

Концепция многофункциональной системы безопасности угольной шахты с использованием волоконно-оптических технологий

С. А. БАВИН¹, С. К. ГОЛУШКО², А. М. ЦЫБА³, Г. П. ЧЕЙДО²,
И. С. ШЕЛЕМБА^{1,4}, С. Р. ШАКИРОВ²

¹Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН,
Новосибирск, Россия

³ООО «Шахта «Грамотейнская», Белово Кемеровской обл., Россия

⁴ООО «Сибсенсор», Новосибирск, Россия

e-mail: babin@iae.nsk.su, cheido@kti.nsc.ru

Представлена концепция построения многофункциональной системы безопасности угольной шахты. Для повышения функциональных характеристик системы предложено использование волоконно-оптических технологий.

Ключевые слова: автоматизированное управление, безопасность угольных шахт, волоконно-оптические системы.

Задача обеспечения промышленной безопасности в угледобывающей отрасли до настоящего времени удовлетворительного решения не имеет. Инциденты, связанные с материальными потерями, нанесением ущерба жизни и здоровью горнорабочих, не только не прекращаются, но даже не имеют заметной тенденции к снижению. В связи с этим правила безопасности постоянно ужесточаются.

Приказом № 1158 от 20.12.2010 г. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору внесла ряд значительных изменений в «Правила безопасности в угольных шахтах». В частности, в параграфе 41 содержатся следующие требования: шахта должна быть оборудована комплексом систем и средств, обеспечивающих решение задач организации и осуществления безопасного производства и информационной поддержки контроля и управления технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях — **многофункциональной системой безопасности (МСБ)**.

Многофункциональная система безопасности обеспечивает:

- предотвращение условий возникновения различных видов опасности геодинамического, аэрологического и техногенного характера;
- оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам;
- применение систем противоаварийной защиты людей, оборудования и сооружений.

Объектами контроля и управления, оценки и прогноза являются рудничная атмосфера, аэрологические параметры и состояние массива угля и горных пород, горные выработки, технологическое оборудование, персонал угольной шахты, системы и средства промышленной безопасности.

В состав многофункциональной системы безопасности входят автоматические электрические, электронные и программируемые системы, обеспечивающие:

- аэрологическую защиту, включающую:
 - систему контроля и управления стационарными вентиляторными установками, вентиляторами местного проветривания и газоотсасывающими установками;
 - систему контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью;
 - систему аэрогазового контроля содержания кислорода, метана, оксида углерода, диоксида углерода и других вредных газов стационарными и индивидуальными средствами контроля;
 - систему контроля пылевых отложений и управления пылеподавлением;
- контроль состояния горного массива, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов, предусматривающий:
 - систему геофизических и сейсмических наблюдений;
 - региональный и локальный прогноз;
- противопожарную защиту, состоящую:
 - из системы обнаружения и локализации ранних признаков эндогенных и экзогенных пожаров;
 - системы контроля и управления пожарным водоснабжением;
- связь, оповещение и определение местоположения персонала, включающую:
 - систему наблюдения и определения местоположения персонала в подземных выработках (позиционирование);
 - систему аварийного оповещения с возможностью передачи сообщений об аварии персоналу независимо от его местонахождения до, во время и после аварии;
 - систему поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией, с определением местоположения во время аварии и в течение 36 ч после нее через слой породы толщиной не менее 20 м с погрешностью ± 2 м.

Функциональная схема МСБ представлена на рис. 1. При создании такой системы требуется обеспечить существенное повышение надёжности функционирования шахты, в том числе и её управляющего комплекса. Такой качественный рост предлагается обеспечить за счёт применения новых достижений в области мониторинга и управления, связанных с использованием волоконно-оптических технологий.

В соответствии с особенностями горно-добывающего предприятия (большая протяжённость в пространстве, взрыво- и пожароопасная производственная среда) связь в системе безопасности должна строиться на волоконно-оптических кабелях. Но самое главное — необходимо отказаться от использования электронных датчиков, измеряющих параметры производственной среды и технологические параметры, и осуществить переход к использованию волоконно-оптических сенсоров. Парк таких сенсоров расширяется с каждым годом и уже в настоящее время позволяет измерять основные параметры, относящиеся к безопасности.

Преимущества волоконно-оптических технологий применительно к условиям угольных шахт общеизвестны [1]:

- волоконно-оптические сенсоры более чувствительны и стабильны, легко мультиплексируются в линиях связи;
- отпадает необходимость в многочисленных источниках питания;
- исключается влияние электромагнитных помех и наводок;

- предотвращается электромагнитный занос в рабочую зону, что исключает инициацию воспламенения горючих газов электрической дугой или искрой.

Многие из функциональных блоков системы безопасности уже в настоящее время могут быть выполнены на волоконно-оптических технологиях. Эти блоки выделены на рис. 1 темным цветом. Важно отметить, что реализация этих функциональных блоков допускает дистанционный мониторинг физических параметров рабочей среды, определяющих безопасность [2, 3]. Все они могут быть выполнены по схеме, в общем виде представленной на рис. 2.

В подземные выработки, расположенные в опасной среде, опускается только волоконно-оптический кабель. Блок управления, обеспечивающий излучение оптических импульсов с необходимыми параметрами, прием отражённых импульсов, их обработку и вычисление физических параметров, расположен на поверхности земли, в безопасной зоне. Схемы применения датчиков обеспечивают мультиплексирование — одно волокно может обеспечить измерение нужных параметров в десятках точек, что позволяет покрыть все поле мониторинга.



Рис. 1. Функциональная схема системы безопасности



Рис. 2. Архитектура подсистемы мониторинга

На рис. 3 представлена схема дистанционного мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере, основанная на использовании лазеров с распределённой обратной связью [2]. Оптический коммутатор позволяет мультиплексировать измерения на множестве контролируемых точек. Модулированный по частоте свет лазера достигает газовых ячеек, заполненных шахтной атмосферой. Выходная мощность ячейки связана с концентрацией метана соотношением

$$P = P_0 \exp(-\alpha CL),$$

где P — принятая мощность сигнала; P_0 — мощность на входе ячейки; α — коэффициент поглощения метана; C — концентрация метана; L — длина ячейки.

При обработке полученного сигнала концентрация метана C определяется из уравнения

$$C = -\ln I/(\alpha L).$$

С помощью лазера с обратной связью можно определять концентрацию других опасных газов (например, CO, CO₂).

Мониторинг напряжённо-деформированного состояния несущих элементов горных выработок целесообразно выполнять с использованием датчиков на основе волоконных брэгговских решёток (ВБР), аналогично тому, как это делается при контроле строительных конструкций [3]. Такие решётки записаны в оптоволокне при помощи ультрафиолетового лазера и представляют собой участки световода с чередованием показателя преломления вдоль оси. ВБР каждого датчика отражает свет определённой длины волны с шириной спектра около 1 нм. При механическом и температурном воздействии изменяются период и показатель преломления решётки, вследствие чего происходит смещение длины волны отражённого света. Обработкой результатов измерений величины этого смещения определяются относительная деформация, температура, наклон, ускорение, вибрация, давление и перемещение (в зависимости от конструкции датчика).

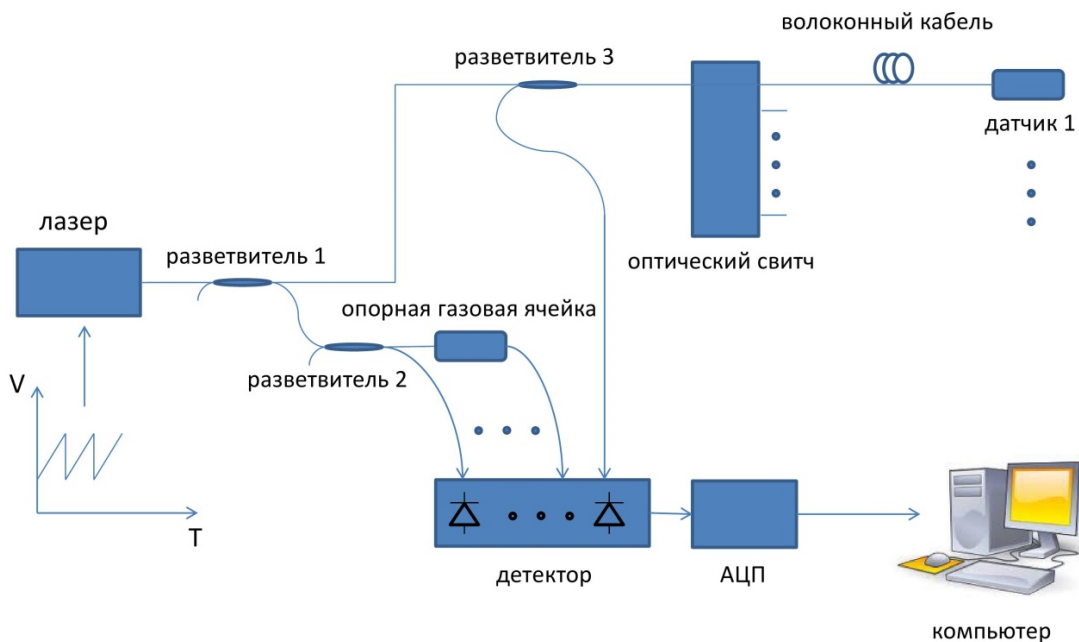


Рис. 3. Схема мультиплексирования датчиков метана

В одной оптоволоконной линии может быть объединено множество решёток, каждая из которых даёт отклик на своей длине волны, при этом расстояние между решётками может быть от 10 мм до нескольких километров.

Распространённым методом опроса датчиков является сканирование массива ВБР перестраиваемым источником с фиксацией отражения при помощи фотодетектора. Диапазон перестройки у современных лазеров составляет 100 нм (1500–1600 нм), частота опроса от 1 до 500 Гц, а число параллельных каналов до восьми. Количество каналов может быть расширено при помощи оптического коммутатора.

Подсистема мониторинга распределения температуры основана на методе оптической временной рефлектометрии и спектральном анализе излучения лазерного импульсного источника (длительностью 10–100 нс), рассеянного в оптическом волокне (рис. 4). Регистрируя временную динамику интенсивности антистоксовой компоненты комбинационного рассеяния света в оптоволокне при зондировании импульсным излучением, с помощью такого датчика можно проводить измерения температуры вдоль всего волокна [4, 5]. Отношение интенсивностей стоксовой I_s и антистоксовой I_{as} компонент описывается известным соотношением:

$$\frac{I_{as}(T)}{I_s(T)} = \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_{as}} \right)^4 \exp \left(-\frac{h\nu}{k_B T} \right),$$

где λ_s и λ_{as} — длины волн стоксовой и антистоксовой линий; k_B — постоянная Больцмана; h — постоянная Планка; ν — частота излучаемого света; T — абсолютная температура. Регистрируя интенсивность стоксовой и антистоксовой частей спектра от времени, можно рассчитать температурное распределение вдоль волокна. Пространственное разрешение такого датчика может составлять 1 м и меньше, а температурное разрешение — 0.1 °С.

Все функциональные блоки мониторинга должны быть объединены на верхнем уровне в систему, подобную классической автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП). Здесь же должны быть расположены центральный сервер ввода/вывода данных и необходимое количество рабочих станций — автоматизированных рабочих мест, откуда производится управление системой. Оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам, что требуется п. 41 “Правил безопасности”, будет выполняться АСУ ТП. При выходе параметров за технологические пределы в МСБ будут передаваться соответствующие сообщения.

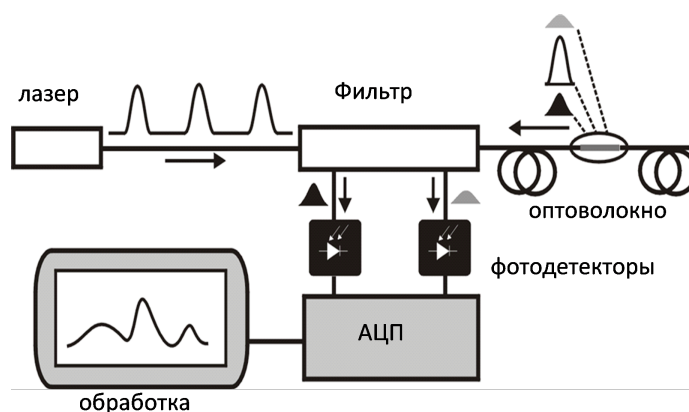


Рис. 4. Схема мониторинга температуры

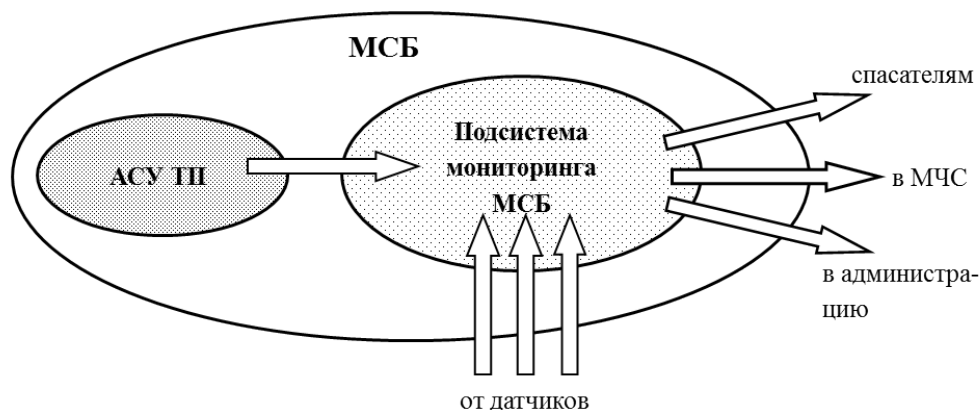


Рис. 5. Место АСУ ТП в многофункциональной системе безопасности и информационные потоки

На рис. 5 представлена общая концепция построения МСБ. На верхнем уровне МСБ должна собираться интегральная информация о режимах работы оборудования и параметрах производственной среды, а также производиться оценка ситуации и вырабатываться необходимые сообщения персоналу, спасателям, МЧС и региональной администрации.

Необходимый прирост уровня промышленной безопасности горно-шахтных предприятий может быть обеспечен только применением новых технологий мониторинга и коммуникаций. Построение многофункциональной системы безопасности на основе волоконно-оптических технологий позволит, с одной стороны, повысить надёжность и расширить функциональность, а с другой — снизить стоимость её внедрения и обслуживания.

Список литературы

- [1] BABIN S.A., ISMAGULOV A.E., KUZNETSOV A.G. ET AL. Fiber-optic sensor systems and their applications // Proc. of the 9th Intern Symp. on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMТII-2009). Saint-Petersburg, 2009. Vol. 3. P. 3-011–3-015
- [2] CULSHAW B., STEWARD G., DONG F. Fibre optic techniques for remote spectroscopic methane detection — form concept to system realization // Sensor and Actuators B. 1998. Vol. 51. P. 25–37.
- [3] Шишкин В.В., Чурин А.Е., Харенко Д.С., Шелемба И.С. Система мониторинга несущих конструкций футбольного манежа на основе волоконно-оптических датчиков // Спецвыпуск Фотон-Экспресс-Наука. 2013. № 6. С. 22–23.
- [4] LONG D.A. Raman Spectroscopy. McGraw-Hill, 1977.
- [5] Кузнецов А.Г., Бабин С.А., Шелемба И.С. Распределённый волоконный датчик температуры со спектральной фильтрацией направленными волоконными ответвителями // Квантовая электроника. 2009. Т. 39, № 11. С. 1078–1081.

Поступила в редакцию 29 ноября 2013 г.