

# Технология развертывания локальных беспроводных радиосетей ZigBee в системах промышленной автоматизации и диспетчеризации



В статье описывается технология развертывания mesh-сетей ZigBee с автоматической ретрансляцией передаваемых данных для систем учета, телемеханики и телеметрии – на основе полнофункциональных ZigBee Pro модемов. В качестве иллюстраций к материалу прилагаются решения AnCom.

ООО «Аналитик-ТС», г. Москва

## Что такое ZigBee

ZigBee/IEEE 802.15.4 – открытый глобальный стандарт локальных (персональных) беспроводных радиосетей в нелицензируемом частотном диапазоне. Основное предназначение этого, относительно нового для российского рынка средства организации радиоканала обмена данными, – построение беспроводных сетей объектов автоматизации и диспетчеризации.

Решением ГКРЧ от 19 августа 2009 г. № 09-04-07 (Приложение № 1) определена допустимая мощность для персональных радиосетей на основе технологии ZigBee (2400–2483,5 МГц) в 100 мВт для использования внутри зданий, складских помещений и производственных территорий. Использование ZigBee (100 мВт) вне помещений определено для целей сбора информации телеметрии в составе автоматизированных систем контроля и учета ресурсов или систем охраны.

В отличие от сетей сотовой связи общего пользования, ZigBee, также как Bluetooth и Wi-Fi, яв-

ляется персональной радиосетью (табл. 1). При этом, работая на относительно небольших скоростях, ZigBee обеспечивает более высокую дальность передачи сигнала, низкое энергопотребление, а также формирует самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) структуру покрытия (рис. 1).

Изначально, при разработке стандарта, ориентир ставился на системы охранно-пожарной сигнализации и управления инженерными сетями «умного дома», что предопределило невысокие скоростные характеристики передачи данных ZigBee устройств: на практике – порядка 40 кбит/с. Ос-

новной упор был сделан на малое энергопотребление, высокую надежность и безопасность, дальность передачи сигнала, а также возможность организации сложных сетевых структур.

## Применение ZigBee

Стандарт ZigBee предназначен для объединения в единую локальную беспроводную сеть удаленных объектов промышленной автоматизации, управления, мониторинга и диспетчеризации [1]. Сети ZigBee могут найти и уже находят применение во многих областях учета и телемеханики: автоматизация жилых и строящихся помещений, промышленное

Табл. 1. Характеристики персональных беспроводных радиосетей

Применение	Стандарт	Выходная мощность, мВт	Дальность действия	Топология сети
HD Видео	Wi-Fi	100	10...100 м	«шина», «кольцо», «звезда»
Доступ в Интернет	Bluetooth	класс 3	1	«точка-точка», «звезда» мастер + 7
		класс 2	2,5	
		класс 1	100	
Телеметрия	433 МГц	10	до 1000 м	«точка-точка»
	ZigBee	10	10 ... 100 м	«точка-точка», «звезда», «кластерное дерево», mesh-сеть
	ZigBee Pro	100	90 ... 4000 м	

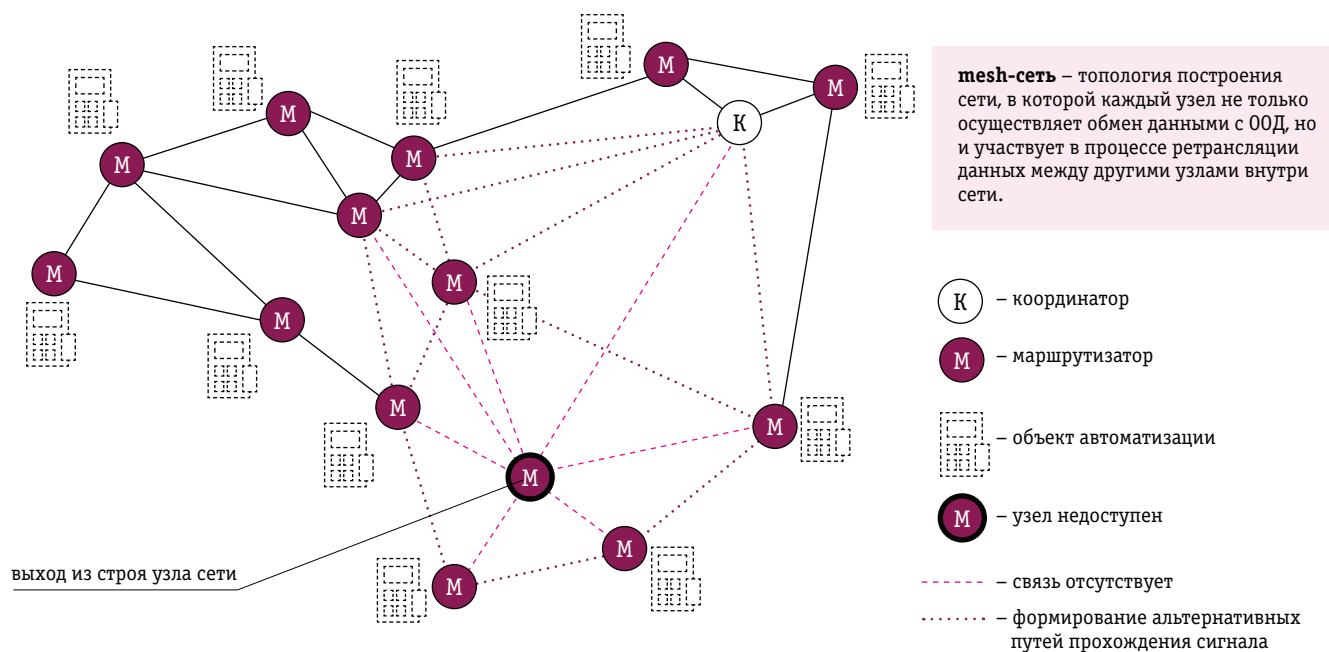


Рис. 1. Сеть топологии mesh, построенная на основе полнофункциональных устройств («маршрутизаторов») с поддержкой автоматической ретрансляции данных

управление и мониторинг, жилищно-коммунальное хозяйство, управление освещением, создание индивидуального диагностического медицинского оборудования, а также бытовая электроника и персональные компьютеры.

Способность ZigBee сетей к масштабируемости без какого-либо вмешательства в работу устройств, быстрой переконфигурации сети по мере добавления в нее новых узлов, организации передачи данных через узлы-ретрансляторы с высокой степенью надежности, поддержке сложных сетевых топологий — все это открывает новые возможности для автоматизации и диспетчеризации удаленных объектов.

**Топология «mesh» ZigBee сетей**

Главная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она, при относительно невысоком энергопотреблении, поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка-точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети типа «кластерное дерево», а также ячеистую топологию

(mesh) — с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений (рис. 1).

Для построения mesh-сетей используются два типа логических устройств ZigBee: «координатор» и «маршрутизатор»\*. «Координатор» осуществляет формирование сети, управление узлами, а также хранит информацию о настройках каждого узла, подсоединенного к сети; в локальной сети ZigBee используется только один узел-«координатор». К «маршрутизаторам» подключается оконечное оборудование данных (ООД); кроме того, они отвечают за выбор пути доставки сообщений между узлами сети, и также способны присоединять новые узлы.

При построении сети ZigBee с использованием «координатора» и «маршрутизаторов», реализуется полноценная mesh-сеть, в которой каждый узел сети участвует в процессе доставки данных и способен присоединять новые узлы (рис. 1).

Доступ к узлам сети осуществляется через «координатора», подключаемый к управляющему компьютеру напрямую через COM-порт, либо через шлюзы (например, GSM или Ethernet).

\* Применение в сети третьего типа логических устройств, т.н. «оконечных устройств» — на основе ZigBee модулей с ограниченным набором функций, не имеющих возможности ретранслировать данные или присоединять новые узлы, характерно для систем охранно-пожарной сигнализации или «умный дом». Однако, в системах учета и телемеханики, на наш взгляд, целесообразно построение полноценных mesh-сетей, что предопределяет использование только «маршрутизаторов» и «координатора».

Топология mesh основана на децентрализованной схеме организации сети. Это сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными избыточными соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям:

- ▶ высокая степень надежности (устойчивость сети к потере отдельных элементов);
- ▶ узлы сети выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других узлов этой же сети в автоматическом режиме;
- ▶ выбор наилучшего, с точки зрения скорости передачи данных, маршрута прохождения сигнала;
- ▶ масштабируемость сети в режиме самоорганизации;
- ▶ создание зон сплошного информационного покрытия большой площади: территория покрытия разделяется на зоны, число которых не ограничено.

**Узел mesh-сети ZigBee**

Что же должны представлять собой узлы mesh-сети ZigBee? Каким образом должен выглядеть процесс построения сети и добавления новых узлов? Как осуществить стыковку диспетчерского программного обеспечения с интерфейсами ООД? Ответы на эти вопросы должны давать производители модемов — устройств связи для

организации каналов передачи данных между ООД и диспетчерским ПО. Для успешного развертывания локальной беспроводной сети в системах учета или телемеханики, подобные устройства должны иметь:

- ▶ промышленное исполнение;
- ▶ поддержку режимов работы «маршрутизатор» и «координатор»;
- ▶ возможность организации доступа в mesh-сеть ZigBee через «координатор» напрямую с диспетчерского ПК, либо через Ethernet или GSM шлюз;

▶ стандартизированные интерфейсы подключения оконечного оборудования данных (ООД) и датчиков телесигнализации (ТС);

▶ коммуникационное серверное программное обеспечение для организации адресного доступа диспетчерского ПО к интерфейсам ООД и входам телесигнализации модема;

▶ программный комплекс для обеспечения процесса автоматизированного развертывания mesh-сетей ZigBee;

▶ комплект настроечных утилит для пуско-наладки и диагностики модема.

Рассмотрим подробнее технологию развертывания локальных беспроводных сетей на базе ZigBee модемов с учетом предъявляемых к ним требований.

**Промышленные ZigBee модемы**

Итак, что же должны представлять собой узлы mesh-сети ZigBee? Это модемы в промышленном исполнении, построенные на базе ZigBee модулей, оснащенные последовательным интерфейсом подключения ООД, а также дискретными входами для подключения датчиков телесигнализации (рис. 2).



Рис. 2. ZigBee Pro модем AnCom RZ/B. Крепление на DIN рейку. Диапазон температур: -40...+70°C

Построение сетей с топологией mesh предполагает использование модемов на базе полнофункциональных модулей ZigBee, поддерживающих режимы работы «координатор» и «маршрутизатор». Причем, для обеспечения максимально возможной дальности передачи сигнала и простоты развертывания сетей большого размера, необходимо использовать модули стандарта ZigBee Pro.

Наличие стандартных последовательных интерфейсов подключения к ООД, входов телесигнализации для подключения охранно-пожарных датчиков, а также встроенный в модем адаптер первичного питания с поддержкой широкого диапазона питающих напряжений – позволит адаптироваться к практически любой структуре распределенной сети, разнородному парку объектов промышленной автоматизации, управления, мониторинга и диспетчеризации.

Использование модемов в промышленных условиях выдвигает

требования по исполнению устройства: крепление на DIN-рейку, RP-SMA соединитель со штыревой частью разъема для подключения внешней антенны, работа в широком температурном диапазоне.

Наличие светодиодной индикации значительно облегчает процесс пуско-наладки оборудования, а также диагностику и устранение неисправностей в сети.

Для обеспечения уверенного приема необходима внешняя ZigBee-антенна с высоким коэффициентом усиления и малым затуханием в кабеле (рис. 3). Она должна обеспечивать работу в условиях влажного помещения, иметь антивандальное исполнение и прочное крепление.



Рис. 3. Внешний вид антенны ZigBee ANT 2496

Основные характеристики антенны ZigBee ANT 2496:

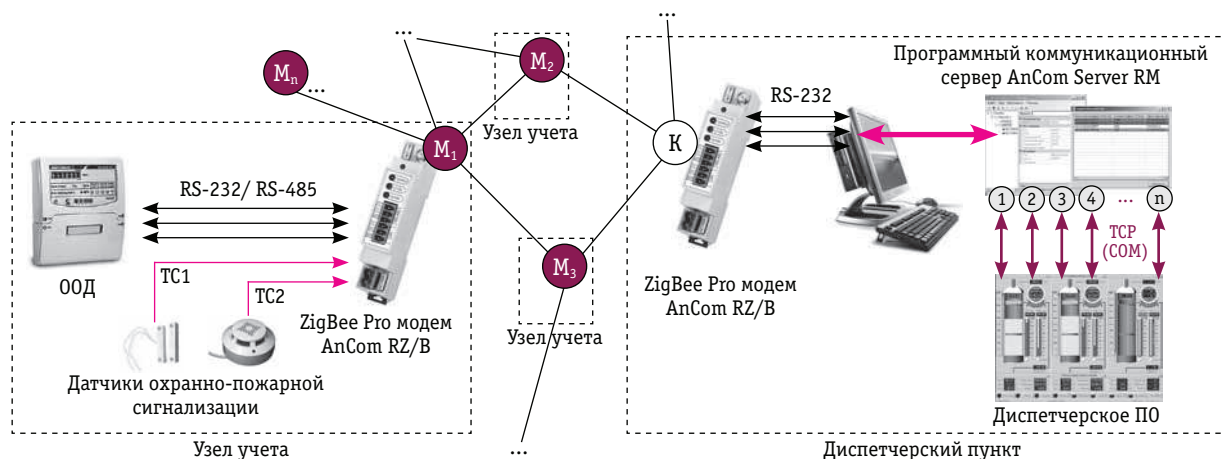
- ▶ диапазон частот 2400...2483 МГц;
- ▶ коэффициент усиления 2,0 дБи;
- ▶ длина кабеля 0,45 м;
- ▶ крепление на металлический шкаф учета, монтажный щит или кронштейн.

**Унификация интерфейсов**

В системах учета и диспетчеризации, как правило, необходимо обеспечить диспетчерскому программному обеспечению удаленный доступ к большому количеству объектов автоматизации: счетчи-

Табл. 2. Состав прозрачного канала обмена данными

Прозрачный канал обмена данными							
<p>ООД (RS-232 или RS-485)</p>	<p>«маршрутизатор»</p>	<p>ZigBee</p> <p>радиоэфир ZigBee (с учетом узлов-ретрансляторов)</p>	<p>«координатор»</p>	шлюз подключения «координатора» к управляющему ПК	<p>коммуникационное серверное ПО</p> <p>диспетчерское ПО, работающее по TCP- или COM-портам</p>		
			напрямую к ПК через COM-порт			к локальной сети предприятия через Ethernet роутер	
			выход из ZigBee в GSM-сеть – доступ к ПК через Internet				
узел учета			диспетчерский пункт				



▲ Рис. 4. Узел учета («маршрутизатор», оконечное оборудование данных и датчики телесигнализации) и диспетчерский пункт («координатор», коммуникационное серверное и диспетчерское ПО) на базе решений AnCom

кам, датчикам, контроллерам, регуляторам и т. п. То есть, по сути, организовать множество прозрачных каналов обмена данными «ООД – диспетчерское ПО».

Такой канал представляет собой совокупность определенных элементов: «маршрутизатор» на стороне ООД, «координатор», шлюз доступа в сеть ZigBee с диспетчерского ПК, а также программный коммуникационный сервер (табл. 2).

Коммуникационное серверное программное обеспечение является обязательным связующим звеном между ZigBee модемами и диспетчерским ПО. Наличие у производителя модемов оригинального серверного ПО значительно упрощает процесс развертывания локальных беспроводных ZigBee сетей, позволяя не затрачивать время и ресурсы на создание собственного инструментария обмена данными с узлами сети.

Подобная организация обмена данными между ООД и диспетчерским ПО предопределяет необходимость:

- ▶ Унификации интерфейсов на передающей и приемной стороне канала (рис. 4):
  - на стороне узла учета – унификация интерфейсов подключения модемов к ООД: чаще всего речь идет о поддержке модемом самых распространенных типов промышленных интерфейсов – RS-232 и RS-485;
  - на стороне диспетчерского пункта – унификация под-

ключений коммуникационного серверного ПО к диспетчерским программным приложениям: стыковка по TCP- или COM-портам.

▶ Организации доступа в сеть ZigBee с диспетчерского ПК:

- соединение с «координатором» напрямую через COM-порт (RS-232);
- либо доступ к «координатору» через локальную сеть предприятия по технологии Ethernet;
- либо доступ к «координатору», подключенному к GPRS/EDGE модему, по сети Internet.

**Варианты доступа в mesh-сеть ZigBee**

Доступ в mesh-сеть осуществляется через узел – «координатор», и при реализации автоматизированного рабочего места в зоне покрытия ZigBee сети, «координатор» подключается непосредственно к ПК на диспетчерском пункте.

Однако, при наличии нескольких mesh-сетей на ограниченной площади (например, в пределах завода или предприятия), «координаторы» каждой из них могут быть подключены к локальной сети предприятия для организации доступа в каждую из сетей из единого диспетчерского пункта (рис. 6).

Объединение разрозненных mesh-сетей для управления и мониторинга географически распределенных систем учета из единого диспетчерского пункта по сети Internet, осуществляется

с использованием каналов передачи данных сотовых сетей связи. Адресный доступ к модемам mesh-сетей ZigBee по GSM каналу осуществляется с помощью ZigBee/GSM шлюзов, реализованных, например, в виде соединен-



Рис. 5. ZigBee/GSM шлюз. ZigBee «координатор» AnCom RZ/B + GSM модем AnCom RM/S

ных между собой «координатора» и GPRS/EDGE модема (рис. 5). В этом случае, к GSM модемам предъявляются повышенные требования по организации надежного и безопасного канала связи с диспетчерским пунктом [3].

Также необходимо обратить внимание на наличие поддержки коммуникационным серверным ПО одновременной работы с несколькими mesh-сетями, причем с возможностью организации различных вариантов доступа к «координаторам»: как напрямую через COM-порт диспетчерского ПК, так и путем шлюзования через

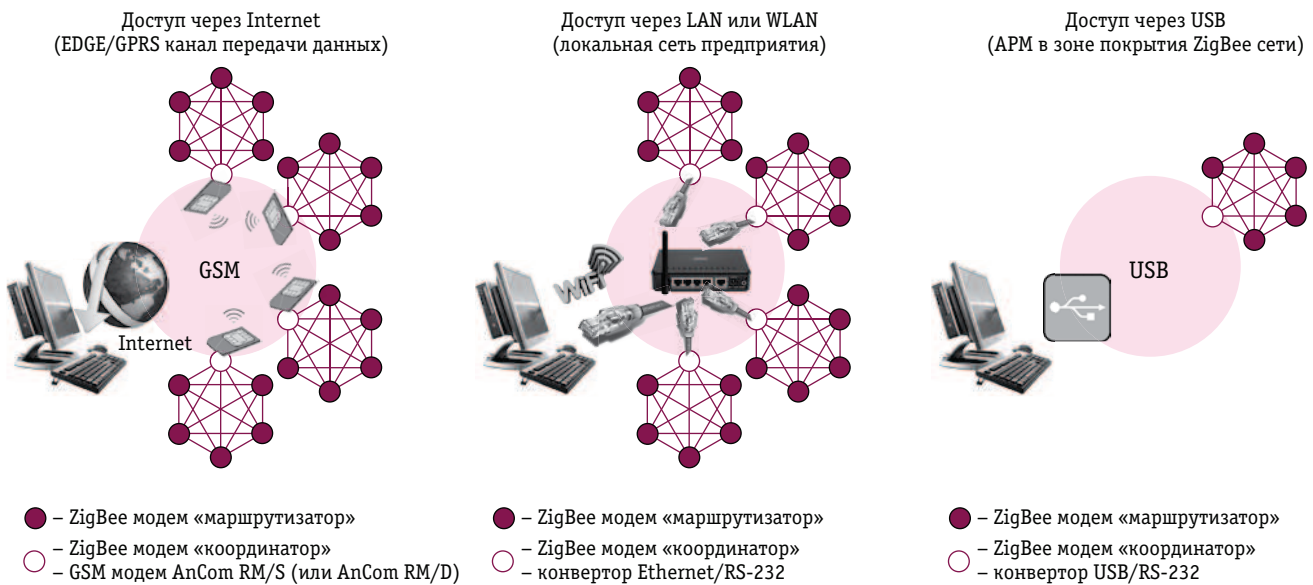


Рис. 6. Варианты доступа в mesh-сеть на основе ZigBee модемов AnCom RZ/B

Ethernet, либо сотовые сети связи – с помощью GSM модемов.

**Программная поддержка процесса развертывания ZigBee сетей**

Основной причиной невысокой распространенности ZigBee решений на рынке промышленной автоматизации, на наш взгляд, является отсутствие поддержки процесса развертывания сетей. Самими радиомодули есть и продаются, но программная поддержка построения распределенных систем автоматизации и диспетчеризации на их основе в большинстве случаев отсутствует.

Тем не менее, технология развертывания сети и добавление новых узлов должна быть пред-

ставлена непосредственно производителями модемов – в виде программно-аппаратного комплексного решения «ZigBee модемы + программный коммуникационный сервер + технологические утилиты для тестирования и настройки» (рис. 7).

Задачей программного коммуникационного сервера является в общем случае:

- ▶ создание канала связи с «координатором» напрямую или через шлюзы (например, GSM или Ethernet);
- ▶ разрешение или запрет на добавление новых узлов в сеть (для предотвращения несанкционированного ввода в сеть новых устройств);

▶ сканирование ZigBee устройств в зоне покрытия;

▶ привязка конкретного модема, оснащенного уникальным идентификатором, к определенному узлу системы (модем ID№XXXXX = дом № 5, этаж 3);

▶ занесение обнаруженных в процессе сканирования модемов в конфигурацию программного коммуникационного сервера;

▶ поддержка диспетчерского программного обеспечения, работающего по TCP- или COM-портам;

▶ настройка адресного доступа диспетчерского ПО к интерфейсам подключенного к модемам ООД и охранно-пожарных датчиков; в отличие от широковещательного, адресный доступ позволяет бес-

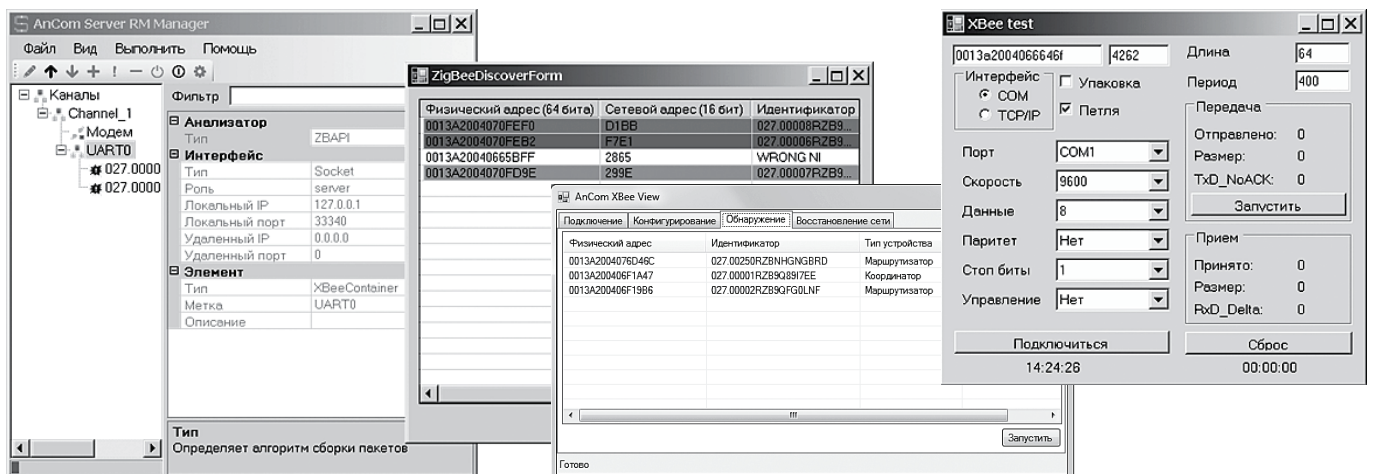


Рис. 7. Программный коммуникационный сервер и набор технологических утилит AnCom. Полный автоматизированный цикл развертывания mesh-сетей ZigBee и организация прямого адресного доступа ко всем узлам сети (модемам AnCom RZ/B)

печать оперативный обмен данными с ООД при минимизации времени доставки данных и нагрузки на сеть;

- вывод информации о состоянии подключений (контроль соединения на TCP-портах).

Для работы в системах, использующих протокол Modbus, коммуникационным сервером должна быть предусмотрена возможность конвертации Modbus TCP – Modbus RTU. Доступ к входам телесигнализации модемов также должен быть организован по протоколу Modbus.

Система журналирования событий должна регистрировать и сохранять: поток передаваемых данных, тип, дату и время возникновения событий, локализацию событий (адрес и порт) – с возможностью просмотра в режиме реального времени потока событий и передаваемых данных, либо сохраненного файла журнала.

Процесс пуско-наладки модемов непосредственно на местах установки также должен сопровождаться программной поддержкой – технологическими утилитами для:

- изменения идентификатора персональной сети (PAN ID) для ввода модема в локальную ZigBee сеть;

- чтения сетевых параметров модема:

- канал, используемый для обмена данными между узлами сети;
- 64-битный идентификатор персональной сети, используемый при присоединении устройств к сети;
- назначаемый «координатором» 16-битный идентификатор персональной сети, используемый при обмене данными между узлами сети;

- чтения технологических параметров модема;

- сохранения и восстановления сетевых параметров модема;

- сканирования соседних узлов сети в пределах видимости: физические и сетевые адреса, идентификаторы модемов;

- анализа целостности передаваемых данных между узлом сети и диспетчерским пунктом в дуплексном и полудуплексном режимах.

### Порядок развертывания mesh-сети ZigBee

Рассмотрим последовательность развертывания локальной беспроводной сети учета энергоресурсов на базе ZigBee модемов AnCom RZ/B, коммуникационного серверного ПО AnCom Server RM и набора технологических утилит AnCom для сопровождения процесса пуско-наладки модемов на узлах учета.

Отгружаемые предприятием изготовителем «маршрутизаторы» и «координатор» для формирования персональной радиосети поставляются полностью настроенными. Таким образом, процесс пуско-наладки системы удаленного учета сводится к выполнению выездными монтажными бригадами (■) и администратором диспетчерского пункта (▼) следующих действий.

1. Организация доступа в сеть ZigBee с диспетчерского ПК:

- Организация доступа к «координатору» AnCom RZ/B (с установленной внешней антенной ZigBee ANT K2496) с диспетчерского ПК. Варианты подключений:

- подключение «координатора» к ПК напрямую через COM-порт;
- подключение «координатора» к роутеру местной локальной сети через адаптер RS-232/Ethernet;
- подключение «координатора» к GPRS/EDGE модему AnCom RM/S для организации доступа по сети Internet.

- ▼ Настройка доступа коммуникационного серверного ПО AnCom Server RM к «координатору». При организации доступа в сеть через ZigBee/GSM шлюз – настройка подключения публичного статического IP адреса на диспетчерском пункте.

2. Последовательная установка «маршрутизаторов» AnCom RZ/B: начиная с ближайших к «координатору» узлов учета и заканчивая самыми отдаленными. Для каждого узла учета выполняется:

- подключение выездными монтажными бригадами «маршрутизатора» AnCom RZ/B к ООД и охранно-пожарным датчикам сигнализации, подключение внеш-

ней ZigBee антенны ANT K2496, подача питающих напряжений;

- для поверхностного визуального контроля работы модема в сети используется светодиодная индикация: режима работы, уровня сигнала, обмена данными;

- ▼ автоматизированный ввод каждого нового узла сети в состав программного коммуникационного сервера AnCom Server RM:

- настройка адресного доступа диспетчерского ПО к аппаратному интерфейсу ООД и датчикам сигнализации на узле учета;
- установление соответствия между идентификатором модема и наименованием узла учета в системе (модем ID № XXXXX = дом № 5, этаж 3);

- проверка целостности приема и передачи данных модемом с помощью технологических утилит из комплекта поставки – для формирования протокола сдачи монтажной бригадой выполненных пуско-наладочных работ по каждому узлу учета.

3. Настройка диспетчерского программного обеспечения:

- ▼ ввод параметров подключения к коммуникационному серверному ПО AnCom Server RM;

- ▼ специфические настройки в соответствии с особенностями используемого диспетчерского ПО и развертываемой системы учета.

### Заключение

ZigBee – перспективный энергосберегающий стандарт локальных беспроводных радиосетей, работающих в нелицензируемом частотном диапазоне. Передача данных с помощью ZigBee Pro модемов, на характерных для систем учета, диспетчеризации и телемеханики скоростях, осуществляется на расстояния до 4 километров в зоне прямой видимости.

Для успешного развертывания самоорганизующихся и самовосстанавливающихся ячеистых (mesh) структур покрытия больших площадей с автоматической ретрансляцией передаваемых данных для систем учета или телемеханики, необходимо применять ZigBee Pro модемы, способные работать

в режимах «маршрутизатор» и «координатор». Промышленное исполнение модемов должно обеспечивать поддержку разнородного парка объектов за счет применения стандартизированных интерфейсов подключения ООД и датчиков телесигнализации.

Полный автоматизированный цикл развертывания mesh-сетей ZigBee и организация прямого адресного доступа диспетчерского ПО ко всем узлам сети должна поддерживаться программным коммуни-

кационным сервером, а также комплектом пуско-наладочных утилит.

В случае невозможности организации автоматизированного рабочего места диспетчера в зоне покрытия ZigBee сети, а также при объединении разрозненных mesh-сетей для осуществления управления и мониторинга географически распределенных систем из единого диспетчерского пункта, необходимо предусмотреть возможность шлюзования через Ethernet, либо сотовые сети связи с помощью GSM модемов.

#### Литература

1. Дианов И., Пронин Д., Яманов А. M2M коммуникации без проводов. GSM и ZigBee решения AnCom//Коммерческий учет энергоносителей: Материалы XXXI научно-практической конференции. – СПб., 2011.

2. Агафонов Н. Технологии беспроводной передачи данных ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi//«Беспроводные технологии». – 2006.

3. Дианов И., Яманов А. Комплексные решения по GPRS-связи в системах промышленной автоматизации и диспетчеризации//«Беспроводные технологии». – 2010.

А. Д. Яманов, к.т.н., менеджер по продукции;  
Д. А. Алевский, инженер-схемотехник;  
А. Е. Плеханов, инженер-программист;  
ООО «Аналитик-ТС», г. Москва,  
тел.: (495) 775-6011,  
e-mail: info@analytic.ru  
www.analytic.ru