

УДК 622.412:622.817

В.Н. МЕДВЕДЕВ, докт. техн. наук, зав. отд.; *МакНИИ, г. Макеевка*
М.Д. АЗБЕЛЬ, докт. техн. наук, гл. инженер; *ЗАО «ПРОМТЕХ»,*
г. Москва, РФ

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Представлены материалы, раскрывающие основные направления совершенствования методологии и принципов технической реализации мониторинга содержания метана в атмосфере горных выработок угольных шахт.

Ключевые слова: шахта, атмосфера, метан, мониторинг, взрыв, удушье, газоаналитическая техника, безопасность.

Современные методы борьбы с газовыделением при добыче угля подземным способом не исключают появление в рудничном воздухе горючих и взрывоопасных метановоздушных смесей (МВС). В этой связи для обеспечения безопасности труда в угольных шахтах по газовому фактору особое значение имеет объективный и оперативный мониторинг содержания метана в атмосфере горных выработок.

Благодаря ранее выполненным фундаментальным и прикладным работам созданы основы газового мониторинга угольных шахт и разработана метанометрическая техника [1-3]. Несмотря на это, число аварий, связанных с взрывами МВС, остается высоким. Кроме того, высок уровень травматизма, вызванного удушьем, когда смерть наступает от недостатка кислорода во вдыхаемом воздухе вследствие вытеснения его метаном. Все это указывает на необходимость дальнейшего совершенствования шахтной метанометрии и, в первую очередь, определения его стратегических направлений.

Целью статьи является разработка концепции мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере.

В ходе многолетних исследований был собран большой объем информации об авариях и детально изучены причины, влияющие на результаты мониторинга.

На стадии формирования аварий, связанных с взрывами газа и угольной пыли, подземными пожарами, газодинамическими явлениями и т.п., происходят определенные изменения в составе рудничной атмосферы.

Наиболее ярко это проявляется в отношении концентрации метана [4]. Объективные сведения о газовой обстановке в горных выработках, создают условия для оперативного реагирования на потенциальную опасность, и позволяют влиять на характер развития событий, что неоднократно подтверждено практикой [5].

Однако, изучение обстоятельств, предшествовавших крупным авариям, которые произошли в угольных шахтах Донбасса [6] и ряда регионов России [7], позволяет констатировать, что на этих предприятиях не уделялось должного внимания организации мониторинга содержания метана или применяемые технические средства не повлияли на процесс формирования аварийной обстановки. Это подтверждается отсутствием в месте аварии необходимых средств газового контроля, предусмотренных Правилами безопасности в угольных шахтах (ПБ), использованием непригодных для эксплуатации или недостаточно совершенных газоанализаторов, несвоевременностью контроля слоевых и местных скоплений метана, недостаточной обеспеченностью шахт газоанализаторами, сверхнормативным сроком их эксплуатации, низким уровнем метрологического обеспечения газоанализаторов, неуккомплектованностью штата служб аэрогазового контроля и т.п.

Материалы, полученные в ходе проведения данной работы, дали возможность выявить основные организационно-технические факторы, которые оказывают влияние на результаты мониторинга, и объединить их в структуру, представленную на рис. 1. Синтез этой структуры выполнен исходя из следующих аргументов.

Несанкционированное вмешательство со стороны обслуживающего персонала или заинтересованных лиц может оказать негативное влияние на процесс регистрации информации и исказить ранее полученные сведения. Кроме того, такое вмешательство в работу газоаналитической техники сказывается на безопасности ее функционирования, т.е. метанометр не может реализовать возложенные на него функции в результате противоправных или ошибочных действий шахтеров.

Безопасность функционирования изделий также зависит от качества профилактического обслуживания. Даже незначительные отступления от регламентных работ могут привести к недостоверным результатам мониторинга. В структуре учтено, что в основе безопасности функционирования метанометров лежат их характеристики и алгоритмы работы, которые находятся в прямой зависимости от глубины исследований, проведенных на этапе разработки изделий, культуры их производства, общего уровня развития приборостроения и длительности эксплуатации метанометров.

Результаты мониторинга не могут быть представительными, если количество метанометров, находящихся в горных выработках, или их ка-

ческие показатели не отвечают требованиям нормативных документов. Решение этих вопросов должно опираться на организационные меры, предусматривающие необходимое финансовое обеспечение приобретения газоанализаторов и вмешательство органов, контролирующих безопасность проводимых работ.

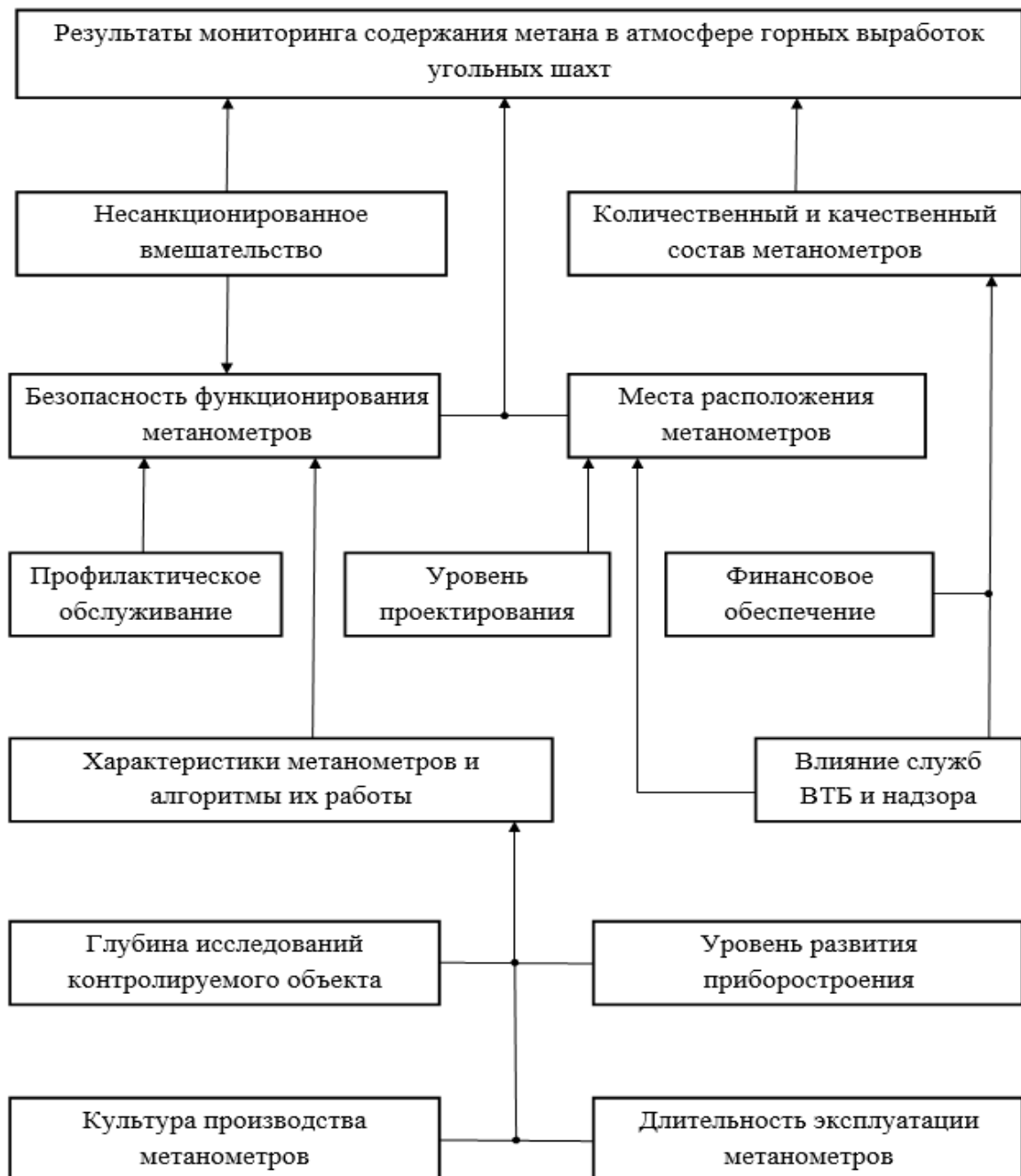


Рис. 1. Основные организационно-технические факторы, влияющие на результаты мониторинга содержания метана в рудничной атмосфере

Достоверность результатов мониторинга содержания метана, в силу специфики формирования газовой обстановки в горных выработках, зависит от мест расположения метанометров. Поэтому уровень подготовки проектной документации, применительно к стационарной метанометрической технике, и влияние контролирующих органов на расположение всех без исключения метанометров играют важную организационную роль в получении информации именно из зон, которые отмечены в ПБ.

Многие из рассмотренных факторов относятся к категории организационных. Часть из них можно исключить техническими методами. Например, ежедневная проверка работоспособности датчиков аппаратуры автоматического контроля метана (АКМ) требует наличия значительного количества маршрутных слесарей. Повысив надежность функционирования аппаратуры, отпадает необходимость в столь частых ее проверках, а, следовательно, исчезнет потребность в большом штате таких слесарей и снизится вероятность ошибок, свойственных обслуживающему персоналу. В полной мере это можно отнести и к переносным приборам газового контроля.

Безопасность функционирования метанометров, в свою очередь, зависит от многих факторов, среди которых особое место, как было отмечено, занимают их умышленные блокирования и сверхнормативный срок эксплуатации [8, 9]. На первый взгляд эти факторы могли быть исключены организационными методами. Первый – путем повышения трудовой дисциплины и ответственности, а второй – своевременной заменой метанометрической техники, которая отработала расчетный срок службы. Однако, в связи с системными их проявлениями, здесь также необходим переход от организационных методов к техническим. Обращают на себя внимание аварии с локальным формированием взрывоопасных концентраций метана, когда стационарная аппаратура АКМ не фиксировала до взрыва превышения предельно допустимых норм по причине отсутствия повышенного содержания газа в зонах контроля, а переносные автоматические приборы, находившиеся у горнорабочих, сигнализировали об опасности. Это свидетельствует об игнорировании в этих случаях сведениями о газовой обстановке. Привычка работать в условиях постоянного присутствия опасного производственного фактора, как известно, притупляет чувство самосохранения.

Решить задачу более полного сбора данных о содержании метана в рудничной атмосфере и практически свести к минимуму случаи пренебрежительного отношения к газовой опасности со стороны горнорабочих можно путем передачи на поверхность информации от каждого газоанализатора, включая переносные автоматические приборы, и путем использования в этих изделиях «черных ящиков». При таких методах появляется

возможность на поверхности подробно оценить общую картину газовой обстановки и принять соответствующие меры.

Если одновременно с данными о содержании метана передавать от переносных приборов сведения о табельном номере горнорабочего и автоматически определять место его пребывания, то открывается перспектива централизованного мониторинга опасности ведения работ по газовому фактору на конкретном участке шахты и в целом по шахте. Кроме того, каждый горнорабочий, зная о регистрации данных поступающих на поверхность от закрепленного за ним метанометра, и меру ответственности за нарушение ПБ, не станет игнорировать сведения о газовой обстановке [10, 11].

Отличие между переданной на поверхность текущей информации и зарегистрированной в «черном ящике» заключается во времени ее получения. В первом случае это будет происходить в реальном времени, а во втором – после выдачи изделия из шахты.

Среди вопросов, связанных с повышением эффективности мониторинга содержания метана, особое место занимают способы информационного обеспечения горнорабочих, на основе которых можно оперативно сформировать адекватную модель поведения в конкретной газовой обстановке. Связано это с тем, что все процессы метановыделения в угольных шахтах являются потенциально опасными. Даже относительно небольшие объемы выделяющегося газа при недостаточном проветривании горных выработок могут привести к появлению в отдельных зонах не только взрывоопасных, но и удушливых значений концентрации метана.

Так, при соблюдении определенных условий (исправном оборудовании, достаточном количестве подаваемого в горную выработку воздуха и т.п.) и отсутствии необычных газовыделений, процессы изменения концентрации метана протекают таким образом, что максимальные их значения находятся ниже предельно допустимого уровня. Формирующаяся при этом газовая ситуация считается неопасной.

Если в ходе технологического процесса добычи угля будет происходить превышение предельно допустимого уровня содержания метана, но значения концентрации не превысят нижнего предела взрываемости, то такую газовую ситуацию следует рассматривать как предаварийную.

Аварийная газовая ситуация формируется практически при всех экстремальных выделениях метана и при значительных отклонениях от регламентных условий в технологических процессах добычи угля. Эта ситуация характеризуется содержанием пяти и более объемных долей CH_4 и подразделяется на взрывоопасную, угнетающую и удушливую. Последние две газовые ситуации будем рассматривать как ситуации с пониженным содержанием кислорода в атмосфере горных выработок. Указанная клас-

сификация аварийных газовых ситуаций объясняется следующим.

Содержание метана в атмосфере горных выработок в диапазоне 5...15 % об. представляет собой, как известно, взрывчатую смесь. Кроме того, каждые 5 % об. CH_4 вытесняют примерно 1 % об. кислорода.

Согласно [12, 13] снижение объемной доли кислорода в воздухе примерно до 18 % приводит к быстрой утомляемости человека, появляются сонливость и головные боли, существенно уменьшается умственная активность; при 16 % - головокружение, учащенное дыхание, временная потеря сознания; при 12 % - необратимые изменения функционирования организма; менее 10 % - полная потеря сознания и смерть. Поэтому можно считать, что взрывоопасные газовые ситуации формируются при содержании метана в диапазоне 5...15 % об., угнетающие – от 15 до 50 % об. CH_4 и свыше 50 % об. CH_4 – удушливые.

Необходимость объединения значений концентрации метана в газовые ситуации вызвана спецификой человеческого мышления. Получив информацию о конкретном значении, он вынужден его сравнивать с ранее полученными сведениями об опасности, которая связана именно с этим значением концентрации. В ходе осмысления вырабатывается определенный образ, представляющий собой ту или иную газовую ситуацию.

Переход от многообразия числовых значений к понятным и легко воспринимаемым человеком образам, количество которых составляет несколько единиц, позволяет значительно увеличить оперативность принятия решений.

Экспериментально установлено, что при получении трехзначных числовых значений о концентрации метана группой предварительно обученных людей, состоящей из 30 человек, правильное формирование адекватной модели поведения (ведение работ, прекращение работ, выход из опасной зоны, защита органов дыхания с последующим выходом из опасной зоны) осуществлялось в 80 % случаев в среднем за 6 - 8 с. При получении этой группой информации о газовых ситуациях, правильное формирование адекватной модели поведения происходило практически в 100 % случаев за 1 – 1,5 с.

Все автоматические средства контроля содержания метана осуществляют оценку степени взрывоопасности рудничной атмосферы. Эта оценка реализуется путем измерения концентрации метана в атмосфере горных выработок и сравнения полученных данных с определенным заданным уровнем. При превышении уровня выдается командный сигнал на отключение электроэнергии из контролируемой зоны (в устройствах, в которых предусмотрена данная функция) и подачу светозвуковой предупредительной сигнализации без указания причин, вызвавших увеличение концентрации.

Отсутствие у горнорабочего сведений о причинах загазирования горных выработок в значительной мере усложняет решение вопросов по обеспечению газовой безопасности. К примеру, если произошло увеличение содержания метана в результате отклонений в технологии добычи угля, то должна быть отключена электроэнергия, прекращена работа и при необходимости покинута опасная зона. Увеличение концентрации метана, обусловленное газодинамическим явлением, требует оперативного отключения электроэнергии и действий, направленных, в первую очередь, на защиту органов дыхания.

С другой стороны, зная о возможности появления в отдельных случаях высоких значений концентрации метана, резко снижающих содержание кислорода в атмосфере горных выработок, и по-прежнему получая только информацию о превышении предельно допустимого уровня, горнорабочий может подвергнуться определенному эмоциональному стрессу. Страх перед предполагаемой опасностью может привести к ошибочным действиям и в результате – к травмам.

Итак, алгоритм работы существующих автоматических средств контроля содержания метана, следует рассматривать как простейший и неудовлетворяющий современным требованиям оперативного информирования горнорабочих о необходимости принятия строго определенных мер по обеспечению безопасности по газовому фактору.

Одно из направлений решения затронутого вопроса непосредственно вытекает из изложенного материала и заключается в автоматическом распознавании газовых ситуаций. Однако его следует рассматривать как первый шаг на пути совершенствования метанометрической техники для угольных шахт. Инерционные свойства средств мониторинга содержания метана, различного рода помехи, включая флуктуации концентрации, потребуют определенного промежутка времени для обработки поступающей информации. В результате, особенно при экстремальных выделениях метана, возможны запаздывания в распознавании, что приведет к уменьшению отрезка времени, необходимого для принятия строго определенных мер по обеспечению безопасности.

Выход из этого положения может быть найден при условии, что информация о появлении конкретной газовой ситуации будет выдана с упреждением, т.е. несколько раньше, чем ситуация наступит. Для получения такой информации необходимо средствам мониторинга содержания метана придать способность предвидеть ход событий. Под этим подразумевается способность средств к предсказанию (прогнозированию) газовых ситуаций.

Следует отметить, что прогнозирование не исключает предыдущее направление, связанное с обнаружением газовых ситуаций в текущий мо-

мент времени. Поэтому необходимо комплексное решение вопроса, при котором персонал шахты будет обладать сведениями о газовой ситуации в текущий момент времени и аналогичной информацией на некоторый промежуток времени вперед. В этом случае появляется возможность более детально осмыслить характер дальнейших действий. Наличие запаса времени в принятии окончательного решения позволит свести к минимуму ошибочность действий, а объективная информация о газовой обстановке расширит пределы в выборе стратегии поведения.

В отношении стационарной аппаратуры АКМ существуют определенные противоречия, связанные с размещением датчиков. В ряде случаев отсутствует возможность установить датчики таким образом, чтобы МВС вначале была автоматически оценена с позиции ее взрывоопасности, а затем – попадала в зону присутствия электрооборудования, находящегося под напряжением. В ряде случаев это реализовать не представляется возможным, например, в забоях подготовительных выработок. Функция прогнозирования, введенная в эту аппаратуру, открывает перспективу решения отмеченного противоречия.

На базе данного материала можно сформировать структуру, которая лежит в основе методов обнаружения и прогнозирования газовых ситуаций. Эта структура представлена на рис. 2.

Получение информации о процессе изменения концентрации метана является одним из важных этапов в предлагаемой структуре. На этом этапе должно быть осуществлено преобразование процентного содержания метана в пропорциональный электрический сигнал.

На этапе прогнозирования значений концентрации метана производится по определенному алгоритму обработка информации, полученной на предыдущем этапе [14]. При этом одним из основных критериев выступает минимизация ошибки прогнозирования.

Важной особенностью рассматриваемого этапа является прогнозирование возможно поздних значений с целью предельного упреждения в обнаружении вида газовых ситуаций. Однако было бы ошибочным стремиться к неограниченному увеличению времени прогноза, т.к. требуется осуществить прогноз на промежуток, который достаточен для принятия мер по обеспечению необходимой безопасности.

Распознавание газовых ситуаций по текущей информации и по прогнозным значениям решает однотипные задачи, хотя и на разных этапах. При распознавании по текущей информации осуществляется определение вида газовой ситуации в данный момент времени, а при распознавании по прогнозным значениям – в будущем.

Двумя последними звеньями в рассматриваемой структуре являются информирование персонала шахт о газовых ситуациях, которые сформиро-

вались и дополнительно прогнозируются на ближайшее время, а также защитное отключение электроэнергии. Возникающие при проектировании этих звеньев вопросы касаются способов представления, передачи, накопления информации, формирования командных сигналов и не представляют сложности для их реализации.

На базе данного материала можно сформировать структуру, которая лежит в основе методов обнаружения и прогнозирования газовых ситуаций. Эта структура представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема обнаружения и прогнозирования газовых ситуаций

Получение информации о процессе изменения концентрации метана является одним из важных этапов в предлагаемой структуре. На этом этапе должно быть осуществлено преобразование процентного содержания метана в пропорциональный электрический сигнал.

На этапе прогнозирования значений концентрации метана производится по определенному алгоритму обработка информации, полученной на предыдущем этапе [14]. При этом одним из основных критериев выступает

минимизация ошибки прогнозирования.

Важной особенностью рассматриваемого этапа является прогнозирование возможно поздних значений с целью предельного упреждения в обнаружении вида газовых ситуаций. Однако было бы ошибочным стремиться к неограниченному увеличению времени прогноза, т.к. требуется осуществить прогноз на промежуток, который достаточен для принятия мер по обеспечению необходимой безопасности.

Распознавание газовых ситуаций по текущей информации и по прогнозным значениям решает однотипные задачи, хотя и на разных этапах. При распознавании по текущей информации осуществляется определение вида газовой ситуации в данный момент времени, а при распознавании по прогнозным значениям – в будущем.

Двумя последними звеньями в рассматриваемой структуре являются информирование персонала шахт о газовых ситуациях, которые сформировались и дополнительно прогнозируются на ближайшее время, а также защитное отключение электроэнергии. Возникающие при проектировании этих звеньев вопросы касаются способов представления, передачи, накопления информации, формирования командных сигналов и не представляют сложности для их реализации.

Опираясь на представленные материалы можно сформировать концепцию развития мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере, которая предусматривает максимальное снижение влияния человека на результаты мониторинга; унификацию характеристик метанометров и методов их испытаний; осуществление централизованного сбора информации от каждого газоанализатора, включая переносные приборы; оснащение газоанализаторов «черными ящиками»; введение в алгоритмы работы метанометрической техники функций прогнозирования и распознавания газовых ситуаций; создание условий, препятствующих эксплуатации газоанализаторов, которые не отвечают требованиям нормативных документов.

ВЫВОДЫ

Установлено, что для повышения безопасности труда в угольных шахтах по газовому фактору необходимо дальнейшее развитие мониторинга содержания метана в атмосфере горных выработок. Для этого следует провести комплекс работ, которые предусматривают:

– переход от организационных способов решения задач в области метанометрии к техническим;

- автоматическое обнаружение несанкционированного вмешательства в работу метанометров;
- улучшение технических характеристик метанометров;
- переход от локального к сплошному централизованному мониторингу;
- фиксацию информации в «черных ящиках», вмонтированных в метанометры;
- переход от конкретных значений концентрации метана к обобщенным показателям – газовым ситуациям;
- автоматическое прогнозирование газовой обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
2. Азбель М.Д. Разработка многофункциональной автоматизированной системы аэрогазового контроля в угольных шахтах: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» / М.Д. Азбель. – Кемерово: НЦ ВостНИИ, 2002. – 42 с.
3. Kontrola gazow w atmosferze w kopalniach węgla kamiennogo Ukrainy / W.N. Medwedew, E.W. Beliaewa, A.L. Skliarow, B. Muranov // Mechanizacja i automatyzacja qornitwa: Czasopismo naukowo-techniczne Wydawca: Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. – 2011. – № 6 (484). – С. 3-21.
4. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах: в 3 т. / [А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, В.П. Колосюк и др.]; под ред. А.М. Брюханова. – Т. I. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 548 с.
5. Брюханов А.М. Анализ обстоятельств взрывов метана на угольных шахтах и разработка мероприятий по их предотвращению / А.М. Брюханов, А.Г. Мнухин, К.К. Бусыгин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 2002. – Вып.2. – С. 15–23.
6. Кашуба О. И. Оценка эффективности контроля содержания метана в рудничной атмосфере при крупных авариях в угольных шахтах / О. И. Кашуба, В. Н. Медведев, О. А. Демченко // Науковий вісник УкрНДПБ: наук. журн. / УкрНДПБ. – Київ: УкрНДПБ, 2012. – № 1 (25). – С. 19–22.
7. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / [А. Д. Рубан, В. Б. Артемьев, В. С. Забурдяев и др.]. – М.: Горное дело, 2011. – 501 с.
8. Приходько В.М. Предотвращение несанкционированного вмеша-

тельства в работу аппаратуры автоматического контроля метана / В. М. Приходько, В. Н. Медведев, Е. В. Беляева // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка - Донбасс, 1998. – С. 320–323.

9. Медведев В. Н. Применение метанометрической техники, отрабатываемой расчетный срок службы, для мониторинга рудничной атмосферы / В. Н. Медведев // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли : вторая междунар. науч.–практ. конф. : тезисы докл. – Макеевка: МакНИИ, 2007. – С. 45–47.

10. Кашуба О. И. Расширение информационного поля при централизованном сборе данных о содержании метана в атмосфере горных выработок / О. И. Кашуба, В. Н. Медведев // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: зб. наук. пр. / НТУ КПП. – Київ: НТУУ «КПП»: ЗАТ «Техновибух», 2007. – Вип. 15. – С. 107–112.

11. Дубилер Ю. С. К вопросу повышения достоверности данных о содержании метана в атмосфере горных выработок / Ю. С. Дубилер, В. Н. Медведев, В. М. Осипов // Уголь. – 2008. – № 6. – С. 36–37.

12. Уварова В.А. Методологические основы контроля пожароопасных и токсических свойств шахтных полимерных материалов: дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» / Уварова Варвара Александровна. – М., 2016. – 300 с.

13. Методические указания по специальному расследованию взрывов газа и пыли в угольных шахтах: – М., 1986. – 111 с.

14. Медведев В. Н. Прогнозирование значений концентрации метана в рудничной атмосфере при интенсивных газовыделениях в горные выработки / В. Н. Медведев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка - Донбасс, 2007. – Вып. 20. – С. 110–119.

Получено: 05.04.17

Materials have been presented which provide insight into the main ways for improvement of both methodology and principles of technical implementation of methane content monitoring in the air of coal mine openings.

Keywords: mine, air, methane, monitoring, explosion, asphyxia, gas analysis equipment, safety.