

УДК 681.518.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ
АВТОМАТИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

USE OF WIRELESS NETWORKS FOR GAS FIELDS AUTOMATION

Краснов А.Н., Прахова М.Ю., Хорошавина Е.А.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Г. Уфа, Российская Федерация

A.N. Krasnov, M. Yu, Prakhova, E. A. Khoroshavina

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ufa-znanie@mail.ru

Аннотация. Наиболее крупные газовые и газоконденсатные месторождения (ГМ и ГКМ) России расположены на Крайнем Севере, регионе с суровыми климатическими условиями и отсутствием развитой инфраструктуры, в том числе источников электропитания. Поэтому основной проблемой при разработке и эксплуатации систем автоматизации ГМ и ГКМ является отсутствие проводных каналов связи между отдельными объектами газового промысла, например, скважинами и УКПГ. Эта проблема решается использованием технологий беспроводной передачи информации. На сегодняшний день существует большое число различных систем беспроводной передачи данных, различающихся между собой дальностью передачи, ее максимальной скоростью, используемой технологией.

В статье проведен анализ существующих технологий и систем, сформулированы требования, предъявляемые к используемой технологии условиями эксплуатации беспроводных каналов связи. Обосновано использование беспроводных сенсорных сетей (БСС), представляющих

собой распределенные самоорганизующиеся сети, состоящие из множества датчиков и исполнительных устройств, связанных друг с другом с помощью радиоканала. Такая сеть отвечает основным требованиям со стороны газовых промыслов, а именно: может объединять до нескольких тысяч электронных устройств, покрывать пространство в несколько километров за счет способности узлов к ретрансляции сообщений и встраиваться в АСУ ТП на участке между управляемым технологическим процессом и управляющей SCADA системой. В статье рекомендована для использования система «СТРИЖ», разработанная российской телекоммуникационной компанией «СТРИЖ Телематика». Рассмотрены основные факторы, влияющие на надежность эксплуатации БСС, а также ее отдельных узлов, и пути ее повышения.

Abstract. The largest gas and condensate fields (GM and GCM) of Russia located in the Far North region with hard climatic conditions and the lack of infrastructure, including power supplies. Therefore, the main problem during the development and operation of GM and GCM automation systems is the absence of wired communication channels between the individual gas field facilities, such as wells and treatment plant. This problem is solved by using the wireless data transfer technologies. Today there are a lot of different systems for wireless data transmission, differing transmission distance, its maximum speed, the technology used.

It's analyzed the existing technologies and systems in this article. The requirements for the operating conditions of wireless channels of communication technology used are formulated too. The best option is the use of wireless sensor networks (WSN). It is a distributed self-organizing network, consisting of a variety of sensors and actuators connected to each other via radio. This network meets the basic requirements for the gas fields, namely, it can be combined to thousands of electronic devices, cover the space of a few kilometers due to the ability of nodes to relay messages and embedded in automation systems in the area between the managed process and the SCADA

system. The authors recommend to use the system "Swift", developed by the Russian telecommunications' company "Swift Telematics". The main factors affecting the reliability of operation of the FSU, as well as its individual components, are considered. The ways to improve it are shown.

Ключевые слова: газоконденсатное месторождение, передача данных, беспроводные технологии передачи данных, беспроводная сенсорная сеть, сетевая топология, СТРИЖ, технология LPWAN

Key words: gas field, data transmission, wireless data transmission technology, wireless sensor network, network topology, Swift, LPWAN technology

При разработке газовых и газоконденсатных месторождений (ГКМ) осуществляется целый комплекс мероприятий по извлечению из залежи на поверхность газа и газового конденсата, по их сбору и подготовке к транспортировке потребителю.

Месторождения состоят, как правило, из нескольких залежей или пластов, расположенных один над другим, причем каждый из них может разрабатываться самостоятельно. Выбор схемы сбора газа зависит от многих факторов, таких как форма залежи, площадь, конфигурация и геологическое строение месторождения, число продуктивных пластов, характеристика коллекторов, давление на устьях, дебит скважин, состав и запасы газа, наличие в нем конденсата и примесей, принятая технология обработки газа и др.

При разработке крупных месторождений применяют групповые схемы сбора, которые по месту подготовки газа к транспорту подразделяют на централизованные и децентрализованные (рисунок 1). Согласно первой из них предполагается размещение на территории месторождения установок предварительной подготовки газа (УППГ), на которых осуществляется сброс пластовой воды, замер и частичная подготовка газа [1]. Далее газ из УППГ по газосборным коллекторам подается на групповой сборный пункт

(ГСП, сейчас именуемый УКПГ) для доведения газа до окончательной кондиции (проводится очистка и осушка газа). Из ГСП подготовленный газ поступает в магистральный газопровод.

Освоение крупных и сверхкрупных ГКМ, характерных для северных районов Тюменской области, ведется групповым децентрализованным способом. При таком подходе весь цикл подготовки газа осуществляется на каждом из нескольких мощных УКПГ, в которые газ по шлейфам поступает из кустов скважин. После УКПГ газ по промышленным коллекторам подается в магистральный газопровод. Такая схема выгодна, когда транспорт необработанного газа сопряжен с рисками образования гидратов и выпадения осадков, и когда продуктивность скважин высока.

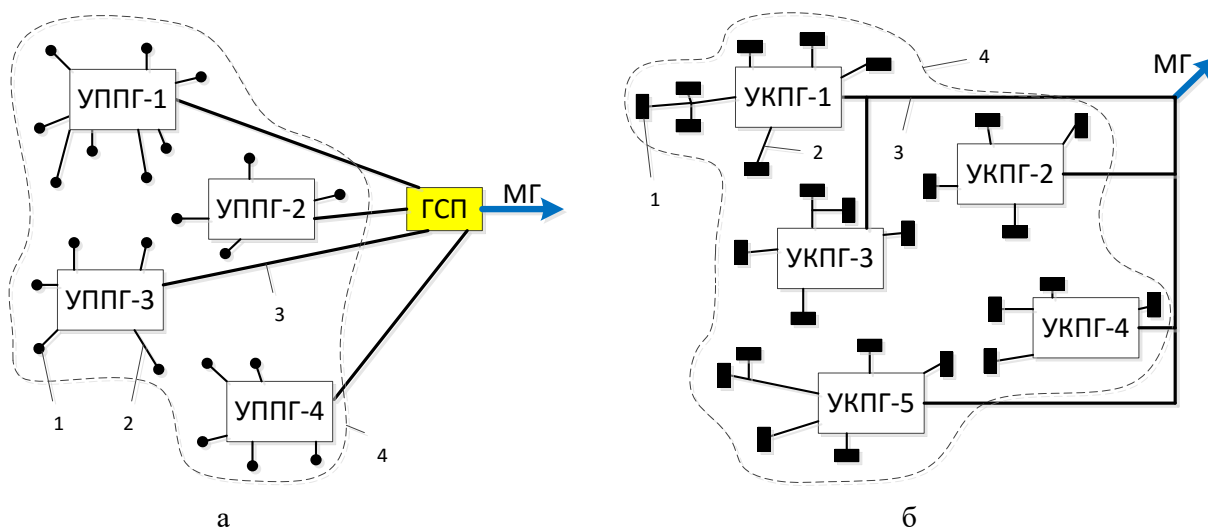


Рисунок 1. Групповые схемы сбора газа:
 а – централизованная; б – децентрализованная
 1 – скважина (куст); 2 – шлейф; 3 – газосборный коллектор;
 4 – контур газоносности

Кустовой способ размещения позволяет на небольшой по площади поверхности земли расположить устья сразу нескольких скважин, забои которых за счет наклонно-направленного бурения могут быть доведены до места разработки продуктивного пласта на расстоянии до 10 км от вертикали. Число скважин в кусте может достигать от двух единиц до нескольких десятков.

Автоматизация объектов газового промысла должна носить комплексный характер и обеспечивать централизованный контроль и управление технологическими параметрами производства. При этом управление технологическими процессами может иметь как одно-, так и двухступенчатую структуру в зависимости от принятой схемы сбора продукции.

Одноступенчатая структура предполагает, что функции контроля и управления скважинами, технологическими процессами сбора и подготовки газа выполняет центральный диспетчерский пункт газового промысла. При двухступенчатой структуре управление основными параметрами осуществляется также в центральном диспетчерском пункте, а второстепенными – на щите оператора объекта.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами газоконденсатного месторождения предусматривают широкое применение средств автоматизации на основе распределенных сетей ПЛК, работающих в режиме реального времени.

Эффективная работа АСУ ТП промыслов ГКМ возможна с использованием современной вычислительной техники, средств сбора, обработки и передачи информации, программного обеспечения локальной вычислительной сети, единой базы данных. Такая АСУ ТП должна обеспечивать бесперебойную добычу, транспортировку и обработку газа с надежным и оперативным управлением, высокую производительность труда работников, поэтому автоматизация газовых месторождений направлена на реализацию следующих задач:

- контроль над технологическими параметрами скважин;
- удаленное управление оборудованием кустов месторождений;
- обеспечение информационной взаимосвязи между центральным офисом, операторным пунктом и кустовыми площадками;
- оптимизация работы оборудования на кустах.

Таким образом, на первый план при построении АСУ ТП выходит задача надежной передачи информации в обоих направлениях – от скважин к пункту управления и обратно.

Внедрение и использование обычных структурированных кабельных сетей (СКС) в этом случае является нерентабельным, т.к. расстояния между кустами газовых скважин и пунктами сбора и переработки могут составлять десятки километров. Альтернативой могут быть только беспроводные технологии передачи данных [2].

Поэтому исследования, посвященные разработке алгоритмов, позволяющих решить задачу экономии питания, и новым способам маршрутизации и передачи данных в беспроводных сетях, являются очень актуальными.

Беспроводная передача информации может осуществляться посредством радиоволн, инфракрасного, оптического или лазерного излучения. Все беспроводные технологии используют преимущества, которые возникают при использовании радиоэфира в качестве среды передачи данных. К их числу можно отнести высокую мобильность, отсутствие кабелей, быстрое развёртывание сети связи и удобную модернизацию, снижение затрат на монтаж и обслуживание СКС и пр.

Среди различных подходов к классификации беспроводных технологий передачи данных основной является классификация по дальности связи:

1) беспроводные персональные сети (WPAN – Wireless Personal Area Networks – иначе, сеть локальных интерфейсов). Используются для связи различных электронных устройств между собой, таких как компьютеры, бытовые приборы и оргтехника, мобильные телефоны и для связи их с сетями более высокого уровня. Радиус действия от нескольких метров до нескольких десятков метров. В качестве примеров можно назвать RuBee, X10, ANT, Insteon, Bluetooth, Z-Wave, RFID;

2) беспроводные локальные сети (WLAN – Wireless Local Area Networks – иначе, локальные домашние и офисные сети). Радиус действия – несколько

сотен метров. Примеры технологий: UWB, ZigBee, Wi-Fi;

3) беспроводные сети масштаба города (WMAN – Wireless Metropolitan Area Networks). Радиус действия таких сетей несколько километров. К ним относятся, например, технологии WiMAX, Mobile Broadband Wireless Access;

4) беспроводные глобальные сети (WWAN – Wireless Wide Area Network) на базе радиорелейных, сотовых и спутниковых технологий. В основном к ним относятся сети сотовой связи. Радиус действия – десятки километров. Примеры технологий: GSM, CDMAone, iDEN, PDC, GPRS и UMTS, CSD, EDGE, HSPA;

5) LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) — новый подход в радиосвязи, применяемый для устройств и крупных распределенных беспроводных сетей телеметрии. Его особенность — низкое энергопотребление (low-power) и широкий территориальный охват (wide-area). Ее появление стало возможным благодаря развитию компонентной базы: радиомодулей и приемопередающего оборудования.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество стандартизованных технологий беспроводной передачи информации, часть из которых представлена в таблице 1 [3].

Таблица 1. Сравнительная характеристика беспроводных коммуникационных технологий

Наименование типа сети	Технология беспроводной передачи данных	Максимальная скорость передачи	Типичная дальность передачи
WPAN	ZigBee Wireless HART ISA 100.11	250 Кбит/с	до 100 м
	Bluetooth	3 Мбит/с	до 100 м
	UWB	480 Мбит/с	10 м
WLAN	Wi-Fi (IEEE 802.11g)	54 Мбит/с	100–300 м
	Wi-Fi (IEEE 802.11n)	320 Мбит/с	30 м
2G	GSM/CSD	9,6 Кбит/с	10–40 км
2.5G	GSM/GPRS	60 Кбит/с	10–40 км
	GSM/EDGE	384 Кбит/с	10–40 км
3G	UMTS	2 Мбит/с	10–40 км
4G, WMAN	WiMAX (IEEE 802.16)	70 Мбит/с	до 50 км
LPWAN	LoRa (Long Range)	150 Кбит/с	до 50 км

Учитывая, что полевые шины АСУ ТП на объектах добычи газа, как правило, являются низкоскоростными, для организации системы сбора данных весьма перспективным является применение технологии LPWAN, скорость обмена информацией в которых не превышает 150 Кбит/с.

В настоящее время на рынке представлена российская телекоммуникационная компания – «СТРИЖ Телематика», разработчик автоматизированных решений на базе собственной LPWAN технологии.

«СТРИЖ» позволяет легко создать такую беспроводную сенсорную сеть, в которой передача происходит на частоте 868 МГц при мощности до 25 мВт [4]. На данном частотном диапазоне разрешено свободное и бесплатное использование радиопередающих устройств на основании Решений ГКРЧ.

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) представляет собой распределенную самоорганизующуюся сеть, состоящую из множества датчиков и исполнительных устройств, связанных друг с другом с помощью радиоканала. Такая сеть может насчитывать сотни или тысячи миниатюрных электронных устройств и покрывать пространство до нескольких километров за счет способности узлов к ретрансляции сообщений. Сеть способна встраиваться в систему промышленного мониторинга на участке между управляющей системой SCADA и технологическим процессом, над которым необходимо осуществлять мониторинг [5].

Каждый узел сети включает в себя сенсор для контроля внешней среды, автономный источник питания (батарея), микроконтроллер, приемопередатчик, память и, при необходимости, исполнительные механизмы.

Основные достоинства беспроводных сенсорных сетей [6]:

- возможность монтировать датчики в труднодоступных местах;

- высокая скорость развертывания системы, дешевый и легкий монтаж из-за отсутствия необходимости в прокладке кабелей, несложная эксплуатация;
- выход из строя одного устройства не приводит к потере информации;
- низкая стоимость узлов сети;
- сверхнизкое энергопотребление;
- использование не лицензируемых диапазонов радиочастот;
- гибкость и расширяемость сети, её самовосстановление и самоорганизация;
- интегрированный интеллект для настройки сети и маршрутизации сообщений;
- питание от автономных источников и длительное время работы без замены батареи (до двух лет).

Существуют три различных типов устройств беспроводной сенсорной сети:

1) центр сбора информации (ЦСИ). Осуществляет координацию, установку параметров сети, обрабатывает собранные данные. Может связываться с другими сетями;

2) транзитные узлы (Т-узлы). Выполняют маршрутизацию, передают данные с других устройств в ЦСИ с помощью ретрансляции сообщений;

3) функциональные узлы (Ф-узлы). Являются конечными устройствами, осуществляют сбор информации или управление над закрепленным за ними объектом. Не передают информацию с других устройств, но сообщаются с родительским узлом (с координатором, или с маршрутизатором). Эти узлы могут большую часть времени находиться в спящем режиме, значительно продлевая время жизни батареи, а, следовательно, устройства и сети в целом.

Схемы организации взаимодействия узлов датчиков в сенсорной сети (так называемые сетевые топологии) также могут быть различными.

Основными типами сетевых топологий для БСС являются «Звезда», «Дерево» и «Сетка».

Топология «Звезда» – это довольно простая сеть. В центре звездообразной топологии находится координатор, который связан со всеми другими узлами в сети (рисунок 2). Каждое сообщение в системе должно пройти через координатор, который перенаправляет их по мере необходимости между устройствами. Конечные устройства не общаются друг с другом напрямую. Недостатком этой топологии является ограниченное число сенсорных узлов. Это ограничение возникает из-за того, что все сенсорные узлы должны располагаться вблизи центрального устройства, чтобы подключиться к нему напрямую. Еще одним ограничивающим фактором является производительность координатора, т.е. максимальное число поддерживаемых соединений.

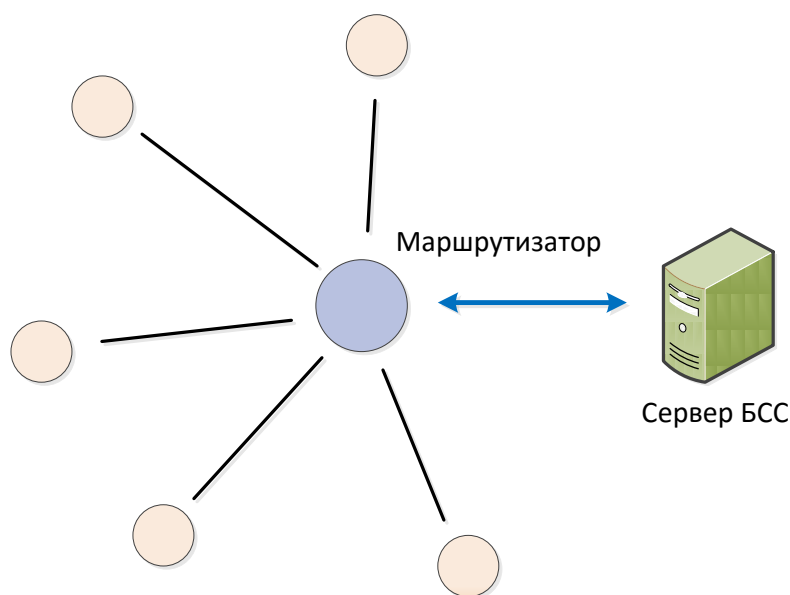


Рисунок 2. Топология «Звезда»

Топология «Дерево», или древовидная топология, по сравнению с топологией типа «Звезда», гораздо лучше подходит для сенсорной сети с большим количеством узлов датчиков. Она имеет верхний узел с нисходящей иерархической структурой (рисунок 3). Сенсорные узлы, которые являются ближайшими к главному узлу, взаимодействуют с ним

напрямую, а более удаленные узлы взаимодействуют с ближайшими узлами согласно принятым в топологии правилам. Для достижения своей цели сообщение перемещается вверх по дереву (по мере необходимости), а затем вниз.

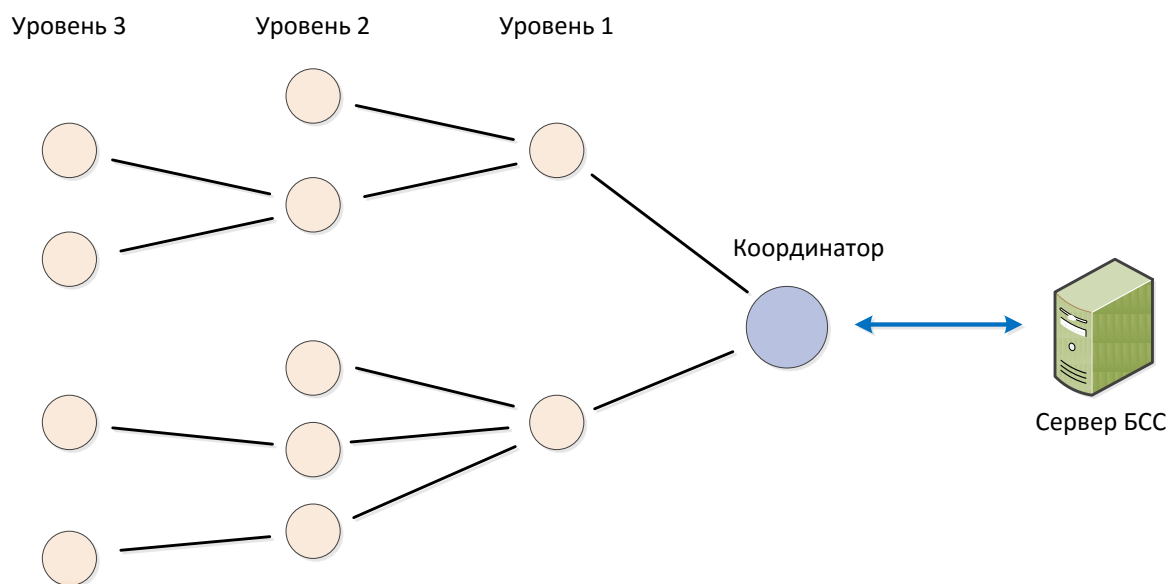


Рисунок 3. Топология «Дерево»

Топология «Сетка», или ячеистая топология, имеет древовидную структуру, в которой некоторые узлы связаны напрямую. Является наиболее сложной для реализации, но предоставляет гораздо больше возможностей для обмена данными между сенсорными узлами. Характеризуется высокой отказоустойчивостью. Взаимодействие между узлами датчиков происходит по принципу «каждый с ближайшим», как показано на рисунке 4. Это означает, что каждый сенсор взаимодействует с другими сенсорами, которые находятся в непосредственной близости. В такой сенсорной сети обмен данными между сенсорными узлами идет по кратчайшему пути и с наименьшим количеством повторных передач, что положительно влияет на энергопотребление датчиков.

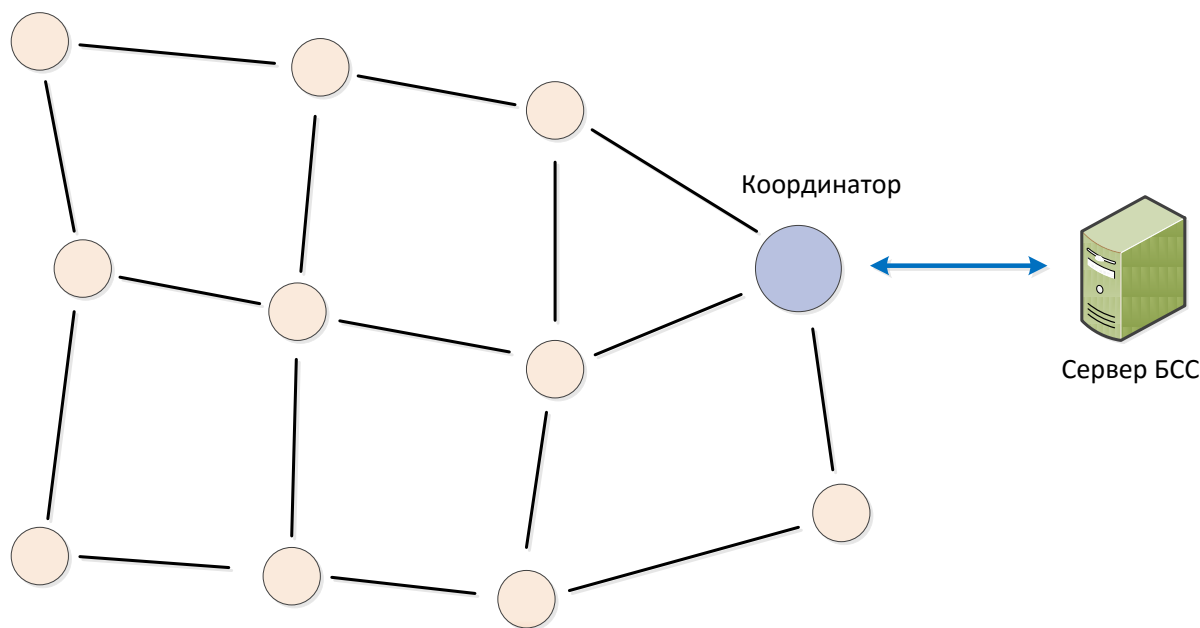


Рисунок 4. Топология «Сетка»

Значительная часть работ в области беспроводных сенсорных сетей посвящена решению задачи увеличения срока жизни БСС и повышения ее надежности.

БСС становятся одной из самых привлекательных областей исследования, оказывая все большее воздействие на общее технологическое развитие беспроводных сетей. Основными ограничениями, влияющими на отказоустойчивость БСС, являются ненадежное оборудование, установленное программное обеспечение, потребление энергии и топология. По этой причине оценка надежности БСС становится все более актуальной, поскольку она может помочь снизить риски и материальные потери путем прогнозирования отказоустойчивости сенсорной сети до развертывания.

Исследования в области анализа надежности привели к разнообразию моделей, каждая из которых направлена на определенные уровни абстракции и характеристики системы.

Моделирование надежности позволяет проводить оценку поведения системы в отношении возникновения неисправности. Модели позволяют проектировщикам своевременно совершенствовать сеть.

Вероятность отказа узла БСС является относительно высокой, а, следовательно, актуальной задачей является задача обеспечения связности узлов сети. Причинами отказа узла могут быть как отказы компонентов датчика, так и по причине снижения заряда батареи. С уменьшением связности узлов снижается надежность всей сенсорной сети. Задачами проектировщика сети являются оценка связности узлов сенсорной сети и стратегия их размещения. При оценке связности сеть принято представлять в виде неориентированного графа $G(V,E)$, где V – множество узлов сети, E – множество ребер. При этом вычисляют нижние и верхние оценки связности узлов. Известными методами оценки являются методы минимальных путей и сечений, оценки Эзари-Прошана и Литвака-Ушакова [7].

Различают три стратегии увеличения связности сенсорной сети:

- кластеризации сети, то есть разбиение множества всех функциональных узлов на группы. Внутри каждой такой группы размещается базовая станция. Между функциональными узлами и координатором располагаются транзитные узлы.

- При этом повышение связности сети при ее разбиении на кластеры достигается вследствие того, что базовая станция является более надежным узлом, имеет большую дальность уверенной передачи радиосигнала, меньше зависит от ограничений в энергопотреблении:

- избыточное размещение транзитных узлов;
- использование узлов с различными характеристиками трансиверов: увеличение связности СС с помощью этих стратегий достигается путем увеличения дальности связи отдельных узлов СС, что приводит к уменьшению количества ненадежных транзитных узлов.

При анализе связности двухполюсных графов часто используют понятие минимального пути. Минимальный путь двухполюсного графа – такое подмножество его ребер, которое позволяет, переходя от одного ребра к другому через инцидентную им обоим вершину, пройти от

входного полюса к выходному, но исключение хотя бы одного любого ребра из этого подмножества приводит к тому, что оставшееся подмножество ребер уже не является путем. Другими словами, минимальный путь – это путь без петель (циклов) и без «висячих» ребер [8].

Принцип состоит в следующем: из двух зависимых маршрутов более эффективным считается тот маршрут, у которого суммарная длина ребер графа меньше. В качестве меры длины ребра, исходя из необходимости обеспечения максимального времени работы системы, была выбрана минимальная мощность радиопередатчика $w\{u,v\}$, необходимая для установления прямой радиосвязи между узлами u и v .

Такой подход обусловлен наличием у большинства современных радиомодулей возможности переключения между несколькими уровнями мощности при работе в режиме передачи. При этом, чем выше мощность, тем выше потребляемый ток и радиус действия. Так как не всегда для связи между двумя узлами требуется использовать самый высокий уровень мощности, то за счёт снижения мощности может быть достигнута экономия энергии, а как следствие - увеличение срока службы датчиков без замены источника питания.

Выводы

Узлы сенсорной сети отказывают обычно из-за следующих причин: выход из строя модулей (таких, как модуль связи и сенсорный модуль), факторы окружающей среды, атаки злоумышленников и т.д.; снижение заряда батареи; расположение узла вне дальности связи других узлов сети.

Список используемых источников

1 Вяхирев Р.И., Коротаяев Ю.П., Кабанов Н.И. Теория и опыт добычи газа. М.: ОАО «Изд-во «Недра»», 1998. 479 с.

2 Краснов А.Н., Ефимова В.Н. Оптимизация сбора данных с распределенных в пространстве беспроводных датчиков на нефтегазоконденсатных месторождениях // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: сб. науч. II Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. С. 44-47.

3 Киргизов Д.И., Иванов А.А., Шерстюков О.Н. Аппаратное и программное обеспечение беспроводной системы телеметрии для геолого-технологических исследований // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т. 9, № 2. С. 55-61.

4 Система удаленного сбора данных телеметрии «СТРИЖ»: [Электронный ресурс]. – URL <http://strij.net/product> (дата обращения 25.06.2016. [in Russian].

5 Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе // Материалы региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов; отв. ред. А. Л. Портнягин. Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. 280 с.

6 Баскаков С. С. Методы увеличения срока службы распределенных беспроводных сетей сбора данных // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: сб. тр. /Всерос. конф. М., 2008. С. 930–936.

7 Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем. М.: Радио и связь, 1991. 243 с.

8 Опенкин В.А. Оценка надежности и резервирование сети транзитных путей проектируемых двухпутных железных дорог // Неделя науки – 98: тез. докл науч.-практ. конф. М.: 1998. 30 с.

References

- 1 Vjahirev R.I., Korotaev Ju.P., Kabanov N.I. Teorija i opyt dobychi gaza. M.: OAO «Izdatel'stvo «Nedra»», 1998. 479 s. [in Russian].
- 2 Krasnov A.N., Efimova V.N. Optimizacija sbora dannyh s raspredelennyh v prostranstve besprovodnyh datchikov na neftegazokondensatnyh mestorozhdenijah // Jeлектропривод, jeлектротехнологии i jeлектрооборудование predpriyatij: sb. nauch. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2015. S. 44-47. [in Russian].
- 3 Kirgizov D.I., Ivanov A.A., Sherstjukov O.N. Apparatnoe i programmnoe obespechenie besprovodnoj sistemy telemektrii dlja geologo-tehnologicheskikh issledovanij // Jeлектротехнические i informacionnye komplekсы i sistemy. 2013. T. 9, № 2. S. 55-61. [in Russian].
- 4 Sistema udalennogo sbora dannyh telemektrii «STRIZh»: [Jeлектронnyj resurs]. – URL <http://strij.net/product> (data obrashhenija 25.06.2016.) [in Russian].
- 5 Jenergosberezhenie i innovacionnye tehnologii v toplivno-jenergeticheskom komplekse // Materialy regional'noj nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, molodyh uchenyh i specialistov / otv. red. A. L. Portnjagin. Tjumen': TjumGNGU, 2012. 280 s. [in Russian].
- 6 Baskakov C. C. Metody uvelichenija sroka sluzhby raspredelennyh besprovodnyh setej sbora dannyh // Tehnicheskie i programmnye sredstva sistem upravlenija, kontrolja i izmerenija: sb. tr. Vseros. konf. M., 2008. S. 930–936. [in Russian].
- 7 Ushakov I. A. Verojatnostnye modeli nadezhnosti informacionno-vychislitel'nyh sistem. M.: Radio i svjaz', 1991. 243 s. [in Russian].
- 8 Openkin V.A. Ocenka nadezhnosti i rezervirovanie seti tranzitnyh putej proektiruemyh dvuhputnyh zheleznyh dorog // Nedelja nauki – 98: tez. dokl nauch.-prakt. konf. M.: 1998. 30 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Краснов А. Н., канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A.N. Krasnov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair Automation of Technological Processes and Production, FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ufa-znanie@mail.ru

Прахова М. Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M. Yu. Prakhova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair Automation of Technological Processes and Production, FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: prakhovamarina@yandex.ru

Хорошавина Е. А., канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

E. A. Khoroshavina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair Automation of Technological Processes and Production, FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: khoroshavinaelena@rambler.ru