



**А. В. Никитов**  
канд. экон. наук,  
Врио ректора ГОУ  
ВПО «МАТИ»  
nikitov@mati.ru



**В. С. Галкин**  
генеральный  
директор НИИ СТТ



**В. В. Слепцов**  
док. техн. наук,  
зав. кафедрой  
ГОУ ВПО «МАТИ»



**А. М. Баранов**  
док. техн. наук,  
проф. ГОУ ВПО  
«МАТИ»



**А. В. Савкин**  
канд. техн. наук,  
доц. ГОУ ВПО  
«МАТИ»



**М. И. Иванов**  
аспирант ГОУ ВПО  
«МАТИ»

# Перспективы развития систем промышленной безопасности беспроводные сенсорные сети

*В статье предложено перейти от объемных сенсоров к планарным сенсорам, изготавливаемым на основе технологий микроэлектроники, описана принципиальная схема работы сенсорной сети с использованием автономных беспроводных газовых датчиков.*

*In the article the conversion to planar sensors from voluminous ones are offered, produced on the base of microelectronics technology, also the basic circuit of sensor-based system working with automatic wireless transducer to gas are described.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, сенсорные сети, беспроводная связь, автономный беспроводной газовый датчик, маршрутизатор, исполнительное устройство.

**Keywords:** industrial safety, sensor-based system, wireless communications, automatic wireless transducer to gas, routing device, executive device.

**Н**а территории России находится более ста тысяч экологически опасных объектов, а также сотни тысяч километров нефтегазовых трубопроводов.

Аспект безопасности во многом определяется техническим обеспечением непрерывного контроля состава горючих газо-паровоздушных сред, образующихся при добыче, переработке и транспорте полезных ископаемых; использовании природного газа в энергетике и ЖКХ; на предприятиях химической промышленности при синтезе новых материалов из нефти, природного газа, а также в других отраслях народного хозяйства, где в условиях производства возможно образование взрывоопасных сред. Это тем более актуально в условиях значительного износа основных фондов российских предприятий и возрастания угрозы терроризма.

Уделять повышенное внимание обеспечению промышленной безопасности и охране труда стало безусловным трендом со стороны успешных управляющих компаний, стремящихся минимизировать риски в сочетании с повышением экономической эффективности добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых.

В настоящее время отечественной промышленностью и зарубежными фирмами выпускается большая гамма портатив-

ных и стационарных метанометров, эксплозиметров (приборов, контролирующих сумму горючих газов и паров в воздухе) и систем, включающих десятки таких приборов. Все выпускаемые средства строятся по классическим схемам: портативные приборы – с аккумуляторным источником питания, рассчитанным на функционирование в течение рабочей смены, с последующей перезарядкой аккумуляторов; стационарная аппаратура и системы контроля – с питанием от электросетей и передачей информации по отдельным проводам, образующими сложную разветвленную кабельную сеть на объектах с большим количеством датчиков.

При этом существующие в настоящее время технологии обеспечения промышленной безопасности и охраны труда зарекомендовали себя не с лучшей стороны, что было наглядно продемонстрировано рядом резонансных трагедий на угольных шахтах.

В условиях модернизации производства при оснащении горнорудных предприятий

современным оборудованием и технологиями кардинально необходим переход на новый уровень научного обоснования технологических и технических решений в области промышленной безопасности и охраны труда. Мировой тенденцией, направленной на решение этого вопроса, стала разработка элементов и систем сбора и обработки первичной информации, объединяемых в так называемые сенсорные сети различного масштаба, оперирующие с разно параметрическими данными, способными как автономно принимать решения по управлению исполнительными устройствами для предотвращения техногенных катастроф, так и оповещать и координировать работу соответствующих служб [1, 2, 3].

В целом прорыв в этом направлении эффективного мониторинга невозможен без технологического перехода на качественно новый уровень, как научный, так и технологический.

Первое, что необходимо обеспечить, это перейти от объемных сенсоров к планарным сенсорам, изготавливаемым на основе техноло-

## **Алгоритм проведения измерений и передачи данных в беспроводной сенсорной сети оптимизирован с целью автономной работы газовых датчиков без замены элементов питания в течение их межкалибровочного интервала.**

гий микроэлектроники, что, в свою очередь, позволит существенно уменьшить массогабаритные параметры чувствительных элементов сенсоров, обеспечит идентичность параметров сенсоров, снизит потребление электроэнергии.

Все это, вместе с переходом на импульсный режим измерения, позволит снизить общее потребление газовых сенсоров с уровня более 100 мВт (характерного для непрерывного режима работы) до микроватт и, тем самым, открыть возможность питания сенсора от батареи элементов в течение длительного срока.

Кроме того, выпускаемые сегодня сенсоры предназначены для работы в непрерывном или квазинепрерывном режиме измерений, что ограничивает их возможности, в частности, с точки зрения селективности и возможности измерения многокомпонентных смесей. Увеличить чувствительность и повысить селективность сенсоров можно за счет метода быстрого сканирования температуры чувствительного слоя и одновременного анализа отклика как функции температуры. Это позволяет успешно



**Рис. 1.**  
Принципы построения сенсорной сети

анализировать не только однокомпонентные газы, но и многокомпонентные газовые смеси.

Создание нового поколения сенсоров и их массовое производство возможно только за счет внедрения современных автоматизированных технологических процессов, основанных на принципах групповой технологии, в частности:

- технологий микросистемной техники для получения наноструктурированных мембран;
- фотолитографии для создания рисунка микронагревателя;
- вакуумной технологии для нанесения платиновых микронагревателей;
- микроэлектронной технологии нанесения катализатора.

Вторая проблема, которая требует решения, связана с передачей измерительной информации. Недостатками существующих сенсоров и систем контроля являются: зависимость их от систем электроснабжения и кабельного телеизмерения; уязвимость кабелей к различным повреждениям и помехам, связанным с наводками электромагнитных полей, большой расход кабельной продукции, зачастую соизмеримый по затратам со стоимостью датчиков.

К принципиальным недостаткам применяемых технологий можно отнести невозможность осуществления централизованного управления промышленной безопасностью, значительное повышение технологической себестоимости продукции при невысокой эффективности производственного контроля.

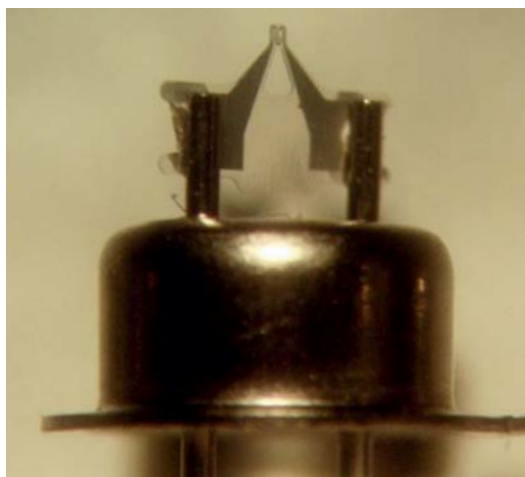
В основу нового инновационного подхода к построению систем промышленной

безопасности при проведении горных работ легла технология сенсорных сетей. Сенсорная сеть относится к классу распределенных коммутационных систем, которые базируются на новейших технологиях беспроводной связи, в целом такая сеть представляет собой совокупность сенсоров, датчиков, средств обработки и передачи полезных сигналов, систем управления исполнительными устройствами и механизмами, интеллектуальных контроллеров и постов управления. Первичным элементом сбора информации в таких сетях являются сенсоры различного назначения, все же остальные элементы сенсорной сети унифицированы и могут быть использованы для построения сенсорных сетей любого назначения. Беспроводные сенсорные сети состоят из миниатюрных

### Параметры автономного беспроводного сенсорного датчика

**Таблица 1**

Детектируемые газы	метан, водород, углеводороды
Потребляемый ток в активном режиме	не более 100 мА
Потребляемый ток в режиме ожидания	не более 20 мкА
Режим работы – импульсный, с периодичностью	5-60 сек
Средняя потребляемая мощность	не более 3 мВт
Скорость передачи данных	до 250 Кб/с
Питание от трех батарей АА	не менее 1 года
Дальность передачи сигнала внутри железобетонных зданий	не менее 30 м
Число модулей в сенсорной сети	от 4 до 300
Средний срок службы	не менее 10 лет



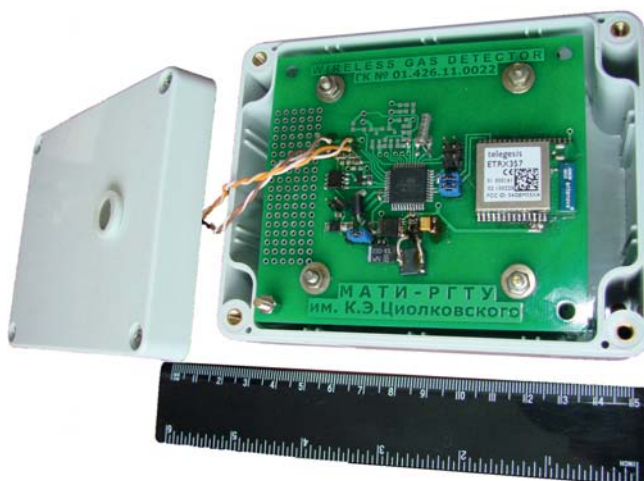
**Рис. 2.**  
Вариант реализации 2D термоката-  
литического сенсора

вычислительно-коммутационных устройств – мотов (от англ. «motes» – пылинки), или датчиков. Каждый беспроводный газовый датчик содержит процессор, память, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик, источник питания и измерительные сенсоры.

Использование беспроводных сенсорных сетей наиболее перспективно (с точки зрения экономической эффективности, технологичности их инсталляции, эксплуатации и модернизации) с одновременным отказом от сетевого питания. Это возможно при построении беспроводных сенсорных сетей на основе беспроводных газовых датчиков с автономным питанием [4, 5]. Автономные беспроводные газовые датчики размещаются внутри и на территории промышленных объектов, охраняемых территорий, а также в атмосфере горных выработок (**рис. 1**) и контролируют концентрацию взрыво-, пожаро- и токсично опасных газов.

При этом сенсорная сеть позволяет максимально эффективно предотвращать катастрофические последствия за счет централизованного управления промышленной безопасностью в управляющих компаниях. Наряду с этим за счет сочетания в сенсорной сети как индивидуальной (локальной), так и общей сигнализации, дублирования каналов передачи данных, автоматической отработки действий по предупреждению пожаров и взрывов на ранней стадии, фактически исключается пресловутый человеческий фактор.

В настоящее время в рамках ФЦП «Развитие электронной компонентной базы» выполняется ряд проектов (ГК № 01.426.11.0022), направленных на создание планарных газовых



**Рис. 3.**  
АБГД модификации БСМ-1-ТК

сенсоров нового поколения (**рис. 2**) и автономных беспроводных газовых датчиков (АБГД), которые не требуют прокладки каких-либо кабелей для разворачивания системы обеспечения промышленной безопасности.

АБГД для контроля взрыво- и пожаробезопасности обеспечивает обработку сигналов сенсоров и их передачу по беспроводной сети на пульты контроля с индикацией местоположения, имеет автономное питание от батарей или аккумуляторов. Программное обеспечение позволяет определять тип детектируемых газов, концентрацию газов и автоматически проводить оценку опасности. Параметры АБГД приведены в **табл. 1**.

Применение АБГД позволяет увеличить площадь территорий, охваченных мониторингом с одновременным увеличением времени автономной работы, а также расширить арсенал технических средств газового мониторинга для случаев отсутствия в зоне мониторинга систем электроснабжения или кабельного телеизмерения.

Все устройства, за исключением АБГД, помимо автономного питания могут быть подключены к электросети переменного или постоянного тока. Алгоритм проведения измерений, обработки, хранения и передачи данных в беспроводной сенсорной сети оптимизирован с целью автономной работы беспроводных газовых датчиков без замены элементов питания в течение их межкалибровочного (межпериодического) интервала.

Для передачи данных АБГД использует приемопередатчик, поддерживающий стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) или EN 13757-4 (Wireless M-Bus), что позволяет создавать

сенсорные сети из практически неограниченного числа устройств в отличие от обычных радиоканалов. Концентраторы беспроводной сети позволяют интегрироваться с существующими системами безопасности и сигнализации на основе стандарта для мобильной сотовой связи (GSM), стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi) и системами сбора данных на основе стандарта Wireless M-Bus, а также имеют программно-аппаратный интерфейс для подключения к одному из промышленных протоколов передачи данных RS 232, RS 485, CAN.

Технология ZigBee имеет частотные каналы в диапазонах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. При этом наибольшие скорости передачи данных и наивысшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне 2,4 ГГц. Кроме того, использование частоты 2,4 ГГц позволяет сделать антенну размером меньше 1 см и убрать ее внутрь корпуса устройства.

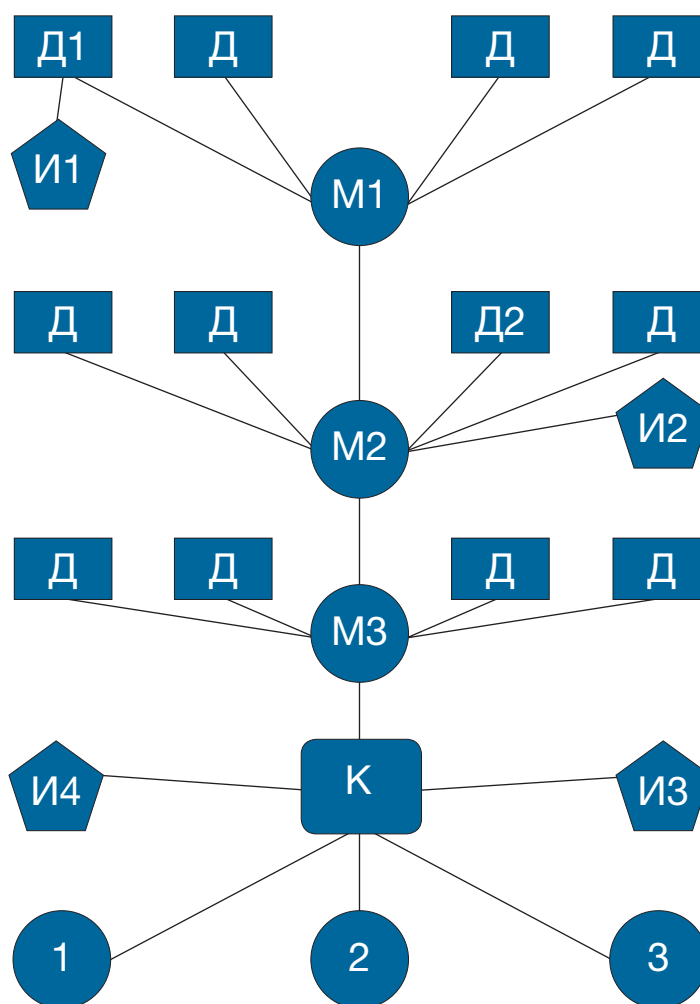
Последние модификации АБГД детектируют по крайней мере один из газов CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>, в том числе и в присутствии посторонних компонентов, также беспроводные газовые датчики дополнительно оснащены сенсорами для определения температуры, влажности, давления, освещенности (рис. 3).

Так как АБГД имеет небольшой вес и габариты, а также невысокую стоимость, как и некоторые современные портативные газоанализаторы, он может быть интегрирован с индивидуальной системой освещения на каске шахтера. В таком варианте просматривается несколько положительных аспектов:

1. Охват значительной территории, позволяющий точнее прогнозировать ситуацию и более своевременно реагировать на возможные угрозы.
2. Сигнализация о повышении концентрации метана осуществляется не только шахтеру, но одновременно и в диспетчерскую службу шахты, и в соответствующую структуру управляющей компании.
3. Возможно определение местоположения шахтера по удаленности АБГД от координаторов сети с точностью в десятки метров.
4. Индивидуальное закрепление АБГД за шахтерами исключает преднамеренное повреждение сенсоров.

Рассмотрим алгоритм работы простейшей беспроводной сенсорной сети, предназначенной для контроля концентрации метана (рис. 4).

АБГД проводят измерения концентрации газа (обозначены буквой Д на рис. 4). С целью энергосбережения измерения концентрации газов проводятся в периодическом режиме:



режим измерения – спящий режим – режим измерения. Продолжительность режима измерения составляет порядка 1 с. Продолжительность спящего режима определяется техническими требованиями. При этом в режиме измерения функционируют все элементы датчика, за исключением ZigBee-модема, который находится в спящем режиме. В случае, если превышения концентрации выявлено не было, датчик (датчики) возвращается в режим минимального энергопотребления (спящий режим). Измеренные значения концентрации газа не передаются на координатор сети (обозначен буквой К на рис. 4). При необходимости они могут быть сохранены в самих датчиках. Маршрутизаторы и исполнительные устройства находятся в режиме приема.

Если измеренное АБГД значение концентрации метана лежит в диапазоне 0,25-0,5%, об., то микроконтроллер, управляющий работой датчика, переводит ZigBee-модем в режим передачи, формирует и отправляет пакет данных на маршрутизатор (обозначен М1, на рис. 4), который, в свою очередь, направляет данные

Рис. 4. Простейшая сенсорная сеть

далее, вплоть до координатора сети. Передаваемые данные в обязательном порядке включают информацию, позволяющую идентифицировать датчик, с которого она отправлена. Кроме того, включается соответствующая световая и звуковая сигнализация самого датчика. После получения подтверждения об успешной доставке модем датчика переходит в спящий режим. Сам датчик после выполнения всех своих функций в случае нештатной ситуации также возвращается в спящий режим. При этом в зависимости от заложенного в управляющий микроконтроллер алгоритма время нахождения в спящем режиме может быть уменьшено.

Если измеренное АБГД значение концентрации метана лежит в диапазоне 0,5-1%, об., то микроконтроллер, управляющий работой беспроводного датчика, переводит ZigBee-модем в режим передачи и по беспроводной сети отправляет команду исполнительному устройству, связанному с ним (И1), и, получив подтверждение об исполнении, формирует и отправляет пакет данных на маршрутизатор (М1), который, в свою очередь, направляет данные дальше, пока они не дойдут до координатора сети. Аналогичным образом и маршрутизатор после получения данных от датчика отдает команду исполнительному устройству, связанному с ним (И2), и, получив подтверждение об исполнении, отправляет пакет данных на следующий маршрутизатор. После получения подтверждения об успешной доставке модем датчика переходит в спящий режим. Сам датчик после выполнения всех своих функций в случае нештатной ситуации также возвращается в спящий режим.


Координатор сети после получения данных о превышении концентрации газа в одном или нескольких помещениях и данных о уже выполненных действиях от исполнительных устройств отдает команду связанным с ним исполнительным устройствам (И3 и И4) и, получив подтверждение об исполнении команд, формирует и посылает пакет данных по беспроводному каналу связи (GSM/GPRS или др.) в соответствующую аварийно-спасательную

службу (1), ответственным лицам (2), а также собственникам шахты (3). Дополнительно координатор сети может иметь программно-аппаратный интерфейс для подключения по одному из промышленных протоколов передачи данных RS 232, RS 485, CAN. Кроме того, полученные данные сохраняются во встроенной или внешней памяти.

Для подтверждения исправности АБГД, исполнительных устройств и маршрутизаторов в алгоритме работы сети предусмотрен служебный режим, заключающийся в периодической отсылке команды «я в сети» на координатор сети вне зависимости от результатов измерений концентрации газа и приеме команд от координатора сети. Период отправки данной команды может варьироваться программно от нескольких минут до нескольких суток в зависимости от технических требований. Кроме того, в случае обнаружения недостаточного заряда батарей беспроводной датчик высылает на координатор сети сообщение с предупреждением о необходимости скорой замены элементов.

Интегрирование в системах промышленной безопасности сенсоров нового поколения, технологий цифровой обработки данных с беспроводной передачей данных позволяет поднять обеспечение безопасности в промышленности на принципиально новый уровень, который позволит создать интеллектуальные системы безопасности, функционирующие и выполняющие действия по предотвращению техногенных катастроф в автономном режиме.

Беспроводные сенсорные сети могут найти применение:

- для обеспечения безопасности промышленных объектов, горных выработок и угольных шахт;
- при создании систем безопасности по предупреждению пожара на ранней стадии, предшествующей возгоранию;
- для мониторинга газового состава атмосферы на открытых территориях: в лесных массивах, национальных парках, карьерах, свалках отходов и т.д. 

## Литература

1. Ian F. Akyildiz, and Erich P. Stuntebeck, Wireless underground sensor networks: Research challenges, Ad Hoc Networks, Volume 4, Issue 6, November 2006, Pages 669-686
2. Mehmet C. Vuran, and Ian F. Akyildiz, Channel model and analysis for wireless underground sensor networks in soil medium, Physical Communication, Volume 3, Issue 4, December 2010, Pages 245-254
3. Song Ci, Mohsen Guizani and Hamid Sharif, Adaptive clustering in wireless sensor networks by mining sensor energy data, Computer Communications, Volume 30, Issues 14-15, 15 October 2007, Pages 2968-2975.
4. Баранов А., Иванов М., Савкин А., Спирякин Д., Хромушин И. Беспроводной автономный датчик для мониторинга утечек горючих газов. Датчики и Системы" № 11. 2010. С. 34-38.
5. Патент РФ № 95848, Беспроводной газовый датчик с автономным питанием, Баранов А.М., Савкин А.В., Слепцов В.В., Шмидт В.И.