

Распределенная беспроводная система мониторинга технического состояния объектов газотранспортной сети

К. И. БУШМЕЛЕВА*, И. И. ПЛЮСНИН*, П. Е. БУШМЕЛЕВ*, С. У. УВАЙСОВ**

* Сургутский государственный университет, Сургут, Россия, e-mail: bkiya@yandex.ru

** Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, Москва, Россия

Рассмотрены элементы и структура распределенной беспроводной системы мониторинга по обнаружению утечек газа в реальном масштабе времени, обеспечивающей безопасность и надежность эксплуатации объектов газотранспортной сети.

Ключевые слова: газотранспортная сеть, система мониторинга, беспроводная сенсорная сеть, детектор утечек метана.

The elements and structure of distributed wireless monitoring system for leaks detection in real time providing the safe and reliable operation of gas transportation network are considered.

Key words: wireless sensor network, monitoring system, gas transportation network, methane leak detector.

Одна из основных проблем длительной эксплуатации газотранспортных сетей (ГТС) — воздействие на окружающую среду утечек (выбросов) загрязняющих веществ, в большей степени углеводородов (метана), получаемых в результате добычи и транспортировки газа. При этом большая часть выбросов в окружающую среду происходит из магистральных газопроводов (МГ). Своевременное обнаружение утечек газа из МГ позволит уменьшить риск аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным загрязнением окружающей среды и огромным материальным ущербом, что, в свою очередь, обеспечит надежность и повысит вероятность бесперебойной работы всех производственных объектов ГТС.

Несмотря на то, что при проектировании в 1970—1980 гг. в ГТС был заложен значительный ресурс, в настоящее время порядка 60 % газопроводов и отводов в России эксплуатируется свыше 20 лет, причем более четверти выработали свой номинальный ресурс — 33 года [1]. Как показывает практика, отказы оборудования, утечки на МГ с большим сроком эксплуатации имеют много причин, но главные — коррозия изоляционных покрытий стенок, дефекты в сварных швах.

Традиционный способ поддержания работоспособности МГ при помощи капитального ремонта в настоящее время предпочтительнее заменить планово-предупредительными работами и выборочным точечным ремонтом элементов и участков по результатам 100 %-го комплексного диагностического обследования современными прогрессивными методами. Существуют различные устройства неразрушающего контроля, используемые для оценки технического состояния и обнаружения утечек газа из МГ, которые отличаются принципом

действия, чувствительностью, размерами и т. д. [1]. Однако многие регионы, где проложены ГТС, отличаются значительной заболоченностью, отсутствием на большом расстоянии каких-либо систем коммуникаций. Поэтому получение информации от аварийного объекта возможно только с использованием распределенной беспроводной системы мониторинга (РБСМ) объектов ГТС. Подобные системы служат для мониторинга параметров работы технологического оборудования, климатических условий на промышленных объектах ГТС [2].

Интерес к применению беспроводных сенсорных сетей для сбора и передачи показаний с распределенных датчиков по обнаружению утечек газа при диагностике линейной части МГ в последнее время постоянно возрастает. Поскольку такой подход позволяет дистанционно осуществлять непрерывный мониторинг в режиме реального времени с протяженных объектов, значительно сокращаются затраты

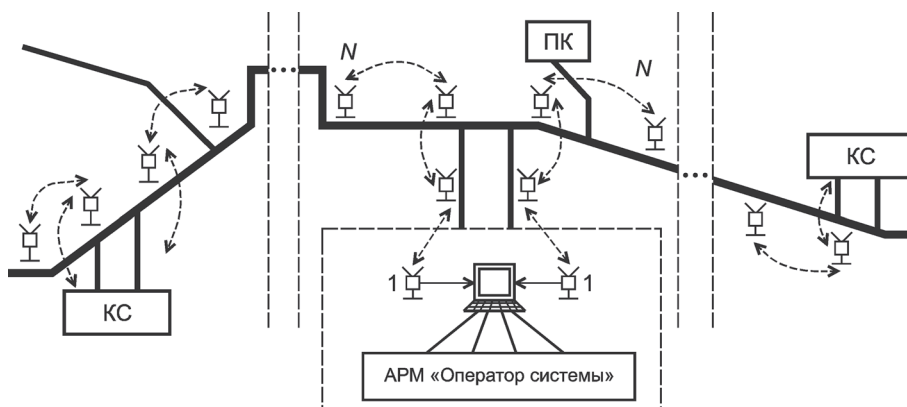


Рис. 1. Беспроводная система мониторинга магистрального газопровода, содержащая множества 1, ..., N беспроводных модулей:

КС — компрессорная станция; ПК — персональный компьютер; АРМ — автоматизированное рабочее место

времени и средств на монтаж и последующее техническое сопровождение недорогих низкопотребляющих систем. Кроме того, беспроводные системы мониторинга незаменимы для контроля устаревшего парка МГ в связи с выработкой ими нормативного срока эксплуатации и невозможностью применения на них таких, например, современных средств диагностирования, как внутритрубные снаряды-дефектоскопы [1].

Система мониторинга (рис. 1) предназначена для непрерывного контроля и оценки технического состояния МГ, а также параметров окружающей среды. Она разрабатывается на основе совокупности различных программно-аппаратных средств и представляет собой беспроводную сенсорную сеть на основе платформы MeshLogic, состоящую из множества распределенных по цепочке беспроводных модулей (БМ), а также шлюза (точки сбора информации), сервера и Web-сайта клиента, обеспечивающих связь БМ с базой данных (БД) и клиентскими приложениями (КП). Данная система является дополнением к реальной системе мониторинга технического состояния МГ на основе дистанционного зондирования подстилающей поверхности с помощью мобильного авиационного лазерного локаатора утечек газа [3].

В реальном масштабе времени РБСМ можно не только быстро развернуть в труднодоступных районах, но и эффективно решать задачи мониторинга газопроводов, предоставляя операторам системы возможность отслеживать утечки газа, а также обнаруживать места несанкционированного доступа и повреждений на объектах ГТС. В системе реализованы следующие функции: автоматическое определение технического состояния МГ с обнаружением места утечки газа; локализация места повреждения объектов на основе данных о времени обнаружения утечки газа и метеоусловиях; передача, отображение, хранение, систематизация и аналитическая обработка информации о состоянии объектов ГТС; анализ состояния оборудования, текущих ресурсов; контроль состояния охраняемой зоны окружающей среды.

Сенсорная сеть (см. рис. 1) состоит из двух одинаковых ветвей, содержащих по N беспроводных модулей БМ; каждая ветвь охватывает половину расстояния (в среднем 50 км) до следующей и предыдущей компрессорной станции КС; первый БМ каждой ветви, устанавливается вблизи персонального компьютера ПК, к которому подключается через USB-порт. При этом ПК размещают на КС и оснащают пакетом программного обеспечения (ПО) в виде автоматизиро-

ванного рабочего места АРМ «Оператор системы». Сложность системы обусловлена совокупностью различных технологий, которые необходимо применять для получения готового продукта. Достоинствами являются мобильность и возможность установки в любом труднодоступном месте МГ, а также получение данных в реальном масштабе времени.

Архитектура системы объектов ГТС имеет три основных уровня (рис. 2): клиентский, серверный и уровень БМ. На клиентском уровне система находится на Web-сайте под управлением CMS (системы управления содержимым) WordPress. На территории, покрываемой областью действия модулей беспроводной передачи данных, объединенных в единую сенсорную сеть, возможно подключение любого устройства (персонального компьютера, ноутбука и др.) с установленным специализированным ПО, что позволяет синхронизировать работу системы для получения необходимой информации с ее последующей обработкой. На серверном уровне система обеспечивает связь цепочки БМ — БД — КП. Программное обеспечение выполнено в виде сервиса, написанного на языке программирования Java в приложении EclipseIDE. При этом осуществляется быстрая интеграция с различными технологиями, а система становится кроссплатформенной. База данных реализуется с использованием системы управления MySQL и хранилищ в формате XML. На серверном уровне представлены Web-сервер и сервер БД.

Беспроводные модули представляют собой устройства, управляемые операционной системой реального времени TinyOS, которые работают от автономных источников питания и содержат набор основных компонентов детекторов утечки метана ДУМ. Их устанавливают вдоль МГ с учетом розы ветров и аналитической информации о распространении газового облака.

Локальным средством контроля БМ является ДУМ, который состоит из микроконтроллера и высокочувствительного датчика обнаружения утечек газа (метана). В данном случае использован стационарный инфракрасный датчик-газоанализатор ДАК [4], предназначенный для автоматического непрерывного измерения малых концентраций метана (до 100 ppm) и других газов в приземном слое вблизи МГ, в том числе во взрывоопасных зонах производственных помещений (при необходимости можно установить другие высокочувствительные датчики). Принцип действия ДАК основан на опико-абсорбционном методе анализа газа; способ забор

пробы диффузионный, диапазон измерений 0—100 %; пределы допускаемой погрешности ± 5 %; температура окружающей среды от -40 до $+50$ °С. Датчик имеет канал связи с ПК и радиопередающими устройствами по интерфейсу RS485, протокол связи MODBUS-RTU; предел допускаемого времени установления выходного сигнала не более 60 с; время непрерывной работы в условиях эксплуатации не менее 6 мес. Радиопередающее устройство с функцией ретрансляции (модем серии XBeePro, скорость передачи данных по радиоканалу 250000 бит/с) содержит блок автономного питания на базе аккумулятора, солнечной батареи и ветряной установки (морозостойчивый никель-кадмиевый аккумулятор NiCD, AA или «ALAN», емкостью 250 мА·ч; солнечный элемент типа «iSunSport», мощностью 2,2 Вт, током заряда

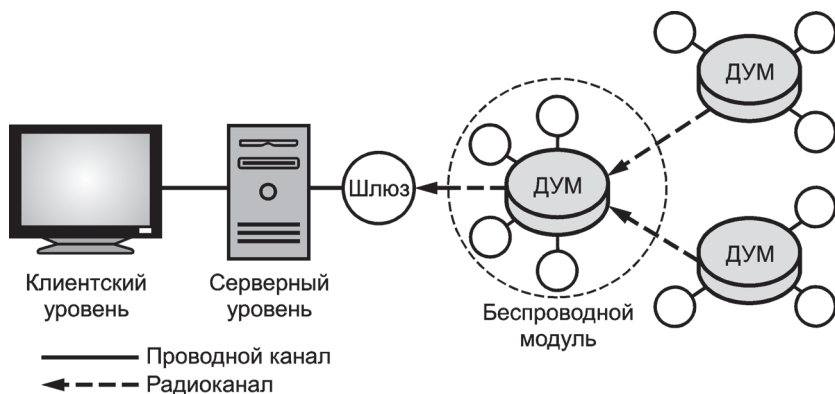


Рис. 2. Схема архитектуры системы (ДУМ — детектор утечки метана)

0,14 мА; ветрогенератор EuroWind 300L типа PMG на постоянных магнитах производительностью 10—500 Вт). Беспроводные модули устанавливают вблизи трубы на расстоянии 5—10 м через определенный интервал (около 100 м), соединяют между собой по беспроводной радиосвязи [5]. При этом образуется последовательная сенсорная сеть приемопередающих беспроводных устройств, которые доставляют информацию от точки к точке через ретрансляторы. Дальность работы БМ ограничена их мощностью и достигает в среднем 100 м, однако организация сети с использованием узловых точек для ретрансляции данных позволяет увеличить это расстояние, чтобы покрыть территорию МГ от одной компрессорной станции до другой. Выбор беспроводного канала связи для передачи информации между датчиками и ПК объясняется сложностью прокладки оптоволоконного кабеля в труднодоступных районах эксплуатации МГ.

В функции ДУМ входят: обнаружение утечки газа; фиксирование момента времени обнаружения утечки в микроконтроллере; зарядка аккумулятора устройств при помощи солнечных элементов и других источников автономного питания; передача данных со всех датчиков с ретрансляцией информации, полученной из предыдущего на последующий БМ и далее, для ввода ее в ПК; обнаружение и фиксация мест несанкционированного доступа и повреждений на объектах ГТС.

Принцип обнаружения утечек газа в ДУМ основан на диффузионном рассеянии газа в атмосфере и расчете по методу М. Берлянда, базирующемуся на математической модели рассеивания газообразных примесей в атмосфере и поставленных натурных экспериментах [3]. Данный метод позволяет рассчитать концентрацию выбрасываемых газов в вертикальном и горизонтальном сечениях облака метана, а также поля концентраций — изолинии, создаваемые точечными источниками выбросов из МГ.

Периодичность работы БМ определяется датчиком утечки метана и радиопередающим устройством. Предпочтительнее непрерывный режим работы БМ, что позволяет обнаружить утечку газа на начальной стадии. Однако с целью оптимизации технических средств и с учетом режимов работы обслуживающего персонала можно предположить следующий алгоритм работы ДУМ в течение суток. В светлое время суток, когда аккумуляторные батареи интенсивно заряжаются солнечной энергией, радиопередающее устройство включается через каждые 2 ч, а в темное время суток достаточно трех тактов передачи информации через 4 ч. В итоге БМ будет работать в течение суток 9 раз, после девятого такта работы информационный код обнуляется, а результат контроля за сутки можно передавать один раз. Так как режим работы БМ программируется, в процессе эксплуатации для адаптации к внешним условиям его можно легко изменить.

Радиопередающее устройство работает в полудуплексном режиме в определенные моменты времени, чтобы уменьшить потребляемую мощность. Согласно заданию кадр асинхронной последовательной передачи данных БМ содержит 32 бита информации об утечке газа. Поскольку размер всех кадров одинаковый, объем информации передаваемой (принимаемой) от одного БМ к другому будет увеличиваться в арифметической прогрессии на один кадр. Таким образом, формула для расчета трафика поступающей информации в ПК от сенсорной сети будет иметь вид

$$S_n = \sum_{i=1}^n a_i \text{ при } a_i = (2a_1 + d(n-1)) n/2,$$

где n — количество БМ; a_1, a_i — информация, передаваемая первым и i -м БМ; d — шаг прогрессии, в данном случае $d = a_1$.

Трафик входной информации в ЭВМ сенсорной сети системы мониторинга, например, при $n = 500$, $a_1 = 32$ бит будет составлять $S_n = 4 \cdot 10^6$ бит. В БМ с заданной периодичностью происходят нормализация аналого-цифрового преобразования и первичная обработка сигналов, поступающих от ДУМ. Далее полученные результаты в виде пакета с цифровыми данными передаются в точку сбора информации по радиоканалу.

Шлюз обеспечивает соединение БМ с серверным уровнем, исполняя роль автономного регистратора показаний, поступающих от распределенных модулей, и сохраняет их в энергозависимой памяти, отмечая время поступления данных и другую служебную информацию для последующего анализа и восстановления ее из архива, а также выдает информацию по запросу сервера. По специальной программе информация из шлюза загружается на серверный уровень для ее последующей обработки и отображения.

Данная система для информационной поддержки обслуживающего персонала газотранспортного предприятия базируется на использовании современных технологий беспроводной передачи данных ZigBee (на базе Wi-Fi) [6]. Выбор беспроводной связи для передачи информации между датчиками и серверной, куда будет поступать вся информация со всех ДУМ, объясняется сложностью прокладки и высокой вероятностью механических повреждений кабельных линий связи в труднодоступных районах эксплуатации МГ.

В зависимости от условий применения системы мониторинга возможны несколько вариантов взаимодействия шлюза и сервера — локальное подключение к серверу по интерфейсам USB, RS-232, RS-485 или удаленное через модем. Первый вариант проще реализуется и предназначается для систем, в которых можно организовать проводной канал связи между сенсорной сетью сбора данных и сервером. В этом случае сервер можно устанавливать на КС, что обеспечивает оперативный контроль за состоянием наблюдаемых объектов. Вариант удаленного подключения к шлюзу по беспроводному каналу связи, при котором оборудование сенсорной сети (ДУМ и шлюз) устанавливают вблизи МГ непосредственно на распределенных БМ, а сервер — в любом другом удобном месте (например, в центре принятия решений обслуживающего газотранспортного предприятия). Программируемые устройства с внедренными модулями ZigBee совмещаются с устройствами для хранения информации, устанавливаются на датчики БМ и программируются на снятие и передачу информации, после чего данная информация оперативно транслируется на ПК, где установлено специальное ПО — АРМ «Оператор системы» [7].

Основная задача АРМ — получение и представление оперативной информации об обстановке на МГ путем мониторинга БМ по отслеживанию утечек метана вокруг него. Решение этой задачи достигается обеспечением стабильной работы сети БМ, ее mesh-топологии [8], хранения данных в БД, удобного поиска по всей представляемой информации, организации оповещения пользователей об авариях на объектах ГТС. При этом АРМ предоставляет оператору возможность провести настройку параметров сенсорной сети, ото-

бразить на электронной карте МГ месторасположение БМ с приведением характеристик их состояний, быстро и доступно воспроизвести информацию по любому участку диагностируемой системы, просмотреть текущие ресурсы оборудования, выявить несоответствия в технологических условиях эксплуатации при передаче сигнала тревоги с датчиков, осуществить прием и передачу данных от сети БМ и шлюза сервера, считать со шлюза накопленную информацию, отобразить полученные данные в виде таблиц и графиков, сохранить информацию в БД для ее архивации и последующей обработки и все это выполнить в режиме реального времени.

Интерфейсная часть APM разработана на основе интернет-технологий Google Desktop и содержит набор следующих гаджетов:

электронную технологическую схему газопровода, на которой точками указаны БМ. Для точного позиционирования места утечки используется GPS-привязка БМ сенсорной сети к карте местности;

сигнализирующий модуль для приема и обработки информации о состоянии уровня концентрации газа в районе диагностирования с обнаружением мест повреждения. При выявлении утечек система немедленно информирует об этом пользователя;

контролирующий модуль для приема и обработки информации о работоспособности устройств БМ. При выявлении аномалий система немедленно информирует об этом пользователя;

приемо-передающий модуль.

Идея использования гаджетов привлекательна тем, что позволяет вносить новые функциональные возможности в систему без глобальных изменений ее целостности.

Интерфейс содержит раздел «Карта МГ» Web-сайта конечного пользователя системы, представляющий собой интерактивный объект. Для управления электронной картой служат панели клавиш перемещения и управления переключениями ее видов; управляющая кнопка возвращает к участку наблюдаемого газопровода. Нажимая на метки, отображающие БМ, получают информативное всплывающее окно с описанием текущего состояния БМ, также можно добавлять (удалять) модуль с указанием основных характеристик его местоположения — координат, параметров, названия участка МГ.

Входная информация в APM представлена массивом данных, собранных при помощи БМ, сигналом 1 или 0, соответственно для концентрации газа выше нормы или в норме. Данные с БМ поступают на шлюз сервера и затем через консольное приложение, обеспечивающее связь всех компонентов системы, передаются в БД.

Выходная информация выводится на экран, на котором представлены: электронная карта местности, контролируемой БМ с нанесенными объектами ГТС и беспроводными

модулями; фотографии участков мониторинга; индикатор состояния системы (нормальное или аварийное) в текущий момент времени; отчеты по работе модулей в отдельности и системы в целом.

Подводя итог, необходимо отметить, что использование данной беспроводной распределенной системы для мониторинга за фактическим состоянием элементов МГ позволяет быстро развернуть ее в любом месте ГТС, повысить оперативность получения и передачи информации, обеспечить мониторинг и контроль технического состояния газопроводов, провести анализ и обработку собранных данных в реальном времени, избежать высоких затрат на ремонт и устранения последствий аварий на МГ. На основании полученной информации об утечке газа можно максимально быстро организовать выезд ремонтной бригады для ее ликвидации. Достоинством системы мониторинга и управления техническим состоянием объектов ГТС является возможность обнаружения утечек газа малых концентраций с высокой надежностью и точностью определения мест утечек, а также отсутствие ограничений по контролю протяженных МГ.

Л и т е р а т у р а

1. **Бушмелева К. И., Плюсин И. И., Увайсов С. У.** Анализ методов и средств диагностирования магистральных газопроводов // Контроль. Диагностика. 2010. № 7. С. 29—37.

2. **Мониторинг** насосных станций и трубопроводов. Компания MOXA Inc. 2012. [Электрон. ресурс]. <http://oil-gas.moxa.ru> (дата обращения: 10.09.2012 г.).

3. **Бушмелева К. И. и др.** Моделирование оптимальных параметров устройства дистанционного зондирования // Измерительная техника. 2011. № 3. С. 39—42; **Bushmeleva K. I. e. a.** Modeling the optimal parameters for a remote sensing device // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 3. P. 294—299.

4. **ДАК** — датчики-газоанализаторы инфракрасные [Электрон. ресурс]. <http://www.analitpribors.ru/tech/dak-re-mp.pdf> (дата обращения: 10.09.2012 г.).

5. **Пролетарский А. В.** Основы информационных технологий. Беспроводные сети Wi-Fi. М.: Бином-Лаборатория знаний, 2007.

6. **Щербаков А. К.** Wi-Fi: все, что вы хотели знать, но боялись спросить. М.: Бук-Пресс, 2005.

7. **Бушмелев П. Е.** Беспроводная система мониторинга магистральных газопроводов // Новые информационные технологии: Тезисы докл. XVIII междунар. студ. конф. — школы-семинара. М.: МИЭМ, 2010. С. 181—182.

8. **Осипов И. Е.** Mesh сети: технологии, приложения, оборудование // Технологии и средства связи. 2006. № 4. С. 38—45.

Дата принятия 13.11.2012 г.