

# Технология ZigBee:

## боевое крещение в российских условиях

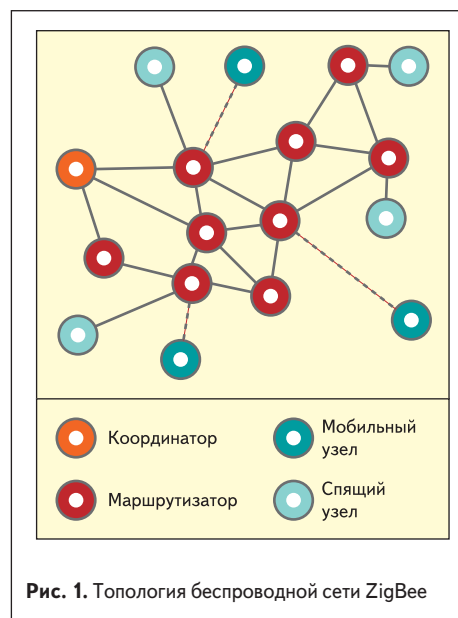
Учет энергетических ресурсов (электричества, газа, воды, тепла), поставляемых промышленным предприятиям и частным потребителям, является стратегически важной задачей, от решения которой напрямую зависит экономика каждой страны [1]. Российская компания «ТБН Энергосервис» уже более 10 лет занимается вопросами энергоучета, исследует проблемы этого направления, активно участвует в энергосберегающих программах. Значительные финансовые средства компании вложены в поиск новых современных технических решений, разработку более совершенных и технологичных средств измерения, учета и контроля различных сред. Сегодня инженеры компании «ТБН Энергосервис» испытывают первую в стране беспроводную систему сбора данных показаний теплосчетчиков, построенную на ZigBee-модемах ETRX2 компании Telegesis.

Татьяна Кривченко, к. т. н.  
tkr@efo.ru  
Вадим Ловяго  
lovvago@tbnergo.com

### Информационная система «ГИС ТБН Энерго»

В настоящее время на рынке предлагается множество систем автоматизированного учета энергоресурсов.

Информационная система «ГИС ТБН Энерго» отличается комплексным подходом. Она объединяет в себе подсистему автоматизированного коммерческого учета (АСКУЭ), подсистему диспетчерского управления (SCADA), ответственную за контроль состояния оборудования и выявление аварийных ситуаций, подсистему хранения, обработки и отображения географически координированных данных (ГИС), а также аналитическую подсистему (АС), обеспечивающую паспортизацию объектов городского хозяйства [3].



Информационная система «ГИС ТБН Энерго» с самого начала предусматривала возможность наращивания и имела в своем составе подсистему масштаба района, округа и города.

В настоящее время в эксплуатацию уже введено около пятидесяти таких систем масштаба района. Была успешно реализована программа московского правительства «Счетчик воды — в каждый дом».

Первоначально в качестве источника первичной информации система «ГИС ТБН Энерго» использовала показания домашних счетчиков горячей и холодной воды. Затем стали вводиться проводные системы поквартирного учета.

Одной из важных задач, которую инженеры «ТБН Энергосервис» решают сегодня, является переход к беспроводным системам поквартирного учета, использующим технологию ZigBee.

### Беспроводная технология ZigBee

Для того чтобы упростить процесс установки системы в жилом здании, было принято решение использовать беспроводную связь. Применение технологии ZigBee позволило построить недорогую и надежную систему с малым энергопотреблением.

Ячеистая структура сети ZigBee показана на рис. 1. Она включает три типа узлов: координатор, маршрутизаторы и конечные узлы (спящие и мобильные). Уникальной функцией координатора является задача образования сети, которая заключается в сканировании эфира и выборе наименее загруженного частотного канала. Маршрутизаторы в простейшем случае должны иметь стационарное питание и стационарное положение в пространстве. Они ретранслируют пакеты данных от дру-

гих узлов и сами могут быть источниками информации.

Конечные узлы не ретранслируют сообщений и поэтому могут переходить в режимы пониженного энергопотребления, что дает им возможность функционировать от батарей до нескольких лет. Конечные узлы общаются со всей сетью через свой «родительский» маршрутизатор. Выбор «родителя» осуществляется автоматически во время образования сети. Если впоследствии «родительский» узел по каким-либо причинам перестанет функционировать, «дочерний» конечный узел найдет себе другой «родительский» маршрутизатор.

Для передачи сообщения сеть автоматически находит наиболее короткий маршрут с удовлетворительным качеством связи в обоих направлениях. Если с течением времени какой-либо из маршрутизаторов выходит из строя, то сеть автоматически осуществляет поиск нового оптимального маршрута.

Важной особенностью технологии ZigBee для систем коммерческого учета является возможность защиты передаваемых данных. Шифрование данных осуществляется при помощи алгоритма AES-128 с симметричным ключом, как во время передачи данных в сети, так и во время ее образования. Предварительное занесение ключей шифрования во все узлы позволяет, с одной стороны, не допустить в сеть посторонние устройства и подменить передаваемые данные, а с другой стороны — делает невозможной расшифровку информации, полученной путем прослушивания эфира.

Способность находить оптимальный маршрут и функционировать при выходе из строя отдельных узлов, малое энергопотребление, возможность защиты информации — важнейшие достоинства ZigBee-сети, позволяющие построить недорогую и надежную систему сбора данных с конечными устройствами, питающимися от батарей.

## ZigBee-модемы ETRX2 компании Telegesis

В качестве элементной базы для реализации беспроводной системы поквартирного учета были выбраны недорогие модемы ETRX2 [4, 5] компании Telegesis (рис. 2).

Компания Telegesis специализируется на разработке устройств для сетей ZigBee. Инженеры Telegesis первыми разработали для своего радиомодуля систему AT-команд, предложив



Рис. 2. ZigBee-модем ETRX2

тем самым взглянуть на него как на ZigBee-модем. Сегодня встроенное программное обеспечение модемов ETRX2, с одной стороны, является тщательно продуманным и мощным программным продуктом, а с другой — обеспечивает для пользователя максимальную простоту и удобство при реализации прикладной программы.

Встроенное программное обеспечение модулей ETRX2 обеспечивает реализацию протоколов канального и сетевого уровней, поддерживает выполнение основных функций меш-сети, таких как ретрансляция данных, самообразование и самовосстановление беспроводной сети, поиск оптимального маршрута.

Одним из преимуществ модемов ETRX2 является то, что в одном конструктиве компания Telegesis предлагает два варианта исполнения: бюджетный базовый вариант ETRX2 и модем ETRX2-PA с дополнительным усилителем мощности 100 мВт. Это позволяет оптимизировать беспроводную систему по цене. Модемы без усилителя на открытом пространстве имеют радиус действия до 300 м, а в жилом здании дают возможность передать сообщение из квартиры с металлической дверью на лестничную площадку. Модемы ETRX2-PA на открытом пространстве позволяют передавать данные на расстояния до 800 м, а в здании в зависимости от типа перекрытий их дальность действия составляет 3—5 этажей.

Конфигурирование работы модемов осуществляется при помощи программирования их внутренних регистров. Все модемы одинаковы, и каждому из них можно задать роль координатора, маршрутизатора или конечного узла. Система AT-команд модемов ETRX2 вводит такое дополнительное понятие, как центральный узел сбора данных в сети — Sink. Центральный узел сети назначается путем программирования соответствующего конфигурационного регистра. Таким узлом может стать координатор или любой из маршрутизаторов.

Важным достоинством модемов ETRX2 является наличие спящего режима с малым током потребления 1 мкА, при котором продолжает работать таймер, предназначенный для того, чтобы в заданное время вернуть модем из энергосберегающего режима в рабочий. Это дает возможность ZigBee-устройству работать без смены батарей несколько лет.

Для адресации устройств в сети используется уникальный 64-битный идентификатор, который заносится в энергонезависимую память модемов ETRX2 на этапе производства. Наличие встроенного и проверенного производителем программного обеспечения, реализующего все основные операции в сети ZigBee, значительно сокращает время разработки системы и устраняет необходимость приобретать дорогостоящие отладочные средства.

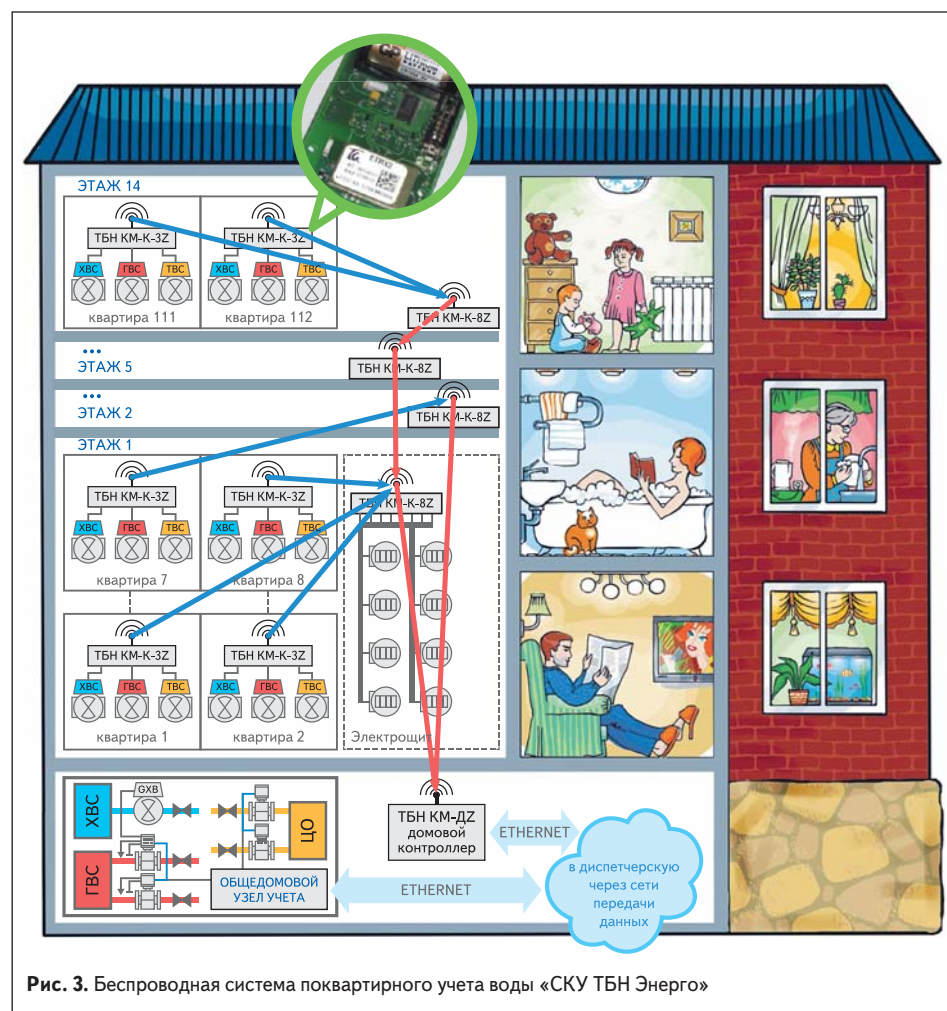


Рис. 3. Беспроводная система поквартирного учета воды «СКУ ТБН Энерго»

Система АТ-команд поддерживает богатый набор функций, таких как образование и присоединение к беспроводной сети, мониторинг сети, передача и прием сообщений по радиоканалу, ввод/вывод цифровой информации, ввод аналоговых сигналов, работа с таймерами и последовательным интерфейсом. При этом такие сетевые задачи, как ретрансляция сообщений и выбор оптимального маршрута, поддерживаются модемами ETRX2 автоматически.

Таким образом, используя модемы ETRX2, разработчик может сосредоточиться на решении задач своего приложения, а сеть ZigBee рассматривать как интерфейс для передачи данных, не требующий для своей организации больших усилий.

### Состав системы поквартирного учета водоснабжения жилого здания «СКУ ТБН Энерго»

Состав системы поквартирного домового учета «СКУ ТБН Энерго» и схема размещения основных узлов системы в жилом здании показаны на рис. 3.

В соответствии с этой схемой квартиры оснащаются счетчиками-регистраторами КМ-К-3Z «ТБН Энергосервис» (рис. 4), которые имеют входы для подключения трех счетчиков воды: холодной, горячей и технической. Контроллер КМ-К-3Z содержит управляющий микроконтроллер MSP430F2232 и модем ETRX2, заранее сконфигурированный на работу в качестве конечного спящего узла беспроводной сети.

На лестничной площадке каждого этажа в электрошкафу размещаются этажные контроллеры КМ-К-8Z (рис. 5), которые имеют сетевое питание и выполняют функцию маршрутизаторов сети. Кроме того, контроллеры КМ-К-8Z имеют 8 собственных счетных каналов для проводного подключения электросчетчиков с импульсным выходом. Этажные контроллеры используют микроконтроллеры MSP430F149 и модемы ETRX2-PA с дополнительным усилителем мощности, что дает возможность, как упоминалось ранее, передавать данные на расстояние в 3–5 этажей.



Рис. 4. Квартирный счетчик-регистратор КМ-К-3Z

Установка маршрутизаторов на каждом этаже позволяет иметь несколько возможных путей для передачи сообщений. При этом сеть самостоятельно выбирает путь с наименьшим количеством ретрансляций. Например, если в здании прохождение радиосигнала на всех этажах одинаково и обеспечивает дальность связи четыре этажа, то для 14-го этажа маршрут может быть таким: 14 этаж–10 этаж–6 этаж–2 этаж–подвал. При этом, если, например, на 10-м этаже маршрутизатор по каким-то причинам не будет функционировать, ячеистая сеть автоматически инициирует поиск нового маршрута. Новый путь для передачи сообщения теперь может быть, например, таким: 14–11–7–3–подвал. Если поиск нового маршрута завершится успешно, то микроконтроллер узла-передатчика получит уведомление об успешности доставленного сообщения.

Домовой контроллер КМ-ДЗ «ТБН Энергосервис» (рис. 6) располагается в подвальном помещении здания или на чердаке. Его встроенный модем ETRX2-PA заранее программируется на работу в качестве центрального узла сбора данных Sink. К нему стекается вся информация от маршрутизаторов.

Связь домового контроллера КМ-ДЗ с диспетчерской осуществляется при помощи сети Ethernet. Кроме того, домовый контроллер содержит интерфейс USB, с помощью которого информация из его буфера может быть переписана на обычный флэш-накопитель USB.

Домовой контроллер не имеет индикации. Для того чтобы можно было на месте определить состояние беспроводной сети, используется съемная операторская панель КМ, которая имеет четырехстроч-

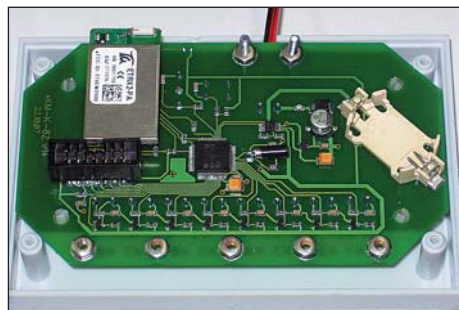


Рис. 5. Этажный контроллер КМ-К-8Z

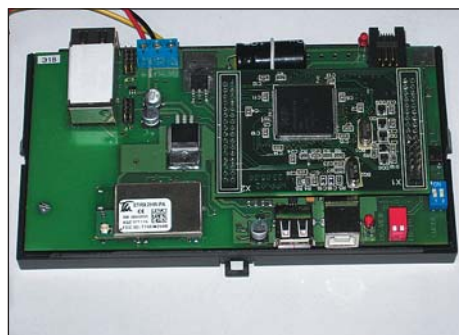


Рис. 6. Домовой контроллер КМ-ДЗ

ный символьный индикатор и небольшую клавиатуру.

Система меню операторской панели позволяет путем доступа к оперативной памяти контроллера КМ-ДЗ отображать перечень устройств в беспроводной сети, контролировать наличие связи с ними и отображать информацию о состоянии любого прибора в системе.

### Установка системы на объекте и алгоритм ее работы

Важнейшим достоинством описанной системы является простота ее установки на объекте. Счетчики-регистраторы КМ-К-3Z, выполняющие функцию конечных узлов, устанавливаются в квартирах одновременно со счетчиками воды (рис. 7). При этом не требуется прокладка никаких дополнительных кабелей для питания контроллеров и передачи данных. Единственное, что необходимо выполнить на этом этапе, — нанести на план здания места установки контроллеров и зафиксировать их идентификаторы. Этажные маршрутизаторы КМ-К-8Z устанавливаются (рис. 8) на лестничных площадках в электрошкафах, где имеется сетевое питание 220 В. Сразу после установки конечные узлы и маршрутизаторы начинают работать. Они сканируют эфир и пытаются подключиться к беспроводной сети. При включении центрального узла сбора данных к нему сначала присоединяются маршрутизаторы, а затем к маршрутизаторам — конечные устройства. При этом к сети могут подключиться только устройства, в которые заранее занесен системный ключ шифрования данных.

«Дочерние» устройства КМ-К-3Z выбирают «родительский» узел случайным образом. Это может быть маршрутизатор, расположенный на одном этаже с конечным контроллером, или маршрутизатор с верхнего либо нижнего этажа. Вся информация в любом случае попадает на домовый контроллер КМ-ДЗ (рис. 9). В сообщении, поступающем от конечного узла, содержится его идентификатор, по которому домовый контроллер осуществляет привязку показаний к номеру квартиры.

Система поквартирного учета «СКУ ТБН Энерго» является трехуровневой системой с распределенным интеллектом, в которой



Рис. 7. Установка квартирного контроллера КМ-К-3Z



Рис. 8. Установка этажного контроллера КМ-К-8Z

на каждом уровне выполняется своя задача по обработке данных.

Так, первичные счетчики-регистраторы КМ-К-3Z имеют буфер, в котором постоянно содержится нарастающий итог объема потребленной воды с момента последней поверки счетчиков. Счетчики-регистраторы КМ-К-3Z выполняют также тарификацию потребленной воды, контроль качества связи со счетчиками воды, состояние их крышек (открыты или закрыты), контроль собственной батареи питания и других возможных ошибочных состояний. С целью экономии батарей, работа которых рассчитана на 4 года, счетчики-регистраторы КМ-К-3Z выходят на связь со своими «родительскими» маршрутизаторами один раз в час.

Во время сеанса связи они передают накопленные данные о потребленной воде и статусную информацию своему маршрутизатору, который, в свою очередь, сохраняет эти данные в буфере. Кроме того, в этот момент маршрутизатор синхронизирует часы конечных узлов и передает им сообщения от домового контроллера об изменении конфигурационных параметров, если такие имеются к данному моменту.



Рис. 9. Домовой контроллер КМ-ДZ с подключенной операторской панелью

Маршрутизаторы передают информацию выше по запросу центрального узла сбора данных КМ-ДZ. Кроме собственно информации, полученной от квартирных счетчиков-регистраторов, они еще сообщают перечень своих «дочерних» конечных узлов и передают данные о состоянии и результатах накопления своих локальных счетных каналов.

Домовой контроллер КМ-ДZ системы поквартирного учета через сети передачи данных транслирует информацию в центральную диспетчерскую, куда также поступают данные от общедомового узла учета — независимой системы учета потребления воды в доме, использующей домовые счетчики горячей и холодной воды. Это дает возможность информационной системе «ГИС ТБН Энерго» выполнять подсчет баланса потребления воды в доме, обнаруживать утечки и неисправности в работе оборудования.

Поскольку квартирные счетчики-регистраторы постоянно хранят итоговое значение потребленной воды с момента последней поверки счетчиков, то потери информации не произойдет, даже если в какой-то момент времени нарушится связь квартирного счетчика-регистратора и всей системы. Узел будет продолжать подсчитывать количество потребленной воды и выполнять тарификацию. Информационная система сообщит диспетчеру об отсутствии данных от счетчика. После того, как причина неисправности будет выявлена и устранена, квартирный счетчик-регистратор

передаст в систему все данные, накопленные к текущему моменту времени.

Таким образом, компании «ТБН Энергосервис» удалось реализовать технологичную, мобильную и в то же время надежную систему сбора данных, рассчитанную на 500 узлов.

Полнота и функциональность системы АТ-команд модемов ETRX2 компании Telegesis позволили не только осуществлять операции по образованию сети и передаче данных, но и выполнять мониторинг сети и определять качество поступающих радиосигналов. Использование модемов ETRX2 в серийном производстве показало их высокое качество, обусловленное 100%-ным выходным контролем у производителя.

Введение системы поквартирного учета потребления воды привлекательно для всех участников проекта.

Потребители получают возможность перейти к оплате горячей и холодной воды в соответствии с фактическим использованием, появляется возможность взимать с поставщиков штрафы за некачественные услуги. Поставщики, в свою очередь, получают экономический эффект за счет уменьшения количества неплательщиков. Становится возможным оперативно выявлять неисправности оборудования [1]. У населения появляется стимул к разумному расходованию воды, что имеет важное экологическое значение [2].

## Литература

1. Теплышев В. Ю., Голов Р. С., Митерева С. М. Финансовые модели ЭСКО // Вопросы экономики переходного периода. 2007. № 5.
2. Теплышев В. Ю., Голов Р. С., Митерева С. М. Энергосервисные компании: энергосбережение как важнейший аспект экологии // Вопросы экономики переходного периода. 2007. № 4.
3. Шинелев А. А., Бурдуниин М. Н. Автоматизированная информационно-аналитическая система коммерческого учета энергоресурсов «ГИС ТБН Энерго». Функции поквартирного учета // Московские торги. 2006. № 11.
4. Кривченко Т. И. ZigBee-модемы ETRX2 компании Telegesis: что нового? // Беспроводные технологии. 2007. № 2.
5. Кривченко Т. И. ZigBee-модемы ETRX компании Telegesis // Беспроводные технологии. 2006. № 2.