

# Радиомодемы компании One RF Technology

для диапазонов 434/868 МГц:  
основные режимы работы

Алексей Аникин  
aap@efo.ru

**Во всем мире большой популярностью пользуется так называемый ISM – диапазон радиочастот, включающий два поддиапазона 434 и 868 МГц. Решение ГКРЧ от 07.05.2007 (протокол № 07-20) позволяет свободное использование данных радиочастотных диапазонов при условии, что выходная мощность конечного устройства не будет превышать 10 мВт. Радиоволны частотных диапазонов 434/868 МГц гораздо меньше поглощаются средой, чем радиоволны диапазона 2,4 ГГц. Соответственно, дальность уверенной связи в первом случае значительно выше, чем во втором, и может достигать нескольких километров [1].**

Разработчик некоторой сложной радиосистемы сбора данных по ряду причин не всегда имеет возможность изготавливать свой приемопередатчик, разрабатывать для него протокол обмена данными и писать соответствующее программное обеспечение. В этих случаях имеет смысл воспользоваться готовым решением в виде радиомодема или радиомодуля, отвечающего выдвигаемым техническим требованиям. Определимся с терминологией. Радиомодулем в рамках данной статьи будем считать приемопередающее радиотехническое устройство, предназначенное для монтажа внутрь другого более сложного устройства. Радиомодемом (или

просто модемом) будем называть полностью готовое к самостоятельному использованию приемопередающее радиотехническое устройство, снабженное собственным корпусом, разъемом для подключения антенны и соответствующим проводным интерфейсом для обмена данными с внешними устройствами.

Хорошей альтернативой проводам и GSM-связи являются радиомодемы для частотных диапазонов 434/868 МГц. В рамках данной статьи остановимся на рассмотрении радиомодемов, выпускаемых французской фирмой One RF Technology. Эти радиомодемы делятся на четыре семейства: Integra One (434 МГц), Power One (868 МГц), Tiny One Plus (868 МГц) и Tiny One Pro (868 МГц) [2]. Они обладают широким спектром функций и множеством настроек, позволяющих адаптировать эти устройства к различным задачам. Следует сразу же отметить, что семейство Power One не удовлетворяет требованиям российской ГКРЧ, его рабочая полоса лежит за пределами разрешенного в России частотного диапазона, а мощность излучения значительно превышает официально допускаемую российской ГКРЧ.

Все семейства радиомодемов фирмы One RF Technology отличаются друг от друга такими параметрами, как рабочая полоса частот, максимально достижимая мощность передатчика, скорость обмена данными, максимальное количество частотных каналов и т. д. Конкретные значения всех перечисленных параметров могут задаваться пользователем в процессе конфигурирования радиомодема.

Для конфигурирования радиомодема достаточно подключить его к персональному компьютеру, подвести питание (6–40 В) через специально предусмотренный разъем и запустить программу Hyper Terminal. Иногда удобнее воспользоваться одной из многочисленных конфигурационных программ, бесплатно предоставляемых фирмой One RF Technology. Конфигурирование ведется с помощью переписки в модем AT-команд [2].

Любая AT-команда записывается в следующем формате:

AT	Команда	Дополнительные данные	<CR>
----	---------	-----------------------	------

Все AT-команды должны вводиться не поименовательно, а единичными строками (при этом удобно использовать, например, команды Copy и Paste буфера обмена в Windows). В радиомодемах фирмы One RF Technology всех семейств доступны AT-команды [2], представленные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. AT-команды

AT-команда	Назначение
+++	Активирование режима конфигурирования модема
ATO	Выход из режима конфигурирования и возврат в режим обмена данными
AT/V	Получить номер версии встроенного ПО
AT/S	Вывести значения всех конфигурационных регистров
ATSn?	Вывести значение конфигурационного регистра номер n
ATSn=m	Записать значение m в регистр номер n
ATR	Установить значения всех регистров по умолчанию
ATNx, y	Сканировать каналы с номера x по номер y и отображать их трафик
ATT0	Излучение только несущей частоты (для тестовых целей)
ATT1	Излучение несущей частоты, модулированной по закону F2
ATT2	Излучение несущей частоты, модулированной по закону F3
ATT3	Излучение несущей частоты, модулированной по закону F4
ATT4	Излучение несущей частоты, модулированной по закону F5

Название	Назначение
S20x	Регистры, относящиеся к параметрам радиоканала: <ul style="list-style-type: none"> <li>• задают номера радиоканала;</li> <li>• устанавливают скорость;</li> <li>• устанавливают выходную мощность;</li> <li>• задают длительность синхро-посылки в мс (для синхронизации с модулем на приемной стороне);</li> <li>• задают номер резервного канала для режима ретрансляции;</li> <li>• назначают временный (Temporagy) канал (так как EEPROM имеет ограничения по количеству записей)</li> </ul>
S21x	Регистры, относящиеся к параметрам последовательного канала: <ul style="list-style-type: none"> <li>• задают скорость последовательного канала;</li> <li>• задают количество бит (8 бит по умолчанию);</li> <li>• задают бит паритета (по умолчанию нет);</li> <li>• задают количество стоповых битов (по умолчанию 1);</li> <li>• задают время time-out (1–100 мс);</li> <li>• задают контроль потока данных (по умолчанию нет);</li> <li>• задают размер буфера</li> </ul>
S22x	Регистры, относящиеся к основным режимам работы модема: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1: прозрачный режим (по умолчанию),</li> <li>• 3: безопасный прозрачный режим,</li> <li>• 4: сервер сети,</li> <li>• 5: клиент сети,</li> <li>• 6: сервер в режиме телеметрии,</li> <li>• 7: клиент в режиме телеметрии,</li> <li>• 8: ретранслятор,</li> <li>• 9: безопасный адресный режим,</li> <li>• 10: master в демо-режиме,</li> <li>• 11: slave в демо-режиме</li> </ul>
S25x	Регистры, относящиеся к сетевым параметрам: <ul style="list-style-type: none"> <li>• определяют номер сети (для сетевого и адресного гарантированного режимов);</li> <li>• определяют число клиентов в сети от 0 до 32 (для сетевого режима, когда модуль есть сервер);</li> <li>• Network Configuration — конфигурация сети: при передаче пакет содержит ASCII-символы или Numeric, содержит ли принятый пакет &lt;CR&gt; или нет, нужно ли подтверждение отправки информации (OK) и т. д.;</li> <li>• Default Addressee — если значение регистра отлично от 0, то данные, принятые из последовательного канала, автоматически посылаются по заданному в регистре адресу (используется в адресном гарантированном режиме)</li> </ul>
S26x - S28x	Регистры, относящиеся к параметрам портов ввода/вывода: <p><b>S26x:</b> конфигурируют статус порта (логического входа/выхода, аналогового входа или какое-то специальное назначение).</p> <p><b>S270:</b> 1-байтовый регистр, содержащий состояние каждого порта ввода/вывода (по 1 биту).</p> <p><b>S280:</b> 2-байтовый регистр, содержащий состояние каждого аналогового входа в 10 битах. Значения должны лежать в диапазоне от 0 до 1023.</p>

С помощью AT-команд изменяются значения конфигурационных S-регистров, от которых зависят определенные параметры модема. Все S-регистры можно разделить на следующие группы (табл. 2).

Рассмотрим подробнее основные режимы работы модемов компании One RF Technology [2].

### Прозрачный режим (transparent mode)

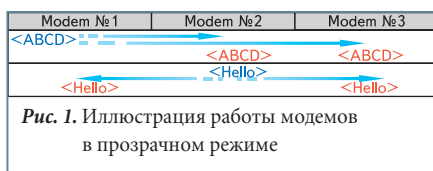


Рис. 1. Иллюстрация работы модемов в прозрачном режиме

Прозрачный режим обычно установлен по умолчанию. Он является аналогом полудуплексного режима работы известных проводных интерфейсов RS-485, RS-232 и RS-422. Сообщение, передаваемое одним модемом, становится доступным для всех остальных модемов, находящихся в пределах досягаемости. Прозрачный режим можно назвать режимом прямого радиовещания (рис. 1). Следует отметить, что в этом режиме в передаваемом сообщении содержится мини-

мум служебной информации (нет конкретного адреса). Поэтому полезная скорость обмена данными тут максимально близка к потенциально возможной. Все последующие режимы, ввода в передаваемый радиосигнал дополнительную информацию, в той или иной степени снижают скорость передачи.

### Безопасный прозрачный режим (secured transparent mode)

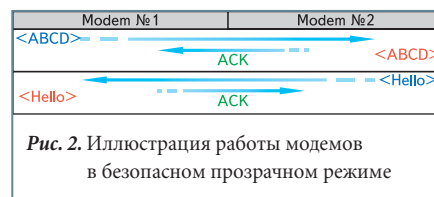


Рис. 2. Иллюстрация работы модемов в безопасном прозрачном режиме

В этом режиме сообщение, адресованное некоторому узлу сети и полученное им, проверяется на целостность и наличие ошибок с помощью 16-битного циклического избыточного кода (CRC). В случае успешного прохождения проверки принимающей стороной высылается подтверждение успешного получения сообщения (рис. 2). Если подтверждение не было получено

в течение фиксированного промежутка времени, происходит повторная передача сообщения. Количество повторов устанавливается пользователем записью соответствующего значения в конфигурационный регистр S223. Данный режим следует применять только для передачи сообщений между двумя узлами.

### Безопасный адресный режим (addressed secured mode)

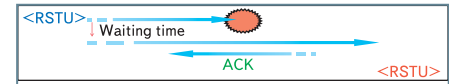


Рис. 3. Иллюстрация работы модемов в безопасном адресном режиме

Этот режим похож на безопасный прозрачный. Но здесь есть гарантия доставки сообщения (рис. 3). Безопасный адресный режим может быть использован для создания сети. В такой сети нет сервера, и каждый узел сети может устанавливать прямую связь с каждым другим узлом, находящимся в пределах досягаемости. Следует, однако, обратить внимание на то, что в данном режиме не предусмотрено предотвращение коллизий. Поэтому разработчику следует применять этот режим в приложениях, где конфликтные ситуации между узлами сети исключены каким-либо другим образом. В этом может помочь функция LBT (Listen Before Talk), которая заставляет модем перед передачей очередного сообщения прослушивать радиоканал. Если в момент прослушивания канал занят, модем повторяет прослушивание через случайно заданный интервал времени. И так до тех пор, пока канал не окажется свободен. Включение функции LBT со случайно генерируемыми интервалами времени между прослушиванием радиоканала позволяют минимизировать вероятность того, что в один и тот же момент времени канал будет необходимо сразу несколькими узлами сети.

Весь процесс передачи сообщений в безопасном адресном режиме полностью контролируется. Для операций передачи и приема сообщений автоматически формируются подтверждения успешного выполнения или отказа. Безопасный адресный режим следует применять в ситуациях, когда количество узлов сети больше 32. Сетевой адрес может лежать в диапазоне от 255 до 65 535.

В данном режиме существует возможность отправки одного сообщения одновременно всем пользователям сети.

### Режим ретрансляции (repeater mode)

В тех случаях, когда узел сети, для которого предназначено сообщение, находится вне пределов досягаемости источника этого сооб-

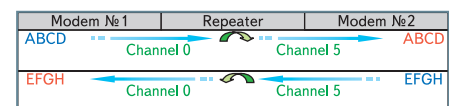


Рис. 4. Иллюстрация работы модемов в режиме ретрансляции

щения, некоторые узлы сети могут автоматически выступать в качестве ретрансляторов (рис. 4), увеличивая, таким образом, зону покрытия сети.

Режим ретрансляции совместим с прозрачным, безопасным прозрачным и безопасным адресным режимами. Каждый ретранслятор вносит задержку передачи сообщения на 10 мс. При использовании  $n$  ретрансляторов результирующая скорость сокращается в  $2n$  раз. По этой причине рекомендуется использовать не более 6 ретрансляторов на пути передачи одного сообщения, несмотря на то, что максимально допустимое количество ретрансляторов 10. Режим ретрансляции доступен только семействам Tiny One Pro и Tiny One Plus [3, 4].

## Режим телеметрии (telemetry mode)

Используется для удаленного управления модемом. Данный режим совместим с сетевым режимом, речь о котором пойдет ниже, и может использоваться для управления сразу несколькими удаленными устройствами сети (рис. 5). Существует две разновидности режима телеметрии. Первый из них предназначен для управления цифровыми и аналоговыми портами ввода/вывода модема по радиоканалу. Второй — для смены прошивки встроенного в модем микроконтроллера по радиоканалу. Режим телеметрии поддерживается не всеми семействами модемов, а только Tiny One Pro и Tiny One Plus [3, 4]. Для смены прошивки и конфигурирования радиомодемов удобно воспользоваться программой Tiny Tools [5], предоставляемой компанией One RF Technology бесплатно.

## Сетевой режим (network mode)

В этом случае формирование сети происходит автоматически. Сеть может иметь различные конфигурации. Наиболее простой из них является «Звезда». Такая сеть может содержать 1 сервер и до 32 клиентов и поддерживается всеми семействами радиомодемов и радиомоделей компании One RF Technology. Предотвращение коллизий и контроль передачи сообщений между клиентами сети происходит автоматически. Присоединение новых клиентов к сети также происходит автоматически при их первом входе в сеть.

К тому же фирмой One RF Technology была разработана сетевая топология Mesh Lite [6]. Эту топологию поддерживают не все семейства радиомодемов, а только Tiny One Pro и Tiny One Plus. Рассмотрим особенности сетей с топологией Mesh Lite более подробно. Топология Mesh Lite является разновидностью топологии «кластерное дерево» (Cluster Tree) [6] (рис. 6).

Требования электромагнитной совместимости ограничивают полосу частот, разрешенную для использования в частотном диапазоне 868 МГц, что приводит к ограничению скорости передачи данных. Mesh Lite топология позволяет максимально эффективно использовать выделенную полосу частот, сочетая приемлемую скорость передачи данных и надежность функционирования сети.



Рис. 5. Иллюстрация работы модемов в режиме телеметрии

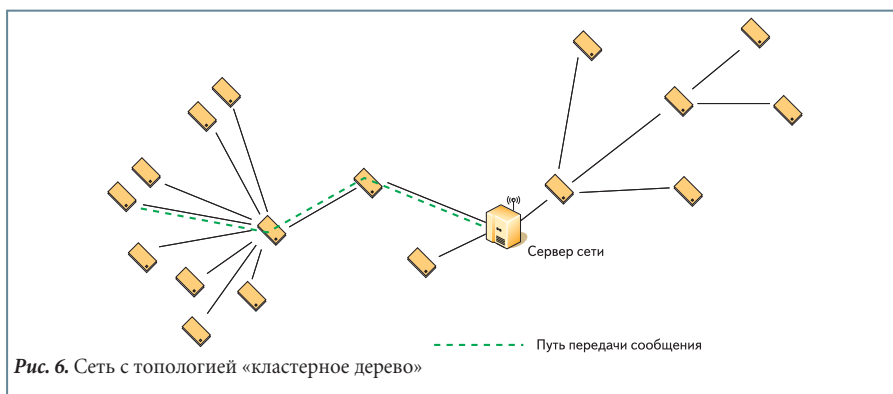


Рис. 6. Сеть с топологией «кластерное дерево»

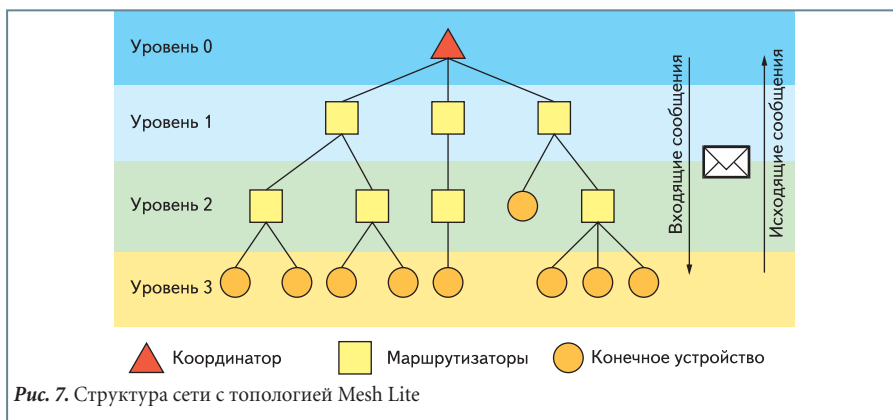


Рис. 7. Структура сети с топологией Mesh Lite

Несмотря на то, что Mesh Lite является статической сетевой топологией, то есть узел сети не может динамически перемещаться, она обладает свойством автоматического восстановления соединения в случае внезапной потери связи.

Сеть топологии Mesh Lite состоит из трех видов устройств (рис. 7):

1. Координатор или мастер сети. Это устройство самого высокого уровня сетевой топологии. Оно может обмениваться данными только с устройствами, находящимися в его непосредственном подчинении.
2. Маршрутизатор. Это устройство, которое выступает посредником между устройствами более высокого и более низкого уровней. Маршрутизатор может быть конечным получателем данных.
3. Конечные устройства. Они представляют собой самый низкий уровень в сетевой топологии Mesh и являются источниками или получателями данных и могут непосред-

венно взаимодействовать только с маршрутизатором.

В качестве устройств каждого из трех перечисленных выше видов может выступать радиомодуль или радиомодем компании One RF Technology, запрограммированный соответствующим образом.

Каждое устройство сети Mesh Lite обладает своим уникальным MAC-адресом. Он имеет иерархическую структуру, позволяющую различать устройства различных уровней.

Самым уязвимым звеном Mesh Lite сети является координатор. При выходе его из строя сеть утрачивает свою работоспособность. Отказ устройства любого другого уровня не является критичным с точки зрения функционирования сети Mesh Lite. В случае утраты одного из маршрутизаторов соседние с ним устройства автоматически находят другой узел, способный взять на себя его функции (рис. 8). Выбор наиболее подходящего на роль нового маршрутизатора узла проис-

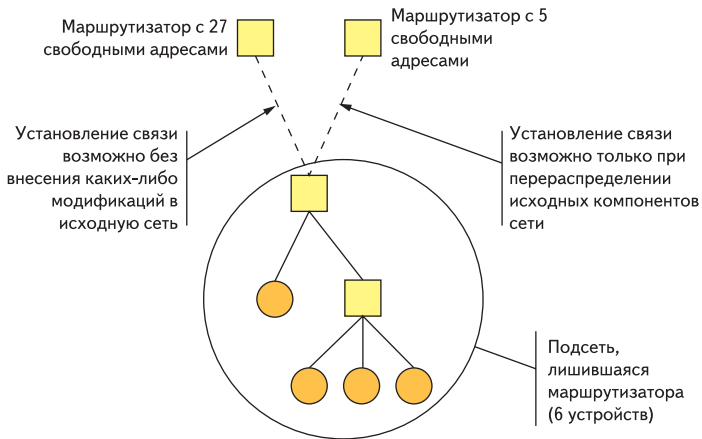


Рис. 8. Автоматический выбор маршрутизатора в сети с топологией Mesh Lite

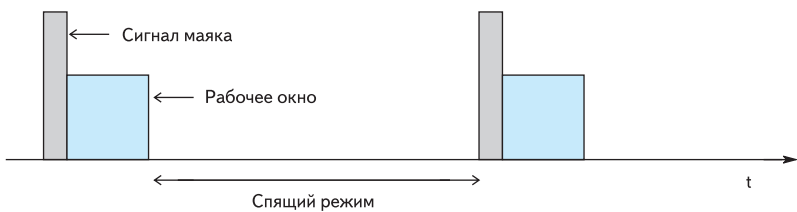


Рис. 9. Структура временных пакетов, используемых в сети Mesh Lite

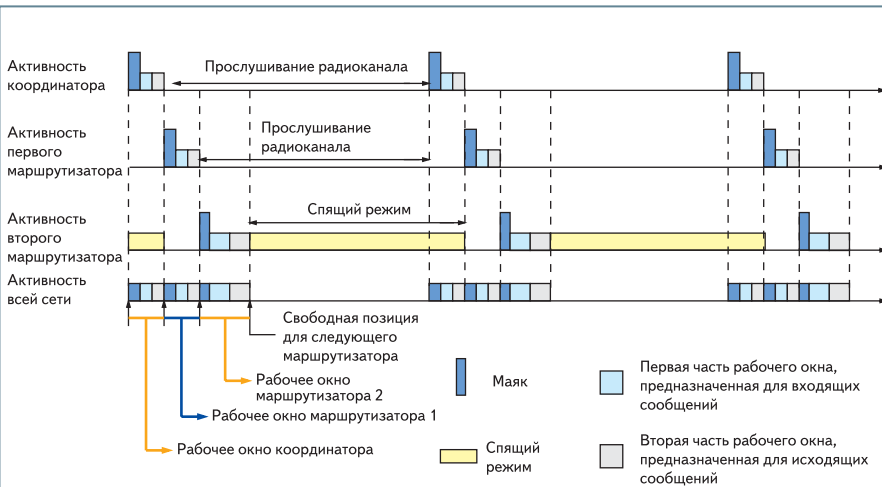


Рис. 10. Иллюстрация процесса обмена данными между узлами сети Mesh Lite

ходит, во-первых, по уровню сигнала RSSI и, во-вторых, по количеству свободных MAC-адресов. Предпочтение будет отдано тому узлу, который обладает наибольшим уровнем RSSI и достаточным количеством свободных MAC-адресов.

Ограничения, накладываемые на доступную для работы полосу частот в диапазоне 868 МГц, вынуждают принимать меры для максимально эффективного использования данного ресурса. В сети топологии Mesh Lite это достигается за счет применения особого вида временной синхронизации

зации (рис. 9). Работа всех устройств Mesh Lite сети синхронизируется с помощью сигнала маяка (beacon). Этот сигнал периодически излучается устройством, которое является главенствующим в пределах определенной группы подчиненных ему устройств и предназначается непосредственно для этих устройств. Сигнал маяка содержит информацию о своем периоде повторения, идентификационный номер сети, количество свободных MAC-адресов и др.

Сразу за сигналом маяка следует рабочее окно (Super Frame), длительность которого состоит из двух основных частей. Первая часть отводится для передачи пакетов данных входящих сообщений, вторая — исходящих. Длительность рабочего окна, а также соотношение предварительно передается в составе сигнала маяка.

В паузах между сигналами маяка со следующими за ними рабочими окнами устройства сети находятся в спящем режиме. Если какое-либо устройство не успевает совершить передачу или прием данных за время одного рабочего окна, то весь этот процесс распределяется на несколько рабочих окон.

Соседние маршрутизаторы также могут обмениваться данными друг с другом или с координатором по мере возникновения такой необходимости в определенные интервалы времени (рис. 10).

В целях экономного расходования электроэнергии разработчики топологии Mesh Lite реализовали два способа функционирования сети. Первый из них подразумевает, что координатор сети постоянно активен. Он контролирует сеть и поэтому способен осуществлять обмен данными с максимально высокой скоростью (рис. 11а). По сигналам координатора отдельные участки сети периодически просыпаются и обмениваются сообщениями.

При втором способе функционирования вся сеть с топологией Mesh Lite находится в спящем режиме, включая и координатор. Обмен данными происходит в пределах отдельных сегментов сети, которые периодически просыпаются (рис. 11б). Таким образом удается не только экономить электроэнергию, но и избежать влияния отдельных сегментов сети друг на друга.

Наиболее интересными частными случаями Mesh Lite сети являются:

1. «Звезда» (Star). Характерной особенностью этой топологии является то, что в ней отсутствуют маршрутизаторы. Все конечные устройства соединены непосредственно с координатором (рис. 12). Количество таких устройств может превышать 65 тысяч.
2. BackBone. Представляет собой набор подключенных к одному координатору последовательно соединенных друг с другом маршрутизаторов.

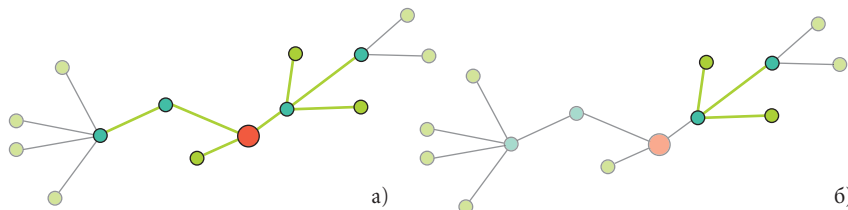


Рис. 11. Энергосберегающие режимы сети Mesh Lite: а) с активным координатором; б) со спящим координатором

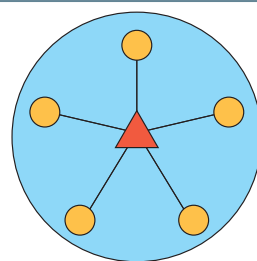
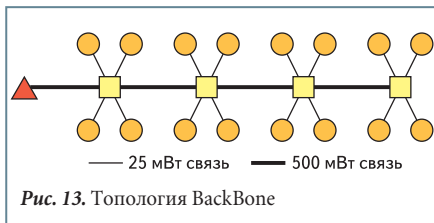


Рис. 12. Топология «звезда»



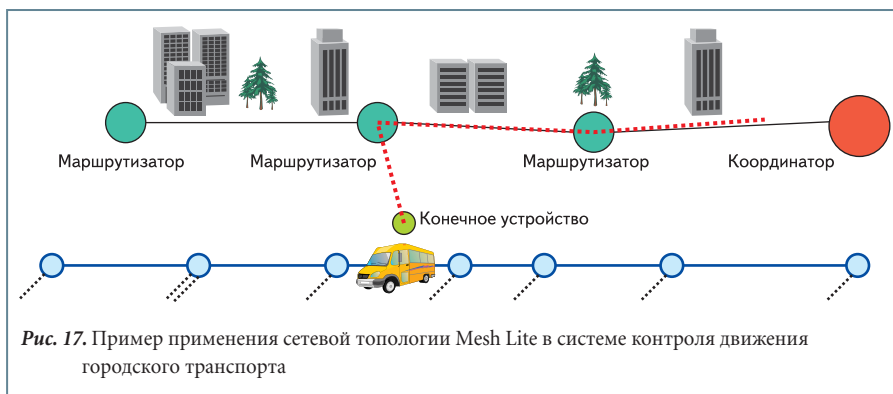
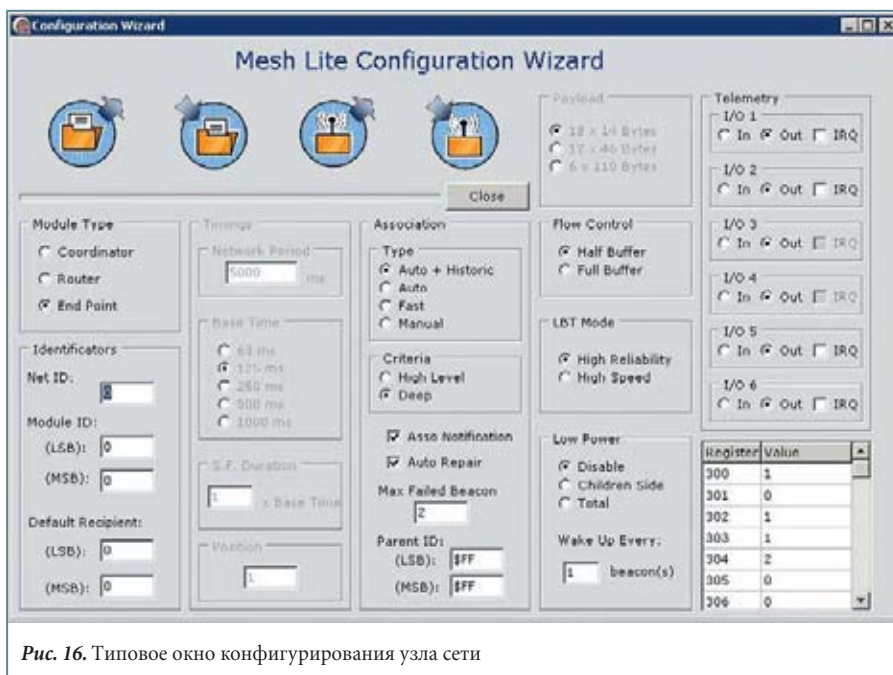
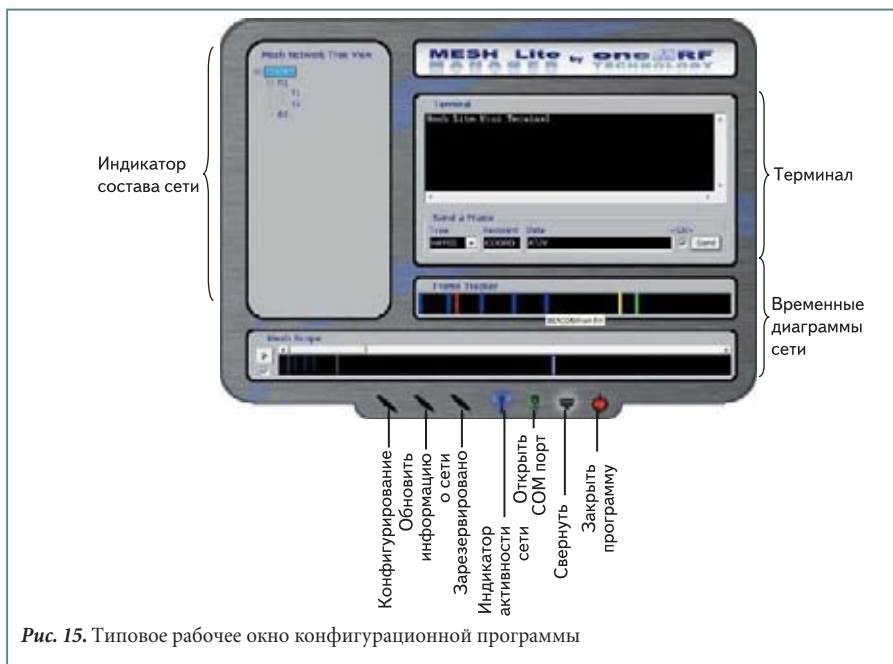
тизаторов, каждый из которых управляет своим набором конечных устройств (рис. 13). Топология BackBone может эффективно применяться в системах контроля и сбора информации в пространственно протяженных объектах, таких как магистрали нефте-газопроводов, линии электропередач и др. Настройка сети Mesh Lite выполняется следую-



щим образом. Прежде всего, в микроконтроллер модема должна быть загружена специальная прошивка, содержащая протокол сети Mesh Lite. Загрузка прошивки осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232 и не требует дополнительного оборудования. Чтобы перевести модем в режим смены прошивки, необходимо снять крышку корпуса на модеме и перевести джампер «PROG» на плате в положение ON (рис. 14).



Затем надо подключить модем к компьютеру и запустить специальную программу (также предоставляется бесплатно по запросу), с помощью которой в интерактивном режиме можно загрузить в модем соответствующий файл прошивки. Теперь необходимо задать параметры каждого узла сети Mesh Lite (сетевой адрес, период следования сигнала маяка и др.). Для этого предназначена бесплатно предоставляемая конфигурационная программа [7], типовой внешний вид которой представлен на рис. 15. Данная программа может выступать и как индикатор состояния сети, и как терминал для обмена данными с различными узлами сети, и как универсальное средство конфигурирования отдельных узлов сети. Следует обратить особое внимание на то, что модем переводится в режим конфигурирования переводением джампера «PROG» в позицию ON в течение ближайших нескольких секунд после включения питания модема. После окончания конфигурирования джампер должен быть переведен в обратное положение при выключенном питании. Для конфигурирования радиомодема необходимо, прежде всего, нажать кнопку «Открыть СОМ порт» в рабочем окне программы. После этого следует открыть окно конфигурирования узла сети нажатием на кнопку «Конфигурирование».



В появившемся окне «Mesh Lite Configuration Wizard» (рис. 16) следует установить все необходимые параметры, сверяясь с документацией, и нажать одну из иконок, расположенных в верхнем левом углу рабочего окна, каждая из которых соответствует определенному

действию: сохранить конфигурацию в файле, загрузить конфигурацию из файла, загрузить конфигурацию из текущего модуля, переслать конфигурацию в текущий модуль. После выполнения пересылки установленной конфигурации в текущий модуль (модем) по-

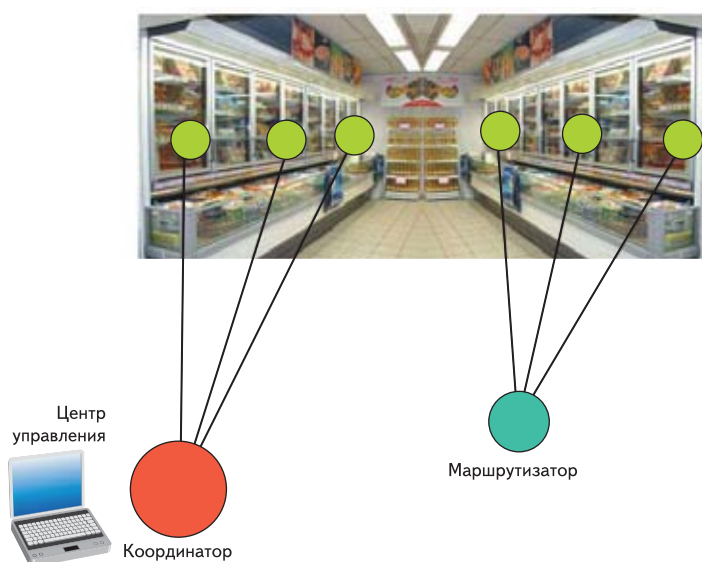


Рис. 18. Пример применения сетевой топологии Mesh Lite в системе контроля холодильных установок в супермаркете

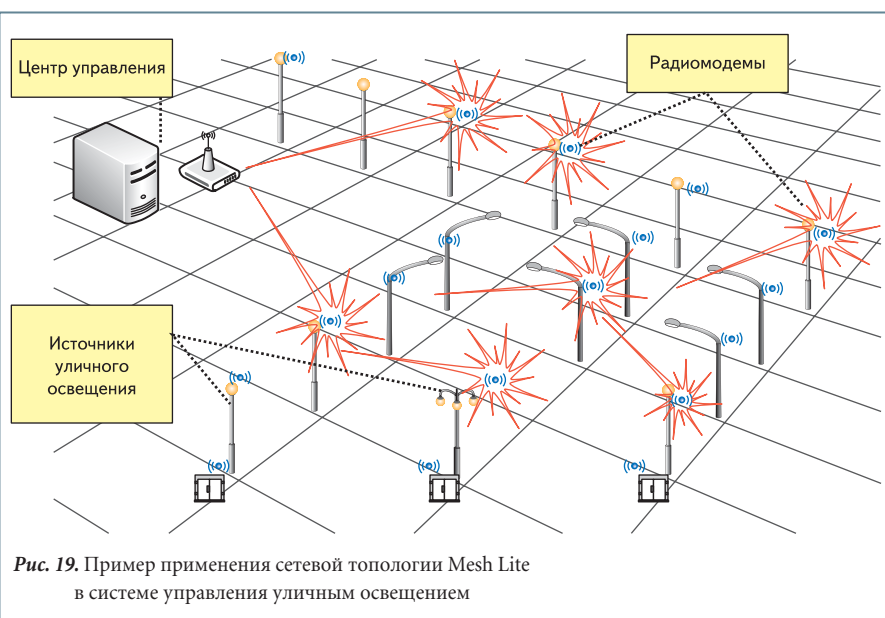


Рис. 19. Пример применения сетевой топологии Mesh Lite в системе управления уличным освещением

следний становится готовым к самостоятельному использованию в составе сети Mesh Lite. При практических испытаниях было выявлено, что процесс передачи данных от одного узла сети Mesh Lite к другому является весьма продолжительным по времени. Временная задержка может

достигать нескольких секунд в больших сетях и при наличии сильных электромагнитных помех. Но тут следует помнить, что при разработке сетевой топологии Mesh Lite главным критерием являлась не скорость передачи данных между узлами, а надежность функционирования всей сети.

Рассмотрим некоторые примеры применения радиомодемов фирмы One RF Technology.

В европейских странах широкое применение находит система контроля движения пассажирского транспорта (рис. 17). Транспортное средство, перемещаясь от остановки к остановке, передает информацию о своем местоположении на ближайший узел связи, который далее передает это сообщение по цепочке в центр управления. Таким образом возможно отслеживать перемещение транспортного средства и рассчитывать ориентировочное время прибытия этого средства в конкретный пункт.

В крупных супермаркетах радиомодемы, объединенные в сеть Mesh Lite, позволяют оперативно контролировать температуру в холодильных установках (рис. 18). Измерение температуры и пересылка данных в центр управления осуществляется раз в 10 минут. Поэтому время работы радиомодемов без замены или подзарядки автономных источников питания достигает 5 лет.

В крупных городах актуальной является проблема управления источниками уличного освещения и светофорами. В этой области также могут быть применены радиомодемы фирмы One RF Technology (рис. 19).

На основании проведенного исследования можно сделать заключение о том, что главной отличительной чертой радиомодемов компании One RF Technology является возможность организации сетей сложной архитектуры, способных покрывать расстояния, измеряемые единицами и даже десятками километров. Рассмотренные особенности радиомодемов компании One RF Technology позволяют надеяться, что данные устройства найдут свое применение в российской промышленности и, прежде всего, в приложениях, требующих высокой надежности, большой дальности, экономичности и относительно невысокой скорости передачи. ■

## Литература

1. Кривченко Т. И. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц // Беспроводные технологии. 2007. № 2.
2. Functionalities and Operations modes v1.3. Data sheet.
3. Manual M868-TinyPlus v1.0. Data sheet.
4. Manual M868-TinyPro v1.0. Data sheet.
5. Manual TinyTools v1.1. Data sheet.
6. Mesh Lite Specification. Data sheet.
7. Manual Mesh Manager v1.1. Data sheet.