

dr hab. inż. STANISŁAW TRENCZEK
dr inż. PIOTR WOJTAS
mgr inż. JERZY KELLER
Institut Technik Innowacyjnych EMAG
Институт Инновационных Техник ЭМАГ

Использование новых функциональностей системы мониторинга аэрологических опасностей для повышения безопасности в подземных шахтах каменного угля

В докладе обсуждается влияние зависимостей совместно присутствующих опасностей на общий уровень безопасности. Показано влияние эндогенной пожароопасности и удароопасности на уровень взрывоопасности. Наконец кратко описан новый способ системного и комплексного мониторинга совместных опасностей, учитывающий совместное наличие метановой и пожарноопасности, а также опасности горных ударов и взрыва угольной пыли. Описаны его главные задания и функции.

1. ВВЕДЕНИЕ

Многие, трагические события, происшедшие за последние несколько десятков лет в польских шахтах, своими последствиями подтверждают, к сожалению факт, что каждая опасность, даже возникающая самостоятельно, может угрожать здоровью и жизни людей. Совместное же возникновение двух или нескольких опасностей эту угрозу повышает. Все глубже осуществляемая разработка угольных пластов вызывает увеличение концентрации очистных работ, выполняемых в условиях совместного наличия опасностей.

Наиболее существенное повышение уровня опасности вызывает совместное наличие метановой опасности, опасности возникновения эндогенного пожара, горных ударов и взрыва угольной пыли, и чем больше их возникает одновременно, тем выше угроза их возникновения [3].

Особое место среди них занимает метановая опасность. Во первых потому, что воспламенение метана может быть вызвано несколькими разными источниками, к числу которых принадлежат также источники, являющиеся последствием опасности эндогенных пожаров и горных ударов. Во вторых – возгорание метана может в последствии стать источником взрыва угольной пыли или воспламенения угля (в особых случаях также другого горючего материала).

В подземных горных разработках на их безопасность оказывают влияние прежде всего натуральные опасности, непосредственно или косвенно связанные с процессом проветривания. Измерения параметров рудничной атмосферы (горная аэрометрия) служат для контролирования этих процессов и выявления уровня аэрологической опасности. Контролирование и его точность влияют на оценку уровня опасности, следовательно, на принятие решений относительно предупредительных действий в случае обнаружения роста опасности (например, осуществление профилактических мер, эвакуация людей, начало спасательной акции) [6, 8].

Постоянное развитие метрологии, техники и технологии, способствовало созданию систем мониторинга, в которых преобладали газометрия (метанометрия, СО-метрия) и анемометрия (измерение скорости потока воздуха). Эти системы постоянно совершенствуются в аспекте точности измерений и времени реакции, а также скорости передачи сигнала. Их развитие идет также в направлении расширения функциональных возможностей, измерения новых параметров воздуха и других факторов, а также адаптации

к потребностям пользователя. Все это привело к тому, что в настоящее время системы автоматического измерения и мониторинга параметров охватывают все больше параметров, измерения которых до сих пор производились нерегулярно, с применением переносных или лабораторных приборов [5].

2. ЗНАЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ОПАСНОСТЕЙ

Развитие науки, а также случившиеся события, связанные с наличием опасностей, способствуют постоянному расширению знаний в области существующих опасностей, совершенствованию правил, определяющих способ осуществления деятельности горного предприятия, модернизации машин и оборудования в аспекте безопасности их эксплуатации, внедрению все более безопасных технологий горных работ и их организации, а также соответствующих контрольно-измерительных приборов, как для разовых измерений, так и для постоянного мониторинга.

В процессе контролирования опасностей важное место занимала и продолжает занимать метрология [11, 10], динамика развития которой связана с развитием науки и техники вообще, в частности – электротехники, электроники и компьютерной техники. На развитие приборов, используемых для контроля, значительное влияние имело также нарастание опасностей.

С начала девяностых годов прошлого века нарастала проблема совместных опасностей (совпадение опасностей по газу, горным ударам, пожарной опасности и опасности взрыва угольной пыли). Это увеличивало вероятность возникновения аварийного или критического состояния в работе горного предприятия. Это дало начало системам диспетчерского надзора над технологическими процессами и безопасностью людей, обеспечивающим, в частности, визуализацию изменений, возникающих в запрограммированных и контролируемых системой процессах, с помощью динамического синоптического табло. Одновременно, рост значения контроля уровня совместных опасностей привел к тому, что кроме главного диспетчера по производству важную роль играли диспетчер по метанометрии и диспетчер шахтной станции по горным ударам, осуществляющие надзор над все более современными системами контроля. Необходимой стала интеграция существующих на шахте подсистем в одну, логически связную систему диспетчерского надзора с многоуровневой структурой мониторинга процесса добычи и безопасности (SD2000). Это система открытого типа, позволяющая подключать и интегрировать очередные новые подсистемы [10].

Новая, разработанная в 2006 г. система SMP-NT/A, является комплексным решением проблемы мониторинга параметров безопасности и производства в горных предприятиях, согласно действующим в Польше правилам [2]. В состав системы (рис. 1) входят станционные устройства (поверхностные), объектные устройства (подземные), концевые устройства (аналоговые и дискретные датчики), а также необходимая для управления безопасностью и производством горного предприятия информатическая инфраструктура.

Подземные устройства системы позволяют осуществлять непрерывный контроль параметров рудничной среды, в частности:

- измерение физических параметров и химического состава воздуха – мониторинг аэрологической опасности;
- контроль состояния и рабочих параметров вентиляционного оборудования;
- сейсмоакустический контроль напряженного состояния горного массива;
- сейсмический контроль горных ударов массива;
- контроль уровня запыленности рудничного воздуха и оценка интенсивности осаждения пыли;
- контроль состояния и рабочих параметров горных машин и оборудования технологической линии;
- реализация алгоритмов дискретного управления подземными машинами и оборудованием, в том числе автоматического отключения питания в случае опасности взрыва.

В подземной части системы применяются исключительно искробезопасные устройства, предусмотренные для дистанционного питания от линейных цепей станционной части системы. Это свойство имеет особенное значение в случае шахт с высоким уровнем натуральных опасностей, так как позволяет обеспечить непрерывность мониторинга среды в любых условиях, независимо от состояния подземной электроэнергетической сети. Как измерительно-исполнительная (телеметрическая) часть, так и информатическая (диспетчерская) инфраструктура имеют модульное строение, что обозначает возможность конфигурации системы соответственно размерам контролируемого объекта и функций, ожидаемых в данный момент пользователем системы.

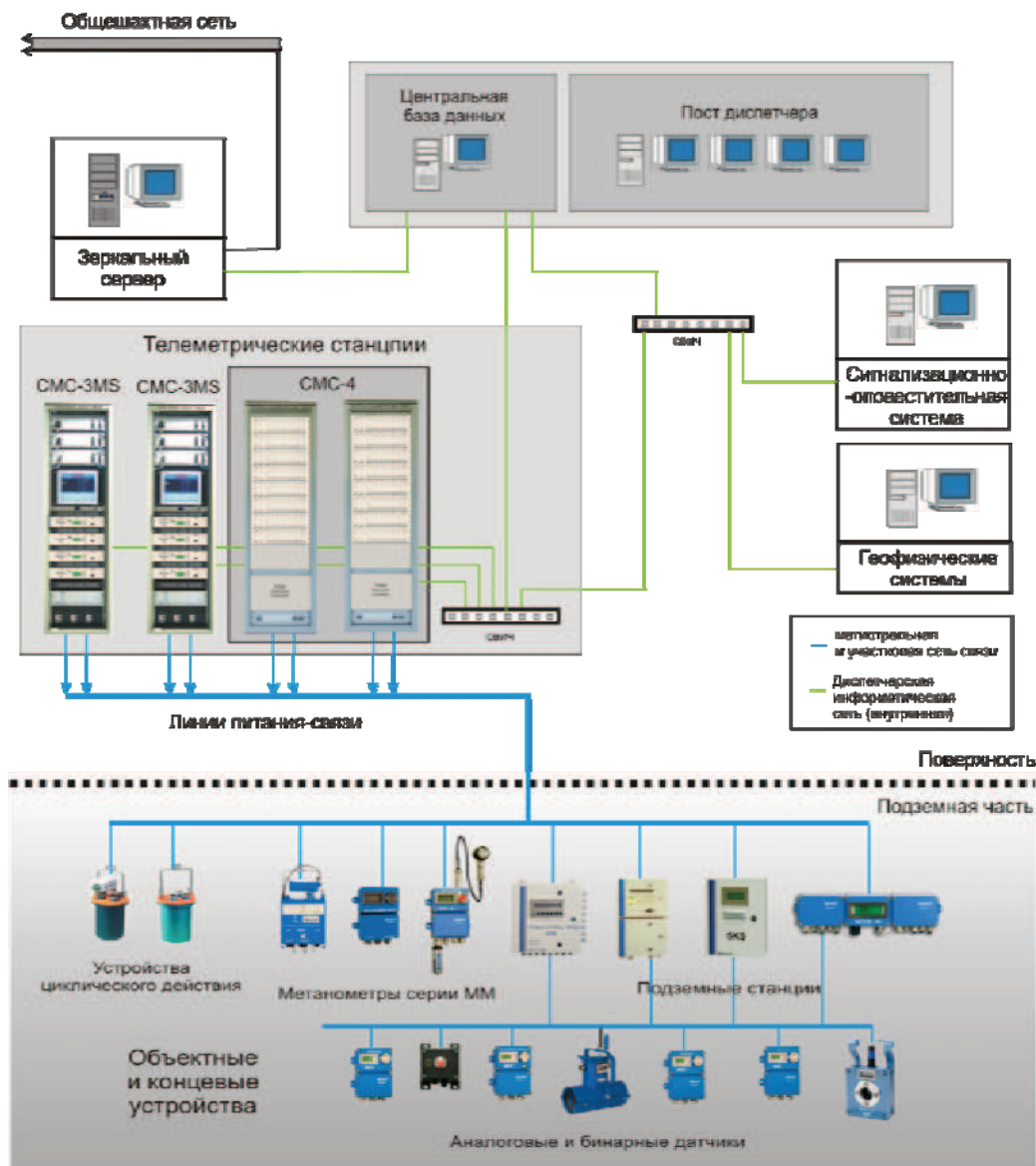


Рис. 1. Наглядная схема системы SMP-NT/A

Для шахт, разрабатывающих удароопасные пласты, а также опасные по внезапным выбросам метана и породы, особенное значение имеет сейсмоакустический и сейсмический контроль. Задачей сейсмоакустической системы ARES-5/E является преобразование с помощью измерительных зондов в виде геофонов (закрепленных на анкерах в боковых стенах подготовительных штреков) скорости механических колебаний горного массива на электрический сигнал, а затем, после усиления и фильтрации в передатчиках, передача этих сигналов на поверхность, в шахтную геофизическую станцию, посредством кабельной сети связи и приемных схем станции. В то же время система ARAMIS M/E (с цифровой передачей сигналов) позволяет определять местоположение толчков, возникших на территории шахты, определение их энергии и оценку опасности горного удара методами сейсмологии. Большая динамика записи (110 дБ), полоса регистрируемых частот (0-150 Гц) и помехоустойчивость цифровой передачи, позволяют правильно регистрировать как слабые сейсмические явления, начиная с 10^2 Дж, так и явлений с высокой энергией, а также идентифицировать характерные фазы сейсмических кривых. В зависимости от линейных размеров объекта используются в качестве датчиков сейсмометры или, опционально, низкочастотные геофоны. Система обеспечивает непрерывную регистрацию сейсмических сигналов на регистрирующем сервере.

Уникальным решением является контроль уровня запыленности рудничного воздуха, что при использовании эталонной модели осаждения для данного участка позволяет определять интенсивность осаждения угольной пыли в прикасающихся к лаве выработках. Это позволяет оценивать уровень опасности взрыва угольной пыли и применять соответствующие меры защиты.

Системный и комплексный мониторинг совместных опасностей позволяет вести цифровую обработку сигналов и компьютерную их интерпретацию, что осуществляется в поверхностной части системы. Структура системы строго подчинена требованиям, содержащимся в правилах и директивах. В частности, система:

- обеспечивает реализацию принятой в горной промышленности иерархической системы управления производством и безопасностью;
- позволяет осуществлять дистанционное питание подземных устройств с поверхности, что обеспечивает их работу в любых условиях;
- обеспечивает реализацию требуемой, согласно действующим правилам, визуализации данных в диспетчерском пункте, архивизации и составления отчетов о измерительных данных, событиях, а также управления подземными устройствами питания и сигнализации.

Кроме того, система обеспечивает:

автоматическое оповещение работающих людей о угрожающей им опасности;
 интеграцию с геофизическими системами, для обеспечения реализации автоматических опережающих отключений электроэнергии на участках, где произошел толчок с энергией, способной вызвать обильное выделение метана;

взаимодействие, посредством поверхностной информатической сети, с другими, действующими в горных предприятиях, системами сбора и визуализации данных.

Значения системы мониторинга невозможно переоценить, но обычно ее применение ограничивается до измерения параметров, которых контроль предусмотренный законом.

3. НОВЫЕ ОБЛАСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

3.1. Опасность пыли

Проведенные Институтом EMAG в течение нескольких лет исследования интенсивности пыли воздуха шахты помогли построить и проверить работоспособность измерительного прибора для измерения количества пыли и сделать его обновление. Исследования на месте, и соответствующие интерпретации результатов позволяют использовать их должным образом и оценить уровень риска вредного воздействия угольной пыли и опасности ее взрыва [9]. Мониторинг пыли с помощью пылемера PŁ-2 (рис. 2) дает гораздо больше возможности для контроля уровня пыли и предотвращения вытекающими из того последствиями.



Рис. 2. Пылемер PŁ-2 и его дизайн

Исследования трех пылемеров PŁ-2 установленных в струе использованного воздуха от лавы (10, 60 и 100 м от лавы) показали, как очень переменная бывает концентрация пыли в течение одной смены. Благодаря таким измерениям можно определить распределение концентрации относительно допустимых величин с точки зрения вредного воздействия на здоровье, как это показано на примере пылемера, расположенного в 60 м от лавы (рис. 3).

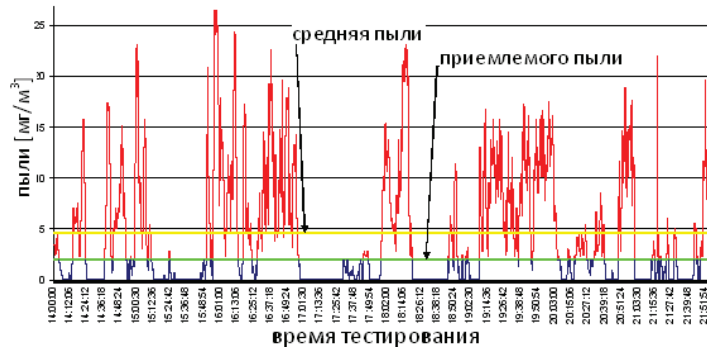


Рис. 3. Изменчивости концентрации пыли записана с помощью пылемера 2-60 м от лавы

Это позволяет таким образом определить уровень воздействия на работников вредной пыли и отмечать опасную зону, с учетом среднего значения: - безопасная, В - терпимая, С - нетерпимая, как показано на рисунке 4.

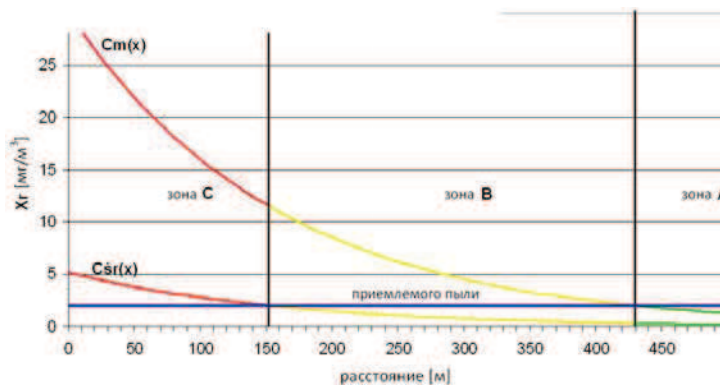


Рис. 4. Опасные зоны вреда угольной пыли

Кроме того, для взрывоопасной угольной пыли важно знать интенсивность оседания и отложения пыли, с помощью которого можно рассчитать интенсивность ее нейтрализации путем расчета общей массы пыли осевшей в зоне выработки (выработок) на основе средних распределений витающей пыли. За период с последовательной работы в области предотвращения взрывов, состоящий из осланцевания таких области (выработки/выработок) инертной пыли, рассчитывается среднее распределение пыли в тестовой выработке, которая является основой для определения распределения потери пыли, так называемая кривая потери. Кривая потери (рис. 5) обозначена $C_u(x)$, дает информацию о том, как много витающей пыли в воздухе исчезло с расстоянием от источника пыли.

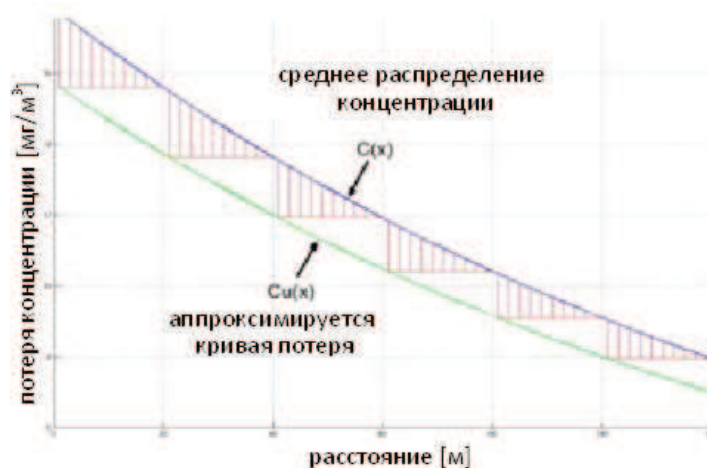


Рис. 5. Распределение потери витающей пыли в воздухе

Такой реальной и текущей оценки опасности вредного воздействия пыли и взрывоопасности угольной пыли обычно не выполняются универсальные измерения гравиметрических концентрации пыли.

3.2. Климатическая опасность

Местный способ контроля климатической опасности также не позволяет на постоянную оценку ее уровня с помощью индекса замещающей температуры климата который определяется по формуле:

$$t_{zk} = 0,6 t_w + 0,4 t_s - v \quad (1)$$

где:

t_w – температура воздуха измерена так называемым мокрым (влажным) термометром, в диапазоне 20÷34°C,

t_s – температура воздуха измерена так называемым сухом термометром, в диапазоне 25÷35°C,

v – скорость воздуха, м/с, умноженная на коэффициент [1с · °С/м], в диапазоне 0,15÷4,0 м/с.

Измерение параметров в формуле (1) с помощью стационарного инструмента возможно только в диапазоне температур от измеренных сухом термометром и устройств для измерения скорости воздушного потока. Непрерывное измерение "влажной" температуры, которая измеряется мокрым термометром в горных выработках угольных шахт практически невозможно сделать с помощью автоматических приборов (датчиков). Это измерение должно быть заменено измерением относительной влажности и атмосферного давления а „влажная” температура должна быть определена косвенным путём.

Результаты исследований и анализа проведенных в Институте EMAG были использованы для расчета температурных зависимостей, возникающих между влажным давлением воздуха, относительной влажностью, давлением насыщенного пара и сухой температурой. Это дает возможность автоматически определить степень климатического риска основанном на замещающей температуре климата.

Разработанный для этой цели инструмент (рис. 6) также осуществляет – в дополнение к измерениям – такие функции, как: расчет температуры влажного воздуха и новый индекс, визуализацию измеренных и вычисленных значений, а также сигнализацию (свет, звук) превышения допустимых порогов установленных для третьей степени климатического риска.



Рис. 6. Модель прибора для определения замещающей температуры климата

Независимо от того, Институт EMAG также разработал портативный прибор для определения замещающей температуры климата – MTZK-1 (рис. 7).



Рис. 7. Портативный прибор для определения замещающей температуры климата – MTZK-1

Прибор непрерывно измеряет температуру сухую T_s [°C], температуру мокрую T_w [°C], скорость движения воздуха V [м/с], атмосферное давление P [hPa] и влажность воздуха H [%] и устанавливает замещающую температуру климата T_{zk} [°C]. Все измеренные значения постоянно отображены на (LCD) ЖК-дисплее с подсветкой [1].

Данные измерений, а также дату и время могут быть сохранены во внутренней энергонезависимой памяти устройства. Данные сохранены в памяти можно просматривать локально на дисплее, а также копировать на компьютер.

3.3. Опасности по эндогенному пожару, метану и газу

Анализ вентиляции сети использует знание о распределении поля аэродинамических потенциалов, которое позволяет оценить неконтролируемые потоки газов через выработанные пространства, в том числе кислорода, влияющего на развитие саморазогрева угля а также потока метана и других вредных газов (окись углерода и углекислый газ). Измерения для определения потенциала, то есть измерения абсолютного давления и температуры (сухого и мокрого термометра) в выбранных точках (узлах) системы вентиляции и нулевой приёмной площадке воздухоподающего ствола производятся с помощью портативных устройств. Потенциальная схема осуществляется очень редко.

Поле аэродинамических потенциалов меняется в связи с изменением параметров воздуха и изменением в структуре сети или вентиляционным сопротивлением выработок. Это особенно важно в случае соседства выработанных пространств с районом проведения работ, или соседства выработанных пространств двух шахт, в которых проводится сетевой анализ отдельно. В этом случае, это не дает возможности предсказать последствия неравенства в распределении поля потенциалов, и могут это быть потоки метана, окиси углерода, углекислого газа и др.

Это принимается на практике в случае эндогенной пожарной опасности в выработанных пространствах. Зная начальные значения (рис. 8) возможно соответственно это поле выравнять (рис. 8б) и предотвратить пожар.

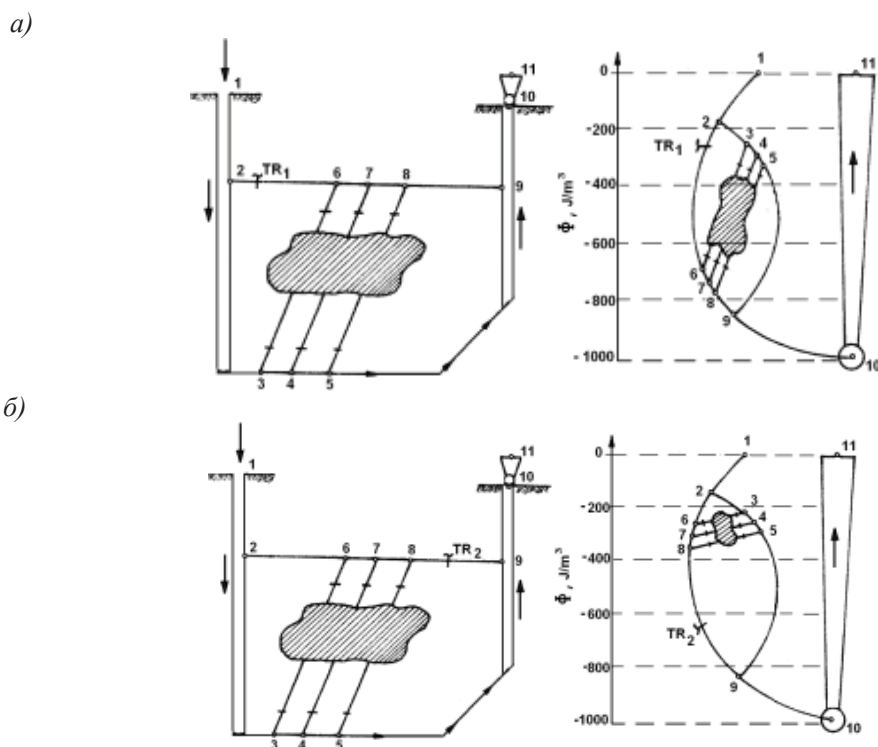


Рис. 8. Распределение поля аэродинамических потенциалов в районе [4]:
 а) до выравнивания распределения – положение опасности,
 б) после корректировки распределения

Расчет аэродинамических потенциалов осуществляется на основе измерений, выполненных ручными инструментами которые подвержены значительной неопределенности результатов, которая является главным образом следствием асинхронности измерения, человеческих ошибок и изменения атмосферного

давления во время измерения. Введение постоянного мониторинга аэродинамических потенциалов исключает такие ошибки и позволяет обновлять потенциальные схемы данного района, как в нормальных условиях и в опасных ситуациях.

Используя современные знания о потенциалах и опыт научной работы на строительстве приборов, был разработан прибор для непрерывного измерения физических параметров воздуха и расчета аэродинамических потенциалов [7] (рис. 9).



Рис. 9. Прибор TNP-2 для измерения и определения аэродинамического потенциала

Мониторинг опасных мест с точки зрения распределения поля аэродинамических потенциалов обеспечивает точное и быстрое реагирование на любые негативные изменения в состоянии равновесия. Это в свою очередь позволит предотвратить пожар или вытекание из выработанных пространств метана и других опасных газов, а это особенно важно в ситуациях, когда в этих местах происходит опасность эндогенного пожара и риск метана, так как это грозит зажиганием и / или взрывом метана обычно трагическим последствием.

4. РЕЗЮМЕ

Современная система мониторинга аэрологических угроз – SMP-NT/A – дает широкие возможности для контроля опасностей в данной шахте.

Повышение качественной оценки опасности действия вредной пыли и взрывов угольной пыли обеспечивает непрерывный контроль пыли и использование математической модели интенсивности осаждения пыли и соответствующие алгоритмы для определения уровня угрозы.

Непрерывное определение индекса замещающей температуры климата позволяет осуществлять полный контроль опасных мест и районов и правильную оценку уровня угрозы климата.

Постоянный мониторинг районов разработки по соседству выработанных пространств с точки зрения распределения поля аэродинамических потенциалов позволит принять соответствующие меры для ограничения последствий вентиляционно-газовой опасности и опасности эндогенных пожаров и метана.

Расширение возможностей для непрерывного мониторинга аэрологических параметров опасности по пыли, климату и газу а также расчетов на основе соответствующих индексов и данных позволит повысить безопасность экипажа и горного предприятия.

Литература

1. Dzierżak P., Szwejkowski P., Budziszewski A., Tenczek S.: *Ręczny przyrząd do wyznaczania temperatury zastępczej klimatu (Ручной прибор для определения замещающей температуры климата)*. Materiały II Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Rud Miedzi, Lubin 16-18.07.2012. Wyd. SITG O/Lubin, 2012, s. 334-340.
2. Isakow Z., Krzystanek Z., Tenczek Z., Wojtas P.: *Integrated System for Environmental Hazards Monitoring in Polish Mining (Мониторинг натуральных опасностей в польских шахтах)*. Materiały 21st World Mining Congress & Expo 2008 – Underground Mine Environment. Wyd. Agencja Reklamowo-Wydawnicza "OSTOJA", Kraków 2008, ISBN 978-83-921582-7-1, s. 129-141.
3. Kabiesz J., Konopko W.: *Problemy skojarzonych zagrożeń górniczych w polskich kopalniach węgla kamiennego (Проблемы совместных горных опасностей в польских угольных шахтах)*. Bezpieczeństwo i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1995, nr 5.
4. Strzemiński A.: *Zwalczanie pożarów w kopalniach głębinowych (Подавление пожаров в глубинных шахтах)*. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1996.

5. Trenczek S.: *Automatyczna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych (Автоматическая горная аэрометрия для контроля аэрологической опасности)*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2005, nr 3.
6. Trenczek S.: *Monitorowanie zagrożeń aerologicznych, a eksploatacja złóż na dużych głębokościach (Мониторинг аэрологических опасности аэсплюатация на больших глубинах)*. CUPRUM 2005, nr 2, s. 49-71.
7. Trenczek S., Mróz J., Broja A.: *Perspektywy rozwoju systemów monitorowania zagrożeń gazowych o pomiaru ciśnienia. (Перспективы развития системы мониторинга для измерения газогазовых опасности для давление измерения)*. Wybrane zagrożenia aerologiczne w kopalniach podziemnych i ich zwalczanie. Praca zbiorowa pod redakcją Nikodema Szlązaka. Wyd. AGH Kraków 2011, s. 143-153.
8. Trenczek S.: *Ocena oraz predykcja poziomu zagrożeń (Оценка и прогноз уровень опасности)*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko 2011, Nr 1, s. 393-402.
9. Trenczek S., Wojtas P.: *Possibilities of on line measurements in new hazard areas in work environment (Непрерывное измерение возможности в новых областях опасности на рабочем месте)*. Prace Naukowe GIG – 33rd Conference of Safety in Mines Research Institutes. Wyd. GIG, Katowice 2009, s. 255-263.
10. Trenczek S., Wojtas P.: *Rozwój pomiaroznawstwa stosowanego od pomiarów wskaźnikowych do monitorowania i nadzorowania bezpieczeństwa (Развитие прикладной метрологии, от показательных измерений, до мониторинга и надзора над безопасностью)*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały – nr 32, Wrocław 2006.
11. Trutwin W. 1999: *Pomiaroznawstwo i monitorowanie wentylacji kopalń (Метрология и мониторинг вентиляции шахт)*. Materiały 1. Szkoły Aerologii Górniczey, Wyd. Centrum EMAG, Katowice

THE USE OF NEW FUNCTIONALITIES IN THE SYSTEM OF MONITORING AEROLOGICAL HAZARDS FOR BETTER SAFETY IN UNDERGROUND HARD COAL MINES

The article presents how the hazards occurring in mines affect the general safety level. The authors discussed the impact of the spontaneous fire hazard and rock burst hazard on the explosion hazard level. Then, the new method of complex and system-based monitoring of the co-existing hazards was described. This method takes into account simultaneous occurrence of the methane explosion and fire hazards, as well as rock burst and coal dust explosion hazards. Finally, the major tasks and functionalities of the monitoring system were presented.