

# Беспроводные системы сбора данных

на базе радиочастотных модулей ML-Module-Z

**В статье представлены радиочастотные модули ML-Module-Z, предназначенные для разработки беспроводных сенсорных сетей на базе платформы MeshLogic. Рассмотрены достоинства и недостатки различных архитектур беспроводных систем сбора данных, в том числе с точки зрения энергопотребления устройств и срока службы элементов питания.**

**Сергей Баскаков**  
baskakov@meshlogic.ru

## Введение

Применение беспроводной связи для сбора данных актуально во многих прикладных задачах, например:

- автоматический съем показаний квартирных счетчиков;
- системы мониторинга в промышленной и домашней автоматизации;
- мониторинг состояния несущих конструкций зданий и сооружений и т. д.

При этом со стороны разработчиков и конечных потребителей постоянно возрастает интерес к подобным системам, поскольку появляются готовые решения, которые просты в использовании и позволяют эффективно решить задачу сбора данных по радиочастотному каналу связи. Одним из таких решений являются встраиваемые модули ML-Module-Z [1] (рис. 1), которые основаны на российской платформе MeshLogic для разработки беспроводных сенсорных сетей [2, 3], имеющей множество преимуществ относительно других стандартных и проприетарных технологий, в частности, такие свойства, как:

- полностью многоячейковая топология сети;
- самоорганизация и автоматический поиск маршрутов;
- устойчивость к соканальной интерференции;
- высокая масштабируемость и надежность доставки данных;
- все узлы равноправны и являются маршрутизаторами;
- возможна работа всех узлов от автономных источников питания.

Радиочастотные OEM-модули ML-Module-Z представляют собой законченное интегрированное решение, которое позволяет сторонним разработчикам самостоятельно создавать беспроводные сети по технологии MeshLogic. В модули встроена специальная версия сетевого стека MeshLogic, оптимизированная для построения распределенных систем сбора информации, в которых множество устройств передают данные в одну или несколько точек сбора (базовые станции, шлюзы и т. п.) (рис. 2).



Рис. 1. Беспроводной модуль ML-Module-Z

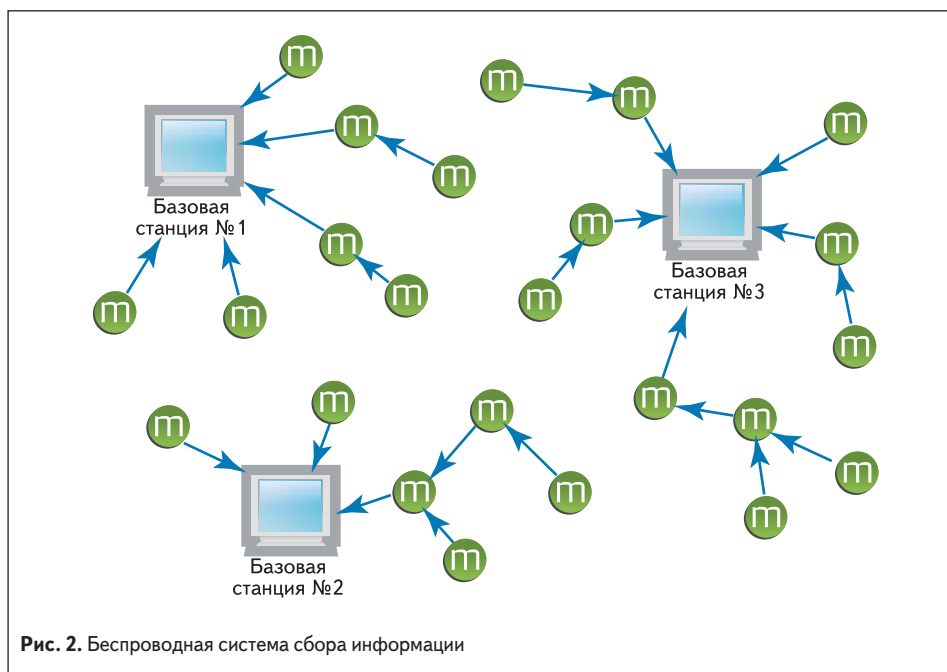


Рис. 2. Беспроводная система сбора информации

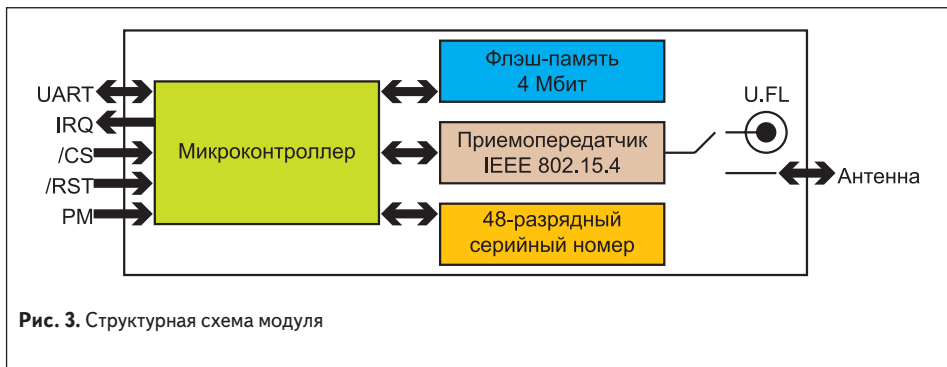


Рис. 3. Структурная схема модуля

Главная особенность модулей ML-Module-Z заключается в том, что все они одинаковы и являются маршрутизаторами, то есть способны в случае необходимости ретранслировать пакеты, но при этом автоматически переходят в «спящий» режим, значительно сокращая среднее энергопотребление и увеличивая срок службы элементов питания. Для перехода маршрутизаторов в дежурный режим не требуется настраивать синхронизированный доступ к среде или задавать какие-то другие параметры, поскольку модули самостоятельно определяют оптимальный режим работы в зависимости от текущей сетевой нагрузки.

Заметим, что далеко не все представленные на рынке решения позволяют создавать полноценные mesh-сети, в которых все узлы способны выполнять ретрансляцию при работе от автономных элементов питания. Например, в большинстве практических ситуаций в сетях ZigBee маршрутизаторы требуют стационарного питания, так как должны постоянно находиться в режиме прослушивания канала.

### Описание модуля

Модуль ML-Module-Z (рис. 3) состоит из микроконтроллера, приемопередатчика стандарта IEEE 802.15.4, 48-битного серийного номера, флэш-памяти емкостью 4 Мбайт и предусматривает два варианта подключения 50-омной антенны: через контактные площадки или U.FL-разъем. Основные технические характеристики модуля приведены в таблице.

На рис. 4 показана структурная схема типового изделия на базе модуля ML-Module-Z. Как

правило, хост-устройством является микроконтроллер, который подключен к радиомодулю по последовательному интерфейсу UART и нескольким цифровым линиям управления.

Микроконтроллер периодически опрашивает подключенные к нему датчики или другие источники сигналов (например, счетчики, расходомеры и т. д.), выполняет предварительную обработку измерений и передает результат одной из базовых станций (рис. 2).

Управление модулем выполняется набором API-команд [4], при этом большинство из них необязательно задействовать. Основной является команда «передача адресного пакета», в которой хост-устройство указывает номер базовой станции и до 95 байт пользовательских данных (например, показания датчиков), которые должны быть ей доставлены. Если в команде в явном виде не задан номер базовой станции, то пакет по умолчанию отправляется ближайшей к модулю базовой станции. Если невозможно передать пакет данных базовой станции напрямую, то модули автоматически определяют оптимальный маршрут доставки данных без какого-либо вмешательства со стороны их хост-устройств.

Если все оконечные устройства передают данные в одну точку сбора, то возможна перегрузка сети или значительное сокращение времени ее жизни из-за роста трафика по мере приближения к базовой станции. Установка в сети нескольких точек сбора позволяет снизить влияние этого эффекта за счет разделения потоков трафика, а также повышает надежность системы сбора данных. Текущая версия стека модулей ML-Module-Z поддерживает до четырех базовых станций в сети, при этом в процессе функционирования можно любой модуль

перевести из режима оконечного устройства в режим базовой станции и обратно, так как все модули имеют идентичное программное обеспечение.

В модуле предусмотрена функция измерения напряжения источника питания (сигнал PM на рис. 4), использование которой рекомендуется при работе устройства от автономного источника питания (например, от батарей или аккумуляторов), так как в этом случае модуль способен использовать эту информацию для более рационального расходования запаса энергии. Эффективность данного подхода наглядно продемонстрирована в статье [3].

Каждый модуль имеет уникальный 48-разрядный серийный номер, 16 бит из которого используются для адресации узлов в беспроводной сети, но он также может быть использован хост-устройством для идентификации всего конечного изделия. Установленная на модуле флэш-память доступна хост-устройству для хранения пользовательских данных (например, для накопления результатов измерений).

На целевую плату модуль устанавливается SMD-монтажом или через штыревые разъемы. Чип-антенна или антенна в виде проводника на печатной плате подключается к модулю через контактные площадки. При монтаже модуля на штыревой разъем и/или при металлическом корпусе изделия необходимо применение внешней антенны, которая подключается к модулю через кабельную сборку, например U.FL-SMA(RP).

### Архитектура сети и энергопотребление

В технических характеристиках модуля указаны значения тока потребления в различных режимах работы, но на практике необходимо знать среднее значение, от которого зависит срок службы элемента питания — принципиально важный параметр для большинства приложений сбора данных. Среднее энергопотребление модуля в основном определяется объемом передаваемого и принимаемого в единицу времени трафика, поэтому создана упрощенная модель энергопотребления модуля ML-Module-Z [5], которая позволяет оценить среднюю потребляемую мощность в зависимости от следующих параметров:

- *Ttxi* и *Trxi* — период передачи и приема адресных пакетов данных, с;

Таблица. Основные технические характеристики

Параметр	Значение
Тип радиоканала	IEEE 802.15.4
Диапазон частот	2400–2483,5
Выходная мощность передатчика	до 1 мВт (0 дБм)
Чувствительность приемника	–95 дБм
Напряжение питания	от 2,7 до 3,6 В
Ток потребления в различных режимах (при 3,3 В): передача, прием, управление, режим сна	21 / 24 / 3,7 / 9 мкА
Интерфейс управления	UART (LVCMOS)
Скорость интерфейса управления	от 9600 до 921600 бит/с
Габаритные размеры	25,4×19,05×2,7 мм
Температурный диапазон	от –40 до +85 °С

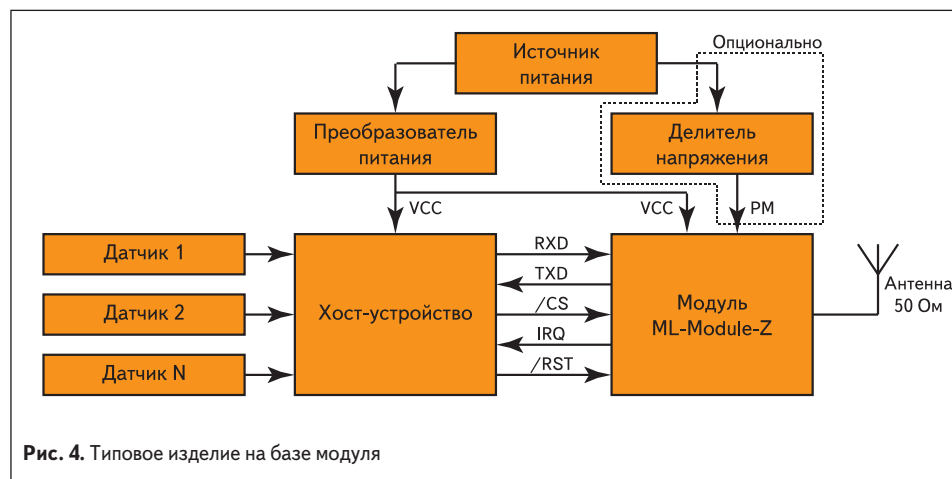


Рис. 4. Типовое изделие на базе модуля

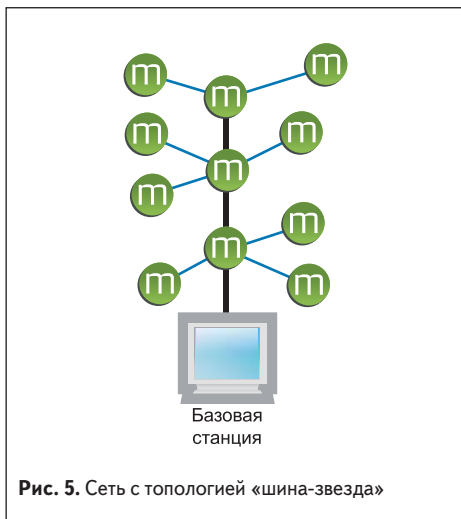


Рис. 5. Сеть с топологией «шина-звезда»

•  $T_{txb}$  и  $T_{trxb}$  — период передачи и приема широкоэмительных пакетов данных, с. При этом потоки трафика будут зависеть от выбранной архитектуры сети сбора данных. С помощью модулей ML-Module-Z возможно реализовать две принципиально разные архитектуры сети: топология «шина-звезда» и многоячейковая сеть. Рассмотрим их основные достоинства и недостатки.

При топологии «шина-звезда» (рис. 5) сеть состоит из концентраторов, которые соединены между собой проводной шиной для передачи данных и стационарного питания, и оконечных устройств, которые по радиоканалу обмениваются данными с ближайшим концентратором и работают от автономного источника питания.

Такая архитектура сети отличается высокой масштабируемостью и простотой сопровождения, так как позволяет добавлять и удалять устройства без существенного влияния на остальные элементы сети.

Кроме того, поскольку беспроводная часть сети организована по топологии «звезда» и концентратор имеет стационарное питание, то срок службы элементов питания оконечных устройств может быть очень длительным. Например, на рис. 6 приведена средняя потребляемая мощность модуля ML-Module-Z оконечного устройства в зависимости от периода передачи сообщений концентратору. Видно, что срок

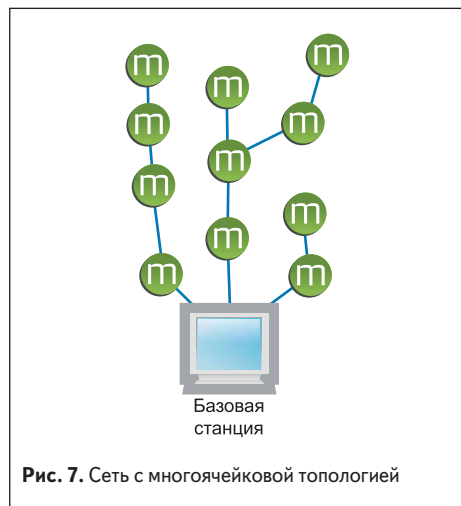


Рис. 7. Сеть с многоячейковой топологией

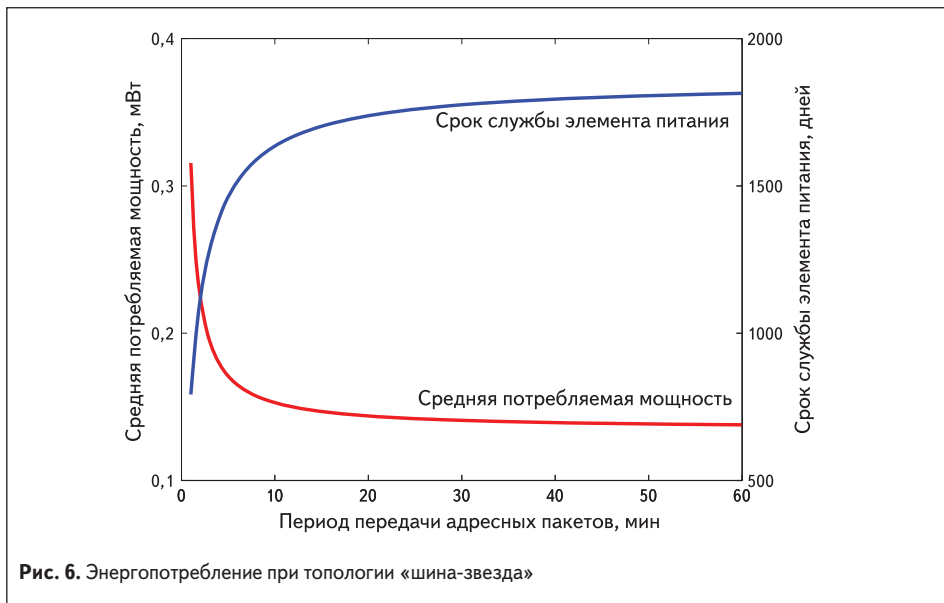


Рис. 6. Энергопотребление при топологии «шина-звезда»

службы двух щелочных батарей формата AA может составить несколько лет.

Применение архитектуры «шина-звезда» целесообразно, например, для сбора показаний квартирных счетчиков в автоматизированных системах коммерческого учета энергоресурсов, поскольку практически всегда есть возможность установить концентраторы на этажах и проложить между ними кабель, а к приборам учета подключать беспроводные модули с автономным элементом питания. Однако топология «шина-звезда» не обладает достаточной гибкостью и не всегда применима, поэтому многие задачи требуют использования технологий беспроводных многоячейковых сетей.

В модулях ML-Module-Z реализована поддержка многоячейковых сетей, в которых все узлы являются маршрутизаторами, что позволяет строить более надежные и развитые системы (рис. 7).

Но в таком случае среднее энергопотребление узлов возрастает (рис. 8) и его расчет становится

более сложным, так как необходимо рассматривать суммарный сетевой трафик, то есть учитывать как пакеты данных, источником которых является непосредственно сам модуль, так и пакеты, которые он принимает и передает, выполняя функции ретранслятора.

Следовательно, средний ток потребления модуля существенно зависит от его положения в топологии сети и направлений прохождения сетевого трафика, но, как правило, при проектировании сети достаточно примерно оценить ее топологию и характер распределения потоков трафика для определения узла, испытывающего максимальную сетевую нагрузку. Поскольку энергопотребление данного узла будет максимально среди остальных узлов, то по соответствующему ему значению  $P_{max}$  (мВт) можно получить нижнее значение величины срока службы элемента питания по формуле  $T_{min} = Cbat / (24 \cdot P_{max})$ , дней, где  $Cbat$  — емкость элемента питания (мВт·ч).

В качестве примера рассмотрим сеть с линейной топологией, в которой  $N$  узлов по цепочке

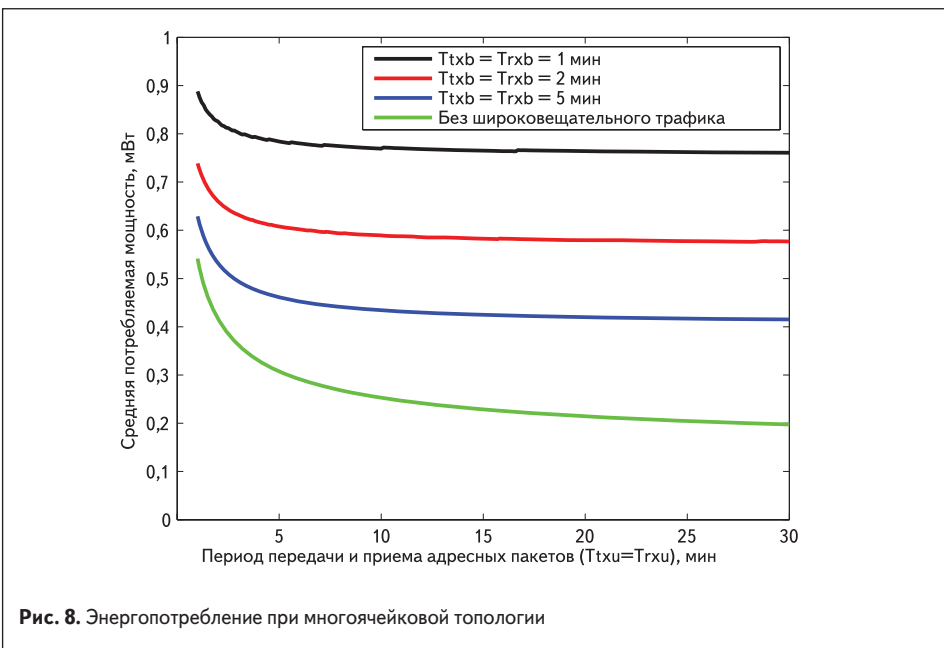
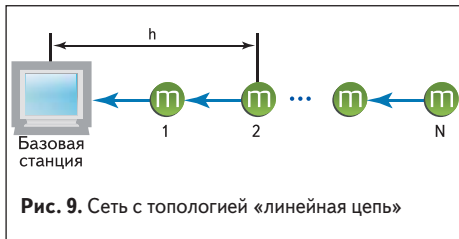


Рис. 8. Энергопотребление при многоячейковой топологии



с номинальным периодом  $T$  передают пакеты данных базовой станции (рис. 9).

При этом каждый узел (кроме базовой станции и крайнего узла) способен связываться только с двумя соседними узлами, а период передачи широковещательных пакетов равен  $Tb$ . Тогда узел, находящийся на расстоянии  $h$  промежуточных передач до базовой станции, испытывает следующую сетевую нагрузку:  $T_{txu} = T/(N-h+1)$ ,  $T_{rxu} = T/(N-h)$ ,  $T_{txb} = Tb$ ,  $T_{rxb} = 2Tb$ . На рис. 10 представлен результат расчета для сети из  $N = 10$  узлов и  $Tb = 30$  мин.

Видно, что средние значения потребляемых мощностей ближайшего к базовой станции узла и крайнего узла значительно отличаются, при этом разница увеличивается по мере роста количества узлов в сети и, следовательно, длины маршрутов, а также интенсивности генерации трафика.

Выше было рассмотрено энергопотребление непосредственно радиомодуля, в то время как для изделия в целом необходимо учитывать также затраты энергии на работу хост-устройства, на опрос внешних датчиков и т. д. Обычно эти величины пренебрежимо малы по сравнению с потребляемой мощностью модуля, но в некоторых случаях их также следует учитывать при оценке срока службы беспроводного узла.

### Заключение

Возможность успешного практического внедрения технологии беспроводных сенсорных сетей во многом определяется наличием готовых продуктов, которые просты в использовании,

обладают необходимой функциональностью и эффективно решают поставленные задачи. Одним из таких продуктов являются радиочастотные модули ML-Module-Z на базе платформы MeshLogic.

Встраиваемые модули ML-Module-Z полностью реализуют все функции по работе с радиоканалом и сетевым взаимодействием, сокращая срок и стоимость разработки беспроводной сенсорной сети для распределенного сбора информации. В отличие от других решений интегрированная в них версия стека MeshLogic отличается простой системой команд и минимальным количеством настроек, но при этом обеспечивается высокая эффективность и гибкость системы.

Кроме того, важным достоинством модулей является тот факт, что они разработаны и производятся российской компанией, поэтому потребители получают техническую документацию и поддержку на русском языке из первых рук.

### Литература

1. Беспроводной модуль ML-Module-Z: Руководство пользователя. <http://www.meshlogic.ru/data/ML-Module-Z Product Manual.pdf>.
2. Баскаков С. С., Оганов В. И. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic™ // Электронные компоненты. 2006. № 8.
3. Баскаков С. С. Стандарт ZigBee и платформа MeshLogic: эффективность маршрутизации в режиме «многие к одному» // Первая миля (приложение к журналу «Электроника: Наука, Технология, Бизнес»). 2008. № 2–3.
4. Беспроводной модуль ML-Module-Z: Описание системы команд. <http://www.meshlogic.ru/data/ML-Module-Z API Reference Guide.pdf>.
5. Беспроводной модуль ML-Module-Z: модель энергопотребления. [http://www.meshlogic.ru/data/EnergyModel\\_ML-Module-Z.zip](http://www.meshlogic.ru/data/EnergyModel_ML-Module-Z.zip)

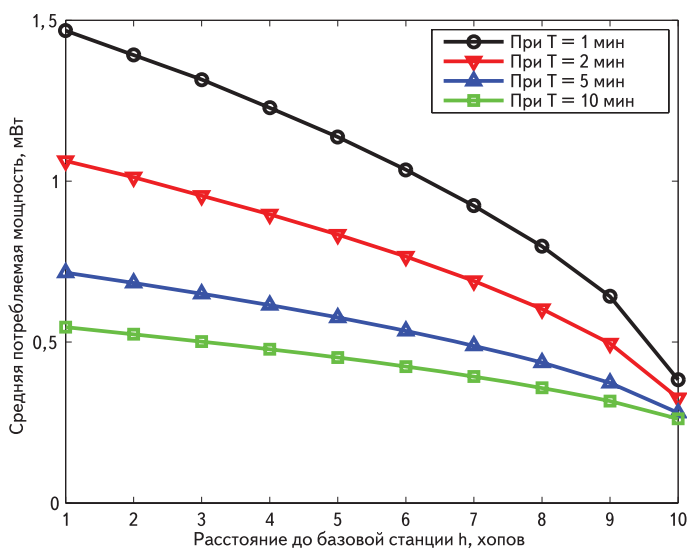


Рис. 10. Энергопотребление при топологии «линейная цепь»