
II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622.412:622.817

В.Н. МЕДВЕДЕВ, докт. техн. наук, зав. отд.,
С.Н. ТЕРЕБИЛО, науч. сотрудник,
А.Л. СКЛЯРОВ, науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШАХТНЫХ МЕТАНОМЕТРОВ

Описаны методы диагностирования шахтной метанометрической техники и обобщены результаты их использования применительно к изделиям, длительно находившихся в эксплуатации. Обоснована целесообразность самодиагностики технического состояния метанометров.

Ключевые слова: шахта, метанометр, техническое состояние, диагностика, безопасность.

Материалы расследования аварий, связанных с взрывами, вспышками и горением метановоздушных смесей (МВС), свидетельствуют о недостаточной эффективности мониторинга газовой опасности в угольных шахтах [1, 2]. Среди комплекса вопросов, касающихся этой проблемы, ведущая роль принадлежит техническому состоянию метанометров, которые, в зависимости от назначения, осуществляют контроль объемной доли метана в атмосфере горных выработок, защитное отключение электроэнергии при превышении предельно допустимых уровней содержания отслеживаемого компонента и выполняют другие важные для безопасности труда функции по газовому фактору [3, 4].

Детальный анализ литературных источников показывает, что в области оценки технического состояния различного оборудования имеется значительное количество публикаций, позволяющих наглядно представить механизм проводимых работ [5, 6]. Однако непосредственно трансформировать эти сведения на шахтные газоанализаторы не представляется возможным в силу специфики таких изделий и условий их эксплуатации [7]. Следует учесть, что применяемые на шахтах Донбасса метанометры, в подавляющем большинстве, отработали средний (расчетный) срок службы, регламентированный нормативными документами. Это требует пристального внимания к техническому состоянию таких газоанализаторов по причине более высокой вероятности их отказов.

Цель статьи – обобщить методы и результаты оценки технического состояния шахтных метанометров, а также наметить пути повышения до-

стоверности мониторинга газовой опасности в горных выработках.

Как известно, метанометры могут быть функционально работоспособными (выполнять все возложенные на них функции с сохранением значений заданных параметров в требуемых пределах) и неисправными, когда невозможно реализовать хотя бы одну из функций, или если имеет место выход любого регламентированного параметра за нормируемые пределы. Для оценки, в каком из перечисленных состояний находится рассматриваемый газоанализатор, на практике применяют сопоставительный, тестовый, поверочный и углубленный методы их контроля, объединенные в общее понятие «диагностирование технического состояния шахтных метанометров» (диагностирование).

Сопоставительный метод легко реализуем, и заключается в сверке результатов измерений, проведенных в одной зоне двумя или несколькими метанометрами. Этот метод ежемесячно обязаны применять горные мастера участков, в выработках которых установлена стационарная аппаратура автоматического контроля содержания метана (АКМ) [8]. В роли средств диагностирования здесь используются переносные метанометры серии «Сигнал» или шахтные интерферометры (ШИ-10, ШИ-11), которые проверяются непосредственно перед спуском в шахту. В случае отклонений в показаниях стационарной аппаратуры АКМ и переносных приборов на величину, превышающую погрешность измерений каждого из метанометров, принимается решение о неисправности аппаратуры и необходимости остановки технологического процесса.

Путем сопоставления результатов измерений не представляется возможным оценить все функции метанометров, связанные с безопасностью. Кроме того, существует определенная вероятность ошибочного решения, т.к. на основе данного метода трудно учесть влияние различных внешних факторов, приводящих к появлению дополнительных погрешностей измерений. В этой связи предпочтение следует отдавать более совершенному методу диагностирования – тестовому.

При тестовом диагностировании на метанометр подается специальное тестовое воздействие, и оператор оценивает реакцию изделия на это воздействие. Алгоритм такого вида диагностирования в общем виде может быть иллюстрирован схемой, представленной на рисунке.

Согласно схеме, путем запуска генератора (Г) оператор осуществляет тестовое воздействие на метанометр (М) и с помощью индикатора (И) отслеживает отклик изделия на указанное воздействие. На основе полученной информации принимается решение о техническом состоянии изделия. Так, например, в анализаторах метана серии АТ предусмотрена кнопка «Контроль», при нажатии которой формируется специальный электрический сигнал, имитирующий входное тестовое воздействие, превышающее верхнюю уставку срабатывания аппаратуры АКМ (более 2 об. % CH_4).

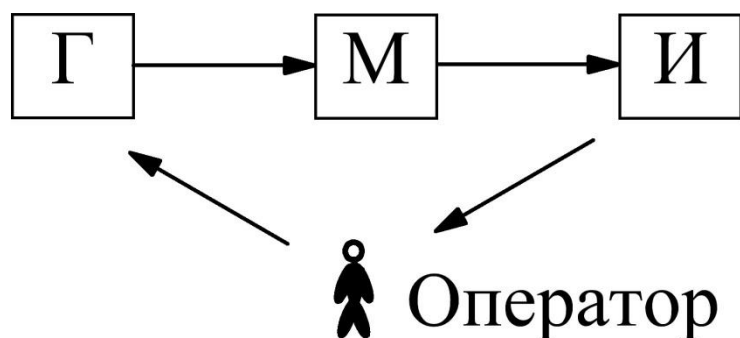


Рисунок – Схема реализации тестового диагностирования:
Г – генератор; М – метанометр; И – индикатор.

Это воздействие должно приводить к срабатыванию исполнительных устройств анализатора. Тем самым диагностируется работоспособное состояние электронного тракта метанометра, отвечающего за функцию защитного отключения электроэнергии от горно-шахтного оборудования. Кроме того, такой тест должен отображаться на индикаторных устройствах анализатора.

Тестовое диагностирование метанометров путем имитации входных воздействий не охватывает наиболее важный и уязвимый при эксплуатации узел – первичный измерительный преобразователь (сенсор). Для исключения этого недостатка целесообразно в качестве генератора использовать МВС с объемной долей метана, определяемой из выражения:

$$C_T = C_y + C_{oc} + C_{доп}, \quad (1)$$

где C_T – содержание метана в МВС для тестового воздействия на сенсор, об. %;

C_y – значение уставки срабатывания метанометра, об. %;

C_{oc} – максимальное значение основной абсолютной погрешности метанометра, об. %;

$C_{доп}$ – максимальное значение суммарной квадратической дополнительной погрешности метанометра, об. %.

При подаче на сенсор указанной МВС диагностируется функция защитного отключения электроэнергии (в метанометрах, где эта функция предусмотрена) и определяется работоспособность сенсора, электронных и индикаторных устройств.

Следует отметить, что с позиции безопасности недопустимо применение взрывчатых МВС для тестового диагностирования метанометров. Также, на газоаналитическую технику, которая не отвечает требованиям, изложенным в [7] в части однозначности получения информации, не следует подавать МВС с объемной долей метана, превышающей верхний предел взрываемости этой смеси [9].

Оба рассмотренных метода применимы в шахтных условиях, не требуют сложного и дорогостоящего оборудования, обладают высокой оперативностью проведения работ, но позволяют получить только общее представление о работоспособности изделий по основным показателям. Поэтому их можно отнести к простейшим методам оперативного диагностирования технического состояния метанометров в виде «экспресс-контроля».

В соответствии с [10] вся шахтная метанометрическая техника должна поверяться согласно регламентам государственных поверок. Данная операция, по сути, является поверочным методом диагностирования, которая проводится на поверхности в плановом порядке с применением газовых смесей, аттестованных с точностью не хуже, чем предусмотрено выражением:

$$C_{\text{пгс}} = C_y \pm \left(\frac{C_{\text{ог}}}{3} \right), \quad (2)$$

где $C_{\text{пгс}}$ - содержание метана в поверочной газовой смеси, об. %.

Особенностью данного метода диагностирования является возможность определения не только работоспособного состояния метанометров, но и их метрологических характеристик, включая динамические параметры, такие как время срабатывания по объемной доле метана, по скорости нарастания объемной доли и ряд других, содержащихся в [7]. Применение этого метода повышает качественный уровень оценки технического состояния изделий, но вопросы искробезопасности, взрывозащищенности, надежности отдельных элементов и т. п., остаются за рамками оценки. Существенно ее дополнить позволяет метод углубленного диагностирования, основанный на детальном изучении каждого узла метанометра экспертами, обладающими необходимым опытом работы в области шахтного аналитического приборостроения [11]. Он позволяет объективно установить пригодность изделия к дальнейшей эксплуатации и осуществить прогнозирование длительности сохранения его работоспособного состояния.

Метод углубленного диагностирования предусматривает органолептический контроль метанометра и его составных узлов; выявление откло-

нений в конструкции, появившихся в ходе эксплуатации или неквалифицированного ремонта; определение соответствия картам напряжений и осциллограммам в контрольных точках; установление степени износа корпусных элементов, контактных групп; подтверждение технических параметров изделий и т. п. Вся работа проводится в соответствии с «Методиками экспертного обследования шахтной газоаналитической техники», разработанными МакНИИ. Данный метод является закономерно затратным и, в основном, применяется для оценки технического состояния метанометров, длительно находящихся в эксплуатации [11]. Он широко использовался специалистами МакНИИ при обследовании метанометрической техники, отработавшей средний срок службы. За 13 лет (с 2001 г. по 2013 г.) было оценено по заявкам угольных предприятий техническое состояние около 60000 газоанализаторов. Количественный и номенклатурный состав обследованной метанометрической техники представлен в табл. 1.

Рассматривая данные табл. 1 в привязке к общему состоянию парка шахтной газоаналитической техники можно установить следующее.

Угольные предприятия длительное время и в большом объеме эксплуатируют интерферометры, переносные приборы и анализаторы метана. Начиная с 2011 г. наблюдается тенденция к снижению количества обследований индивидуальных метансигнализаторов, связанная с поступлениями новых изделий на шахты в рамках государственных закупок за бюджетные средства.

Такое же снижение наблюдается и для приборов ИМС в связи с тем, что их выпуск был прекращен по причине несоответствия требованиям, изложенным в [7], и они постепенно изымались из эксплуатации вследствие неудовлетворительного технического состояния.

Увеличение объемов обследований метан-реле, испытательных камер и стоек приема информации обусловлено стремлением потребителей длительно использовать дорогостоящее оборудование.

Таблица 1

Количественный и номенклатурный состав обследованной метанометрической техники

Годы	Интерферометры (ШИ), шт.	Переносные приборы (Сигнал), шт.	Индивидуальные метансигнализаторы (СМС, СМГ), шт.	Метан реле (ТМРК, МГМ), шт.	Анализаторы метана		Специальные приборы (ИМС), шт.	Испытательные камеры (КИМ), шт.	Стойки приема информации (СПИ), шт.	Суммарное количество изделий, шт.
					Датчики (ППИ, ДМТ), шт.	Аппараты сигнализации (АС), шт.				
2001	338	385	100	13	346	161	0	0	0	1343
2002	2248	1259	365	11	826	359	24	0	6	5098
2003	860	640	48	0	433	157	11	0	22	2171
2004	2247	691	41	30	810	297	5	16	59	4196
2005	2387	486	134	24	738	289	14	7	25	4104
2006	2012	389	70	25	676	223	8	9	26	3438
2007	2694	628	176	24	903	301	2	5	32	4765
2008	3254	860	4	33	896	328	10	17	29	5431
2009	1994	843	27	20	1279	374	9	30	39	4615
2010	3239	1393	81	43	813	285	0	14	28	5896
2011	2652	1394	0	111	812	289	5	21	18	5302
2012	3196	1369	0	97	1035	323	0	19	40	6079
2013	2769	1427	0	67	745	294	0	23	18	5343

Путем систематизации и обобщения результатов проведенной работы, основываясь на методах математической статистики, были получены данные, характеризующие техническое состояние длительно эксплуатируемых шахтных метанометров. Эти данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенные данные о техническом состоянии шахтных метанометров длительно находившихся в эксплуатации

Наименование изделия	Изделия соответствуют предъявляемым требованиям, %	Изделия не соответствуют предъявляемым требованиям, %	
		Необходим ремонт	Достигли предельного состояния*
Интерферометры (ШИ)	83,21	13,32	3,47
Переносные приборы (Сигнал)	73,89	20,39	5,72
Индивидуальные метансигнализаторы (СМС, СМГ)	79,16	19,03	1,81
Метан-реле (ТМРК, МГМ)	78,10	19,76	2,14
Датчики (ППИ, ДМТ)	78,42	19,27	2,31
Аппараты сигнализации (АС)	77,46	20,67	1,87
Специальные приборы (ИМС)	58,38	32,27	9,35
Испытательные камеры (КИМ)	56,22	43,45	0,33
Стойки приема информации (СПИ)	33,75	63,72	2,53

* Под предельным состоянием (в соответствии с ГОСТ 27.002 – 89) понимается состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима и восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Анализ данных табл. 2 показал, что наиболее востребованные на угольных предприятиях газоанализаторы (интерферометры, переносные приборы, анализаторы метана), отработавшие средний срок службы, примерно в 80 % случаев соответствуют предъявляемым к ним требованиям.

Около 20 % изделий эксплуатируются с отклонениями от этих требований, причем 2-5 % представляют потенциальную угрозу «пропуска цели» при формировании аварийной обстановки в зоне контроля.

Если априори считать достаточно совершенным метод углубленного диагностирования, то можно утверждать, что достоверность определения технического состояния метанометров при использовании сравнительного, тестового и поверочного методов не превышает 80 %, т. к. углубленному диагностированию заведомо предшествовали испытания, основанные на других упомянутых методах, которые не позволили выявить наличие сбоев в функционировании изделий.

Резюмируя изложенное можно констатировать, что простые методы диагностирования недостаточно эффективны, а углубленный метод является крайне затратным, продолжительным по времени и требует наличия значительного количества специалистов, способных выполнить такие работы на высоком профессиональном уровне. Поэтому необходимо изыскать принципиально новые подходы к решению данной проблемы.

Благодаря современной микропроцессорной технике в настоящее время возможно создание газоанализаторов, обладающих инновационным программным обеспечением. Примером может служить разработка метан-сигнализатора СМС-10 [13], в котором реализована автоматическая оценка технического состояния большинства электронных узлов на базе информационной избыточности. Исключение составляет сенсор. Однако, опираясь на исследования, изложенные в [14], можно утверждать, что в ближайшей перспективе будет осуществляться автоматическое определение работоспособного состояния и таких элементов по характеристикам переходных процессов, протекающих в реакционных камерах термokatалитических сенсоров.

Следовательно, при разработке новых метанометров для угольных шахт целесообразно создавать программный продукт, предусматривающий самодиагностику технического состояния изделий в процессе их функционирования. Это повысит достоверность мониторинга газовой опасности в рудничной атмосфере и позволит отказаться от ряда процедур, связанных с диагностированием метанометров.

ВЫВОДЫ

1. Для обеспечения безопасности горных работ по газовому фактору в угольных шахтах необходима объективная оценка технического состояния метанометров. Это требование приобретает особую важность для изделий длительно находящихся в эксплуатации.

2. При использовании сопоставительного, тестового и поверочного методов диагностирования шахтных метанометров примерно в 20 % слу-

чаев не удастся обнаружить несоответствие проверяемых изделий нормативам по функциональной безопасности.

3. Достаточно полно оценить техническое состояние шахтных метанометров можно на основе метода углубленного диагностирования, но на практике он является трудно реализуемым.

4. При создании новых метанометров необходимо предусматривать самодиагностику технического состояния их функциональных узлов, включая сенсоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. Донецк: Норд-Пресс, 2004. – .

Т. I. – 2004. – 548 с.

2. 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 УкрНДІПБ: наук. журн. / УкрНДІПБ. – Київ: УкрНДІПБ, 2012. – № 1 (25). – С. 19-22.

3. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. – М.: Недра, 1984. – 285 с.

4. Kontrola gazow w atmosferze w kopalniach weqla kaminnoqo 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.

5. Повышение надежности подъемных установок, находящихся в длительной эксплуатации / В.А. Пристром, А.И. Соломенцев, В.К. Кириленко [и др.] // Уголь Украины. – 1997. – № 11. – С. 10-12.

6. Гаскаров Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д.В. Гаскаров, Т.А. Голинкевич, А.В. Мозгалевский. – М.: Советское радио, 1974. – 224 с.

7. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования. Методы испытаний: ДСТУ ГОСТ 24032:2009 (СТ СЭВ 6455:88). – [Введен 2009-02-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.

8. Временное руководство по оборудованию и эксплуатации систем аэрогазового контроля в угольных шахтах (АГК). – МакНИИ, 1991. – 70 с.

9. Сучков А.А. О работе термokatалитического датчика CH_4 при высоких концентрациях метана / А.А. Сучков, Е.Е. Карпов // Рудничная аэрология и промышленная безопасность: Науч. сообщ. ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, 2000. – № 315. – С. 118-124.

10. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0–1.01.16. – Офиц. изд. – Донецк, 2016. – 218 с.
11. Медведев В.Н. Методология освидетельствования шахтной метанометрической техники / В.Н. Медведев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка: МакНИИ, 2008. – № 1 (21). – С. 73-81.
12. Медведев В.Н. Применение метанометрической техники, отработавшей 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.
13. Медведев В.Н. Индивидуальный сигнализатор метана СМС-10/ В.Н. Медведев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка – МакНИИ, 2010. – № 2(26). – С. 105-111.
14. Сучков А.А. Разработка метода автоматического метрологического контроля и коррекции выходного сигнала термодатчика шахтных стационарных метанометров: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)» / А.А. Сучков. – М.: МГГУ, 2003. – 30 с.

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук. Стояном В.Н.
Получено: 07.02.18

ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF MINE METHANOMETERS

The diagnostics methods for mine methanometer equipment are described and the results of their use are summarized for products that have been in use for a long time. The reasonability of self-diagnostics of the technical state of methanometers is justified.

Keywords: mine, methanometer, technical condition, diagnostics, safety, sensor.