атмосферы, своевременно прогнозировать его опасные изменения и оперативно принимать обоснованные технические решения по повышению эффективности как вентиляции, так и дегазации, что объективно снизит риски аварийных ситуаций. Оптимизация параметров совместной работы систем вентиляции и дегазации повышает энергоэффективность обеих систем и извлечение кондиционных метановоздушных смесей, пригодных для полезного использования.

Точки контроля должны располагаться по ходу вентиляционной струи в начале и конце участка, где есть приток метана из определяемого источника, чтобы определить каждую составляющую газового баланса всех выемочных и проходческих участков, а также выработок более высокого уровня технологической иерархии (бремсберги, уклоны), в которых выделяется метан из выработанных пространств или транспортируемого отбитого угля. Схема расстановки датчиков определяется индивидуально для каждого вновь проектируемого очистного или проходческого участка применительно к фактической схеме проветривания; для выработок с распределенными источниками газовой выделенности за пределами участка (старые выработанные пространства, транспортируемый уголь) — в начале и конце каждой выработки. Места размещения измерительных пунктов должны соответствовать требованиям действующих нормативов [1, 2]. Те же требования относятся и к контролю токсичных и индикаторных газов, определяющих вероятность развития процесса самовозгорания.

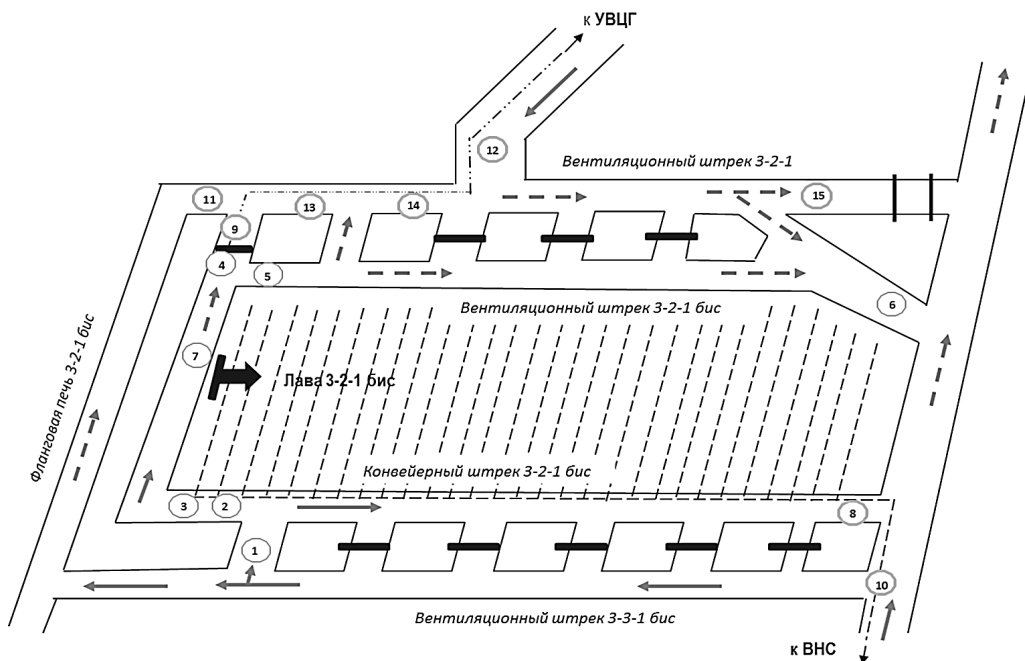


Рис. 2. Рекомендуемая схема расстановки датчиков на выемочном участке для АГЗ и оперативного определения газового баланса по данным контроля состояния атмосферы
 Fig. 2. Advisable arrangement of gas sensors in extraction panel for real-time gas analysis by the data of air condition control

Как отмечалось выше, для полного анализа газового баланса обязательным является контроль параметров дегазационной системы, обеспечивающий оперативное определение фактического коэффициента дегазации по дебиту удаляемой метановоздушной смеси и концентрации газа в ней. В участковой сети дегазационных трубопроводов должны оборудоваться замерные пункты для определения указанных параметров, позволяющие обеспечивать возможность периодических ручных замеров или/и непрерывный автоматический контроль [15]. Измерению подлежат значения вакуума, объемного расхода (или скорости движения) смеси и концентрации газа.

Для обеспечения автоматического регулирования эффективности подземной дегазации необходимо оборудовать замерными устройствами каждую

скважину; для определения текущего коэффициента дегазации участка достаточно измерять параметры метановоздушной смеси на каждом участковом трубопроводе. При разветвленной сети трубопроводов — по аналогии с вентиляционными сетями — замеры следует производить после каждого включения участковых трубопроводов в магистральные, а также на выходе из системы [16, 17]. При дегазации скважинами с поверхности контроль параметров дегазации осуществляется на выходе из скважины. На основе такого подхода возможно отслеживать подсосы воздуха в дегазационные трубопроводы и обеспечивать нормативные значения концентраций метана в них.

Повысить эффективность работы дегазационных установок возможно, дополнительно измеряя влажность

и запыленность удаляемой смеси в трубопроводах, что позволит также обеспечить подготовку каптируемой смеси из шахтной дегазационной системы к ее полезному использованию [5, 17]. С точки зрения обеспечения экологической безопасности (снижения платы за выбросы) и использования энергетического потенциала метана, обеспечение качества каптируемого газа имеет самостоятельное значение.

Для анализа фактического газового баланса необходимо сбивать общий газовый баланс по вентиляционной и дегазационной системам по участкам и по шахте в целом. Поэтому измерения в системах вентиляции и дегазации — как ручные, так и автоматические — должны быть синхронизированы по времени измерений [11].

Предлагаемые решения предусматривают существенное увеличение количества датчиков контроля, большинство из которых необходимо размещать по мере подвигания очистного забоя, что усложнит обслуживание системы аэрогазового контроля и автоматической газовой защиты. Однако это усложнение компенсируется получением полной картины потоков метановоздушной смеси в пределах выемочного участка, возможностью в реальном режиме времени отслеживать достижение проектных показателей всех способов управления газовой выделением, прогнозировать изменение газообильности каждого источника при изменении нагрузки на очистной забой, обоснованно выбирать объекты и способы дегазации при проектировании развития горных работ, уточнять параметры схем дегазации, т.е. реально управлять эффективностью функционирования вентиляционно-дегазационных систем угольной шахты.

Использование предлагаемого подхода приведет к созданию единой

системы аэрогазового контроля, обеспечивающей сбор данных, характеризующих состояние шахтной атмосферы и систем управления газовой выделением, анализ и хранение этих данных, что позволит повысить уровень интеграции средств подсистемы аэрологической безопасности в МФСБ.

Заключение

Для оценки уровня аэрологической безопасности высокопроизводительного выемочного участка необходимо контролировать не только соответствие концентраций газа установленным нормам, но и значения абсолютной газообильности как по участку в целом, так и по каждому источнику газовой выделения. Расчет абсолютной и относительной газообильности участка, его газового и воздушного баланса по узлам ШВС должен производиться по данным автоматического контроля скорости движения (расхода) воздуха и концентрации метана во всех поступающих и исходящих струях, а также в системе дегазации. Измерения в системах вентиляции и дегазации должны быть синхронизированы во времени.

Размещение пунктов замера в шахтной вентиляционной сети должно обеспечивать возможность оперативного определения всех составляющих газового баланса конкретного выемочного участка, их динамику и текущий коэффициент дегазации. Поэтому для определения схемы расстановки датчиков необходимо анализировать аэродинамическую сеть участка — по аналогии со схемой аэродинамических соединений выработок — с указанием источников метана у каждой ветви, газообильность которой должна фиксироваться.

Для анализа эффективности применяемых систем управления газовой выделением необходимо сбивать общий

воздушный и газовый баланс по вентиляционно-дегазационной системе как по участкам, так и по шахте в целом.

Разработанные рекомендации позволяют усовершенствовать участковую систему мониторинга метана и на более высоком уровне интегрировать ее (вместе с системой АГЗ) в МФСБ за счет усиления аналитической составляющей, обеспечивающей оперативность и объективность оценки

динамики газового баланса и эффективности управления газовой выделением на основе автоматического контроля параметров атмосферы.

Усложнение структуры и обслуживания системы аэрогазового контроля, связанное с реализацией предлагаемого подхода, компенсируется повышением качества управления газовой выделением и снижением риска возникновения аварийных ситуаций в шахте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Приказ Ростехнадзора от 01.12.2011 N 678 (зарегистрированы Минюстом России 29.12.2011, рег. N 22812). — отменены с 01.01.2021

2. Правила безопасности в угольных шахтах. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 N 550 (зарегистрирован Минюстом России 31.12.2013, рег. N 30961). — отменены с 01.01.2021

3. Ушаков К. З. Газовая динамика шахт. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во МГГУ, 2004. — 480 с. (Горные науки).

4. Yao Banghua, Ma Qingqing, Wei Jianping, Ma Jianhong, Cai Donglin. Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 4. P. 637–643

5. Малашкина В. А. Исследование возможностей повышения эффективности подземной дегазации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 131–137. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-131-137.

6. Kashif A., Shumaila M. Coal Seam Methane Abatement and Utilization Techniques with Availability and Feasibility Criteria / ASTES Journal. Vol. 1, Issue 1, Page 1–10, 2016. DOI: 10.25046/aj010101

7. Смирняков В. В., Романов А. Ф., Попов М. М. Совершенствование методов и технических средств автоматической газовой защиты на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. Специальный выпуск. — № 60-2. — С. 438–446.

8. Каледина Н. О. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности горных предприятий // — 2020. Специальный выпуск. № 6-1. — С. 5–14.

9. Качурин Н. М. Повышение точности определения количества воздуха при газовоздушных съемках в угольных шахтах и рудниках / Качурин Н. М., Воробьев С. А., Васильев П. В., Шкуратский Д. Н. // Безопасность жизнедеятельности. 2016. № 2 (182). С. 10–13.

10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 N 61587).

11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020, N 61918).

12. Лебедев Г. Н., Певзнер Л. Д. Нейросетевое решение задачи прогнозирующего контроля содержания метана в шахтной выработке / Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 4 (131). С. 46–48.

13. Meyer Varicon C. F. Advancing the technology of methane monitoring on a continuous miner. Journal of the mine ventilation Society of South Africa. Volume 71 №3. – 2018. – 12 – 20 pp.

14. ГОСТ Р 58652 – 2019 Оборудование горно-шахтное, «Многофункциональные системы безопасности угольных шахт», дата введения 2020 – 07 – 01.

15. Karacan C. Özgen, Felicia A. Ruiz, Michael Cotè, Sally Phipps. Coalmine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction. // International Journal of Coal Geology. Volume 86, Issues 2 – 3, 1 May 2011, Pages 121 – 156.

16. Luxbacher G. W., Ramani R. V. The Interrelationships between Coal Mine Plant and Ventilation System Design, Proc. Second International Mine Ventilation Congress. AIME, New York, 1980, pp. 73 – 82.

17. Малашкина В. А. Мониторинг эффективности системы дегазации угольной шахты – основа безопасного труда горнорабочих. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 38 – 45. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45. **MIAB**

REFERENCES

1. *Polozhenie ob aerogazovom kontrole v ugol'nyh shahtah. Prikaz Rostekhnadzora ot 01.12.2011 N 678 (zaregistrovany Minyustom Rossii 29.12.2011, reg. N 22812). otmeneny s 01.01.2021* [Regulations on air-gas control in coal mines. Order of Rostekhnadzor dated 01.12.2011 N 678 (registered by the Ministry of Justice of Russia on 29.12.2011, reg. N 22812). canceled from 01/01/2021] [In Russ]

2. *Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah. Prikaz Rostekhnadzora ot 19.11.2013 N 550 (zaregistrovan Minyustom Rossii 31.12.2013, reg. N 30961). otmeneny s 01.01.2021* [Safety rules in coal mines. Rostekhnadzor order of November 19, 2013 N 550 (registered by the Ministry of Justice of Russia on December 31, 2013, reg. N 30961). canceled from 01/01/2021.] [In Russ]

3. Ushakov K. Z. *Gazovaya dinamika shaht. Izd. 2-e, pererab. i dop* [Mine gas dynamics. Ed. 2nd, rev. and add]. Moscow: Izd-vo MGGU, 2004. 480 p. (Gornye nauki). [In Russ]

4. Yao Banghua, Ma Qingqing, Wei Jianping, Ma Jianhong, Cai Donglin. Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Iss. 4. P. 637 – 643

5. Malashkina V. A. Issledovanie vozmozhnostej povysheniya effektivnosti podzemnoj degazacii ugol'nyh shaht. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 9. pp. 131 – 137. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-131-137. [In Russ]

6. Kashif A., Shumaila M. Coal Seam Methane Abatement and Utilization Techniques with Availability and Feasibility Criteria / *ASTES Journal*. Vol. 1, Issue 1, Page no. 1 – 10, 2016. DOI: 10.25046/aj010101.

7. Smirnyakov V. V., Romanov A. F., Popov M. M. Improvement of methods and technical means of automatic gas protection in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. Special'nyj vypusk no. 60-2. pp. 438 – 446. [In Russ]

8. Kaledina N. O. Risk-based approach in ensuring industrial safety of mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* no. 6-1, 2020. pp. 5 – 14. [In Russ]

9. Kachurin N. M., Vorob'ev S. A., Vasil'ev P. V., Shkuratskij D. N. Improving the accuracy of determining the amount of air during gas-air surveys in coal mines and mines. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2016. no. 2 (182). S. 10 – 13. [In Russ]

10. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah» (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 18.12.2020 N 61587)* [Federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules in coal mines” (Registered in the Ministry of Justice of Russia on December 18, 2020 N 61587).]. [In Russ]

11. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Instrukciya po aerologicheskoj bezopasnosti ugol'nyh shaht» (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 29.12.2020, N 61918)* [Federal norms and rules in the field of industrial safety “Instruction on upper-air safety of coal mines” (Registered in the Ministry of Justice of Russia 12/29/2020, N 61918)]. [In Russ]
12. Lebedev G. N., Pevzner L. D. Neural network solution to the problem of predictive control of methane content in mine workings. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2017. no. 4 (131). pp. 46 – 48. [In Russ]
13. Meyer Varicon C. F. Advancing the technology of methane monitoring on a continuous miner. *Journal of the mine ventilation Society of South Africa*. Volume 71 no.3. 2018. 12 – 20 pp.
14. *GOST R 58652–2019 Oborudovanie gorno-shahtnoe, «Mnogofunktional'nye sistemy bezopasnosti ugol'nyh shaht», data vvedeniya 2020 – 07 – 01.* [In Russ]
15. Karacan C. Özgen, Felicia A. Ruiz, Michael Cotè, Sally Phipps. Coalmine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction. *International Journal of Coal Geology*. Volume 86, Issues 2 – 3, 1 May 2011, pp. 121 – 156.
16. Luxbacher G. W., Ramani R. V. The Interrelationships between Coal Mine Plant and Ventilation System Design, Proc. Second International Mine Ventilation Congress. AIME, New York, 1980, pp. 73 – 82.
17. Malashkina V. A. Monitoring the efficiency of the coal mine degassing system is the basis for the safe work of miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* no. 6 – 1, 2020. pp. 38 – 45. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020 – 61 – 0-38 – 45. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Каледина Нина Олеговна*¹ – докт. техн. наук, профессор, e-mail: nok52@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-7292-7364;
*Чечель Кристина Николаевна*¹ – студент, e-mail kristina.chechel@bk.ru;
Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kaledina N. O., Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: nok52@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-7292-7364;
Chechel K. N., student, e-mail kristina.chechel@bk.ru;
Mining Institute NUST “MISiS”, Moscow, Russia.

Получена редакцией 30.06.2021; получена после рецензии 03.08.2021; принята к печати 10.09.2021.
Received by the editors 30.06.2021; received after the review 03.08.2021; accepted for printing 10.09.2021.

