

Червоний Іван Федорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедру, кафедра металургії кольорових металів. Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

E-mail: rot44@yandex.ru

Бредихін Віктор Миколайович, кандидат технічних наук, професор, кафедра кольорових металів і конструкційних матеріалів, Донецький національний технічний університет, Україна, 83001, Донецьк, вул. Артема, 58,

E-mail: ut0if.ut9if@gmail.com

Циганкова Ольга Василівна, аспірантка, кафедра металургії кольорових металів. Запорізька державна інженерна академія. пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

E-mail: Tsygankov.S@ecg.in.ua

Міхайлін Вадим Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра фізичної і біомедичної електроніки, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

E-mail: rot44@yandex.ru

УДК 621.396

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

© П. В. Галкин

В статье рассмотрен вопрос энергопотребления и повышения энергоэффективности узлов беспроводных сенсорных сетей (БСС). Выявлено, что основным фактором, влияющим на увеличение вероятности нарушения работы сенсорной сети является ограниченность ресурса энергопитания узла. Приведена методика расчета энергопотребления узлов и срока службы элементов их питания.

Ключевые слова: энергопотребление узла, маршрутизатор, беспроводные сенсорные сети, цикл активности, цикл жизни.

The issue of energy consumption and energy efficiency of the nodes of wireless sensor networks (WSN) is considered in the article. It is revealed that the main factor influencing the increase in the probability of a malfunction of sensor networks is the limited resources of the power node. The methodology of node energy consumption calculation and the lifetime of its power elements is given.

Keywords: energy consumption, router, wireless sensor networks, activity cycle, life cycle.

1. Введение

За минувшее десятилетие широкое распространение получили беспроводные сети связи. В научных исследованиях последних лет все большее внимание уделяется широкополосным беспроводным сетям. Однако, при решении многих задач, связанных с промышленным мониторингом, построением системы «Умный дом», системы распределенного сбора информации и другими, актуальными становятся сети с передачей информации до 1 Мбит/с. Такой скорости достаточно для передачи управляющих и информационных данных от исполнительных устройств и сенсоров. К таким сетям относят и беспроводные сенсорные сети.

При проектировании и реализации беспроводных сенсорных сетей необходимо решить множество сложных проблем, относящихся к различным областям исследований. Одной из основных проблем является обеспечение высокой отказоустойчивости БСС. Нарушение работы сети возможно вследствие отказов узлов и каналов связи по нескольким причинам:

– большого количества узлов (согласно теории вероятности);

– внешних неблагоприятных воздействий (тяжелой помеховой обстановки, механических и электростатических воздействий);

– ограниченности ресурса энергопитания узла.

Из вышеперечисленных факторов, которые влияют на стабильную работу БСС, только ограниченную емкость источника питания можно учесть в дальнейшей работе сети и соответственно уменьшить это влияние. Следовательно, повышение энергоэффективности узлов беспроводных сенсорных сетей является актуальной темой для многих исследователей, а анализ энергопотребления и его оптимизация – перспективным направлением не только в БСС, но и во многих других беспроводных сетях.

2. Постановка проблемы

Одним из главных требований к БСС является их автономность, выполнить которое можно, уменьшив энергопотребление каждого узла.

Для решения данной проблемы используют следующие методы:

- определение и оптимизация времени включения передачи;
- многозвенная передача, т.е. отправка сообщений через промежуточные узлы вместо прямой дальней передачи;
- предварительная обработка и сокращение объема данных, необходимых для передачи.

Устройства без внутренних источников питания должны получать энергию непосредственно из окружающей среды. Некоторые устройства такого рода снабжены солнечными батареями, другие преобразуют в электроэнергию механические колебания. В случае с беспроводными устройствами ZigBee наиболее перспективным представляется использование энергии радиоволн.

Однако для любого типа узла БСС, имеющего или нет источник питания, актуально повышение его энергоэффективности. Для решения данной задачи необходимо провести ряд исследований по анализу энергопотребления узла и маршрутизатора БСС. Также целесообразно провести оптимизацию работы приемо-передатчика и предварительную обработку данных на узле сети.

3. Литературный обзор

Аспекты энергопотребления узлов БСС для оптимизации работы сети рассматривались в работах [1] и [2]. Однако подробного анализа энергопотребления узла или всей сети в этих работах не делалось.

Следует отметить, что микроминиатюризация и развитие микроэлектроники позволило создать приемо-передатчики и микроконтроллеры, способные работать от батарей питания несколько лет [3]. Однако такой срок службы узла БСС характерен для его использования в режимах сверхнизкого энергопотребления. Этот режим также предусматривает малое время на прием и передачу сообщений внутри сети. Поэтому для сетей сбора информации с интенсивным информационным обменом целесообразно провести меры по увеличению энергоэффективности.

Анализу энергоциклов узлов БСС уделили внимание в своих работах Зеленин А. Н., Власова В. А. [4]. В работе рассмотрены некоторые аспекты повышения энергоэффективности в БСС. Предложенные соотношения для расчета потребления энергии узлом БСС позволяют оценить расход заряда батареи, используя первичные параметры при различных выполняемых функциях путем комбинации. В тоже время работа не отвечает на вопрос: “Как влияет аппаратная реализация узла БСС на его энергоцикл?”.

Большое внимание анализу и решению проблем разработки энергоэффективных узлов БСС, а также созданию программных и аппаратных средств для них уделяет американская компания Texas Instruments [5]. Экспериментальные данные из исследования [5] этой компании взяты для анализа

энергопотребления узла беспроводной сенсорной сети в данной работе.

Согласно спецификации IEEE 802.15.4 [6], БСС разделяется на три типа устройств: оконечные устройства (ОУ), маршрутизаторы и единственный координатор, который управляет и собирает всю информацию из сети. Согласно стандарту [6], роль координатора, в случае его выхода из строя, должен на себя взять любой маршрутизатор. Однако такое случается крайне редко из-за того, что координатор БСС, как правило, имеет стационарный источник питания и довольно часто еще подключен к шлюзу, например, ZigBee-Ethernet. На практике свои автономные источники питания имеют только ОУ и маршрутизаторы. Следовательно, анализ энергопотребления необходимо проводить только их.

При рассмотрении особенностей реализации беспроводных сенсорных сетей на основе спецификации сетевых протоколов верхнего уровня ZigBee одним из способов предварительной обработки и сокращения объема передаваемых данных узла в работе [7] предлагалась компрессия данных.

Энергетическая балансировка маршрута передачи рассмотрена в работе Y. Chen [8]. Предложенный новый подход к маршрутизации EBMR (Energy-Balancing Multipath Routing), основанный на учёте энергетического ограничения источников питания для узлов БСС с энергетической балансировкой маршрута.

В статье [9] приведен обзор различных вариантов построения беспроводных сенсорных сетей на основе технологии MeshLogic. Приведена методика расчета среднего энергопотребления узлов и срока службы их элементов питания. Учитывая, что технология MeshLogic представляет собой комплекс аппаратного и программного обеспечения [10], реализующего набор сетевых протоколов для пакетной передачи данных между любыми устройствами сети и является де-факто универсальной базой для создания БСС, то возможно адаптировать методику расчета среднего значения энергопотребления узлов [9] на сети, построенные на других программно-аппаратных платформах.

Принципы кодирования и мультиплексирования данных, которые возможно применить для сокращения объема передаваемых данных узлом, описаны в литературе [11].

Среди факторов, сдерживающих развитие БСС, следует отметить недостаточное развитие методик оценки энергетической эффективности алгоритмов, а также отсутствие информационно-измерительных систем, позволяющих контролировать параметры энергопотребления функционирующих систем [12]. Существующие работы в области энергопотребления в основном касаются теоретических вопросов построения оптимальных алгоритмов маршрутизации пакетов данных в условиях значительного и переменного по объему трафика в БСС. В то же время работа [12] посвящена построению информационно-измерительной системы для мониторинга и анализа

энергопотребления беспроводных сенсорных систем и представляется актуальной на сегодняшний день.

В работах [12, 13] отмечено, что удельная энергетическая плотность современных химических источников тока растет весьма медленно, и дополнительным сдерживающим условием становится вопрос безопасной эксплуатации батарей высокой емкости.

Можно сделать вывод, что время жизни узла БСС ограничено временем жизни источника питания, и задача снижения потребления энергии как никогда становится важной, а эффективность ее решения напрямую влияет на дальнейшее развитие беспроводных сенсорных сетей.

4. Анализ энергопотребления

4.1 Анализ энергопотребления узла беспроводной сенсорной сети

Для анализа энергопотребления узла беспроводной сенсорной сети рассмотрим его структуру. Он содержит датчик, воспринимающий данные от внешней среды, микроконтроллер, память, радио-приемопередатчик, автономный источник питания рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема узла беспроводной сенсорной сети

Как видно из рис. 1, энергия источника питания (узла БСС) тратится на питание датчика (датчиков), микроконтроллера с памятью, который осуществляет обработку полученной информации от датчика (сенсора), а также на радио-приемопередатчик. Можно предположить, что основными ресурсами, которые требуется беречь в БСС, являются энергия источника питания, и пропускная способность узла БСС.

Проанализировав энергопотребление узла, приведенного на рис. 2 [3], в момент установки адреса и поиска координатора можно увидеть что, основная часть энергии тратится на коммуникацию (прием, прослушивание и передачу данных), а не на обработку или сохранение данных.

Рассмотрим более подробно рис. 2, на котором показано энергопотребление узла БСС, построенного на основе приемопередатчика CC2530.

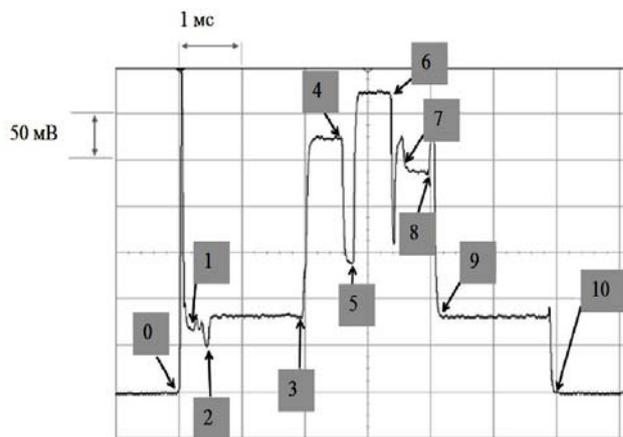


Рис. 2. Энергопотребление узла БСС, построенного на основе приемопередатчика CC2530

Переход от точки 0 до точки 1 показывает start-up режим трансивера, при этом затрачивается энергия в 12 мА на протяжении 0,2 мс. Далее от точки 1 до точки 2 микроконтроллер работает на частоте 16 МГц на внешнем кварцевом резонаторе на протяжении 0,25 мкс с затратой энергии 6 мА, при переходе на 32 МГц внешний кварцевый резонатор (точки 2-3) потребления энергии возрастает до 7,5 мА на протяжении 1,7 мс. После того, как микроконтроллер входит в рабочий режим, происходит прослушивание эфира (RX mode) для поиска сигнала координатора БСС на протяжении 1,2 мс со значительно большей затратой энергии 27 мА. Далее узлу необходимо связаться с координатором сети и он переходит в режим передачи, но не мгновенно, а через некоторое время, равное 0,2 мс с затратой энергии в 14 мА (точки 4-5 на рис. 2). При передаче сообщений тратится больше всего энергии источника питания, а именно 32 мА на протяжении 0,5 мс. После передачи происходит переключение из режима передачи на режим прослушивания эфира (точки 6-7) за 0,2 мс с затратой энергии равной 25 мА. Далее происходит снова прослушивание эфира с затратой энергии, равной 23 мА в течении 0,35 мс. Точки с 8 по 9 показывают процесс окончания прослушивания эфира и установления адреса узла. При переходе с точки 9 в точку 10 узел переходит в спящий режим. В спящем режиме CC2530 тратит 1 мкА в 1 с. Таким образом видно, что основная часть энергии тратится на прием, прослушивание и передачу данных, а не на обработку или сохранение данных.

Пример осциллограммы потребления тока сенсорным узлом при длительном режиме работы, что возможно при больших объемах передаваемых данных, приведен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что потребление тока сенсорным узлом, в зависимости от фазы обработки запроса, неравномерное на длительном промежутке времени. Как видно из осциллограммы, во время внутренней обработки узел потребляет около 15 мА. При прослушивании эфира потребление возрастает до 20 мА, а при передаче сообщения – до 22 мА. Все

значения потребления энергии узлом БСС будут зависеть от внутренней архитектуры самого узла. Как было отмечено и показано на рис. 1, узел БСС состоит из 5 основных компонентов. При этом микроконтроллер, трансивер и память могут изготавливаться и на одном кристалле, что способствует как миниатюризации самого узла БСС, так и снижению его энергопотребления.

Чтобы однозначно ответить, какие режимы работы нужно свести к минимуму, рассмотрим номинальное энергопотребление трансивера CC2530 [5], который представляет собой приемопередатчик и микроконтроллер (ядро MCS-51) на одном кристалле, табл. 1.

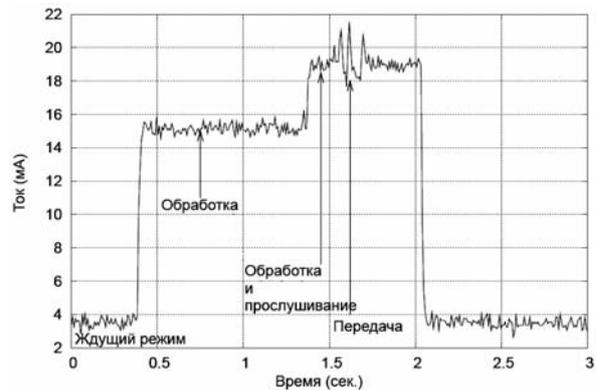


Рис. 3. Пример оциллограммы потребления тока сенсорным узлом в зависимости от фазы обработки запроса

Таблица 1

Номинальное энергопотребление трансивера CC2530 в разных режимах

Тип режима работы	Прослушивание эфира (Mode RX)	Отправка сообщений (Mode TX на 1 dBm)	Работа микроконтроллера	Режим пробуждения (на протяжении 4 мкс)	Спящие режимы
Потребление, мА	24	29	9	0,2	от 0,0004 до 0,001

Энергопотребление узла E_e за один цикл, исходя из проведенного анализа, можно определить как сумму энергий потребления:

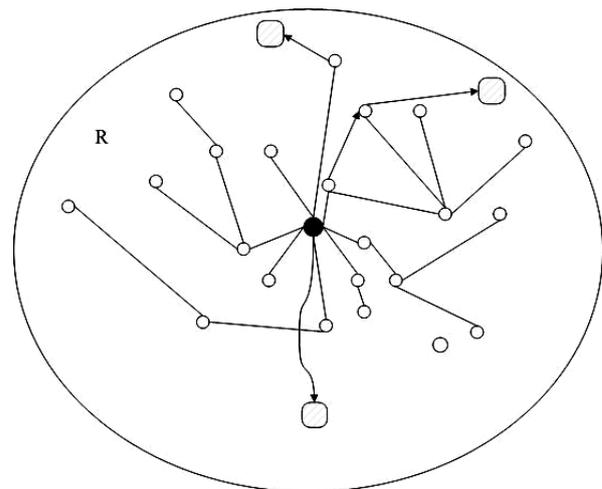
$$E_e = E_{step} + E_{MCU} + E_{rcv} + E_{trans} + E_{ather}, \quad (1)$$

где E_{step} – энергия, потребляемая узлом в фазе сна; E_{MCU} – энергия, потребляемая узлом во время работы микроконтроллера или вычислительного ядра приемопередатчика при его отсутствии; E_{rcv} – энергия, потребляемая узлом во время приема; E_{trans} – энергия, потребляемая узлом во время передачи; E_{ather} – энергия, потребляемая узлом в других режимах (режим пробуждения и др.)

4. 2. Анализ энергопотребления маршрутизатора беспроводной сенсорной сети

Чтобы узнать энергопотребление маршрутизатора беспроводной сенсорной сети, необходимо определить, чем он отличается от оконечного узла БСС. Маршрутизатор БСС выполняет роль «мини координатора» в пределах доверенной ему области R, рис 4.

Из рис. 4 видно, что маршрутизатор может напрямую или через промежуточные узлы собирать информацию, а также координировать ее передачу. Следовательно принцип его энергопотребления такой как и у ОУ, но больше в результате более активного взаимодействия с узлами БСС.



- - агрегатор сети
- - маршрутизатор
- - узел БСС

Рис. 4. Область сети R в которой работу узлов координирует маршрутизатор

Энергопотребление маршрутизатора, за один цикл, можно определить из выражения (2):

$$E_r = E_e + \sum_{m=1}^k E_m + \sum_{a=1}^a E_a, \quad (2)$$

где E_e – энергия, потребляемая маршрутизатором для связи с координатором; E_m – энергия, потребляемая маршрутизатором для связи с подчиненными ему узлами БСС в количестве m; E_a

– энергия, потребляемая маршрутизатором для связи с агрегатором сети.

В выражении (2) величина значения R будет влиять, в основном, на E_m . Чем больше R тем больше E_m будет тратиться для связи удалённого узла с маршрутизатором.

Для минимизации энергопотребления в БСС может быть использован метод агрегации данных. Из рис. 4 видно, что кроме маршрутизатора и конечных узлов возможно наличие агрегатора сети в области R. В том случае, когда координатору требуется определить интегральную характеристику для какого-либо участка сети, один из узлов этого участка назначается агрегатором. Агрегатор собирает с остальных узлов участка частные значения

определяемой характеристики, вычисляет агрегатную функцию и передает это значение координатору сети. При этом общие затраты на передачу информации существенно ниже, чем при отсутствии агрегатора. Из рис. 4 видно, что некоторым узлам БСС проще передать сообщение агрегатору сети, чем передавать его своему маршрутизатору.

4. 3 Расчет среднего энергопотребления узлов и определение их эффективности

Для определения среднего энергопотребления узлов в сети необходимо определить циклы работы, которые присутствуют в БСС. Основной цикл работы приведен на рис. 5

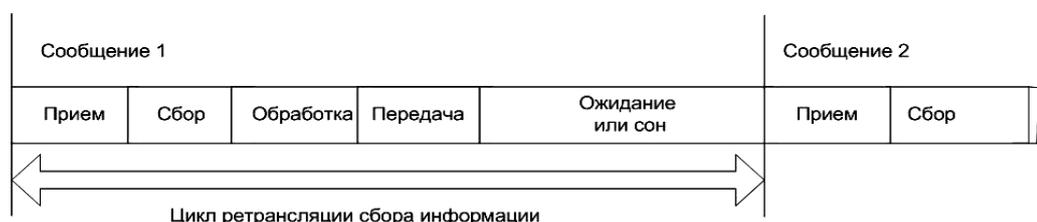


Рис. 5. Основной цикл работы узла БСС при передаче сообщения или пакета данных

Кроме основного цикла работы узла БСС существует ряд других, но исходя из имитационного моделирования [15] и практических исследований [3, 16] их влиянием на энергопотребление всей сети можно пренебречь. Для оценки эффективности алгоритмов сбора информации и используемых в БСС протоколов маршрутизации требуется знать время жизни и энергопотребление узла и сети в целом. Величина энергопотребления зависит от множества факторов, поэтому, для того чтобы оценить время жизни сети используют модели энергопотребления [17], способные реалистично описать потребление энергии сетью.

Энергопотребление всей сети БСС представим выражением (3):

$$E_{wsn} = \sum_{k=1}^k E_k + \sum_{r=1}^r E_r + \sum_{e=1}^e E_e, \quad (3)$$

где E_k – энергия, потребляемая координатором БСС, $k=1$; E_r – энергия, потребляемая маршрутизаторами r ; r – количество роутеров в сети; E_e – энергия, потребляемая конечным устройств e ; e – количество конечных устройств в сети.

Выражения (1)–(3) показывают, на что тратят энергию источники питания, конечные устройства, маршрутизаторы и вся БСС.

Анализируя рис. 5 видно, что основной цикл работы узлов повторяется. Передача 1-го сообщения, как правило, проходит за один цикл во время цикла активности сети.

Определим энергопотребление сети с учетом циклов активности и времени их работы:

$$E_{wsn_all} = \sum_{k=1}^k E_k \cdot T_k + a \cdot \left(\sum_{r=1}^r E_r \cdot T_r + \sum_{e=1}^e E_e \cdot T_e \right), \quad (4)$$

где a – число циклов активности сети; T_k – время, затраченное на работу координатора; T_r – время, затраченное на работу r -того маршрутизатора во время цикла активности; T_e – время, затраченное на работу e -того конечного узла во время цикла активности.

Обычно время жизни сети определяется временем жизни устройства, которое первым выйдет из строя. Рассчитаем время жизни сети, если батарея имеет заряд E_{bat} , то времени жизни всей сети:

$$T_{life} = \frac{E_{bat}}{E_{wsn}} T_a = \frac{E_{bat}}{E_{wsn_all}}, \quad (5)$$

где T_a – время циклов активности сети.

5. Апробация результатов исследований

Механизмы уменьшения потребления энергии узлом БСС зависят от модели сбора информации. Также на потребление энергии узла влияет алгоритм работы узла, построенный по модели сбора информации.

Результаты исследования представляют собой интерес именно с точки зрения описания реального потребления сети. Экспериментальные данные для работы взяты с источников [3,5].

Величина энергопотребления зависит от множества факторов, поэтому, для того чтобы оценить время жизни сети, используют модели энергопотребления, способные реалистично описать потребление сети. Предложенные идеи проверены на адекватность с помощью имитационного моделирования в системе Castalia [15]. Также предложенный подход к анализу энергопотребления БСС был апробирован на молодежном форуме

“Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке” (2013 год) и получил положительный отзыв.

При помощи предложенного подхода к анализу энергопотребления узлов БСС и имитационного моделирования можно получить оценку характеристик сети без дорогостоящего натурального моделирования и определить применимость модулей различных производителей для проектируемой сети.

6. Выводы

Энергопотребление – ключевой параметр качества работы БСС, поэтому вопрос о его расчете при создании подобных систем возникает одним из первых. В статье проведен анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей. Приведена методика расчета энергопотребления оконечных узлов, маршрутизатора, также дан расчет времени жизни сети. Данная работа будет полезна при выборе аппаратного обеспечения для построения БСС.

Литература

1. Терентьев, М. Н. Метод функционирования систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей [Текст]: дис. ... к. т. н.: 05.13.15 / М. Н. Терентьев. – М., 2010. – 154 с.
2. Иванова, И. А. Определение периметра зоны покрытия беспроводных сенсорных сетей [Текст] / И. А. Иванова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 10. – С. 25–30.
3. Measuring Power Consumption of CC2530 With Z-Stack [Electronic resource] / Texas Instruments Application Note AN079. – Available at: <http://www.ti.com/lit/an/swra292/swra292.pdf> – 10.06.2014 г. – Title from the screen.
4. Власова, В. А. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / В. А. Власова, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13–17.
5. Second Generation System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / RF4CE / ZigBee [Electronic resource] / Texas Instruments. – Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf> – 15.06.2014. – Title from the screen.
6. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [Electronic resource] / IEEE Std. 802.15.4-2009. – Available at: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-2009.pdf> – 11.06.2014. – Title from the screen.
7. Галкин, П. В. Особенности реализации беспроводных сенсорных сетей на основе технологии ZigBee [Текст]: матер. VI междунауч.-практ. конф. / П. В. Галкин, Д. В. Карловский // Aktualne problemy nowoczesnych nauk - 2010. – 2010. – № 31. – С. 7–11.
8. Chen, Y. Energy-balancing multipath routing protocol for wireless sensor networks [Text]: proc. of the 3rd intern. conf. / Y. Chen, N. Nasser // Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks QShine '06. – 2006. – Vol. 21. – P. 245–249. doi: 10.1145/1185373.1185401
9. Баскаков, С. Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic [Текст] / С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – № 1. –

С. 28–31.

10. Интеллектуальные беспроводные сенсорные сети MeshLogic [Электронный ресурс] / Компания «МешЛоджик». – Режим доступа: <http://www.meshlogic.ru> – 26.08.2014 г. – Загл. с экрана.
11. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. [Текст] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб.– Питер, 4-е издание, 2010. – 943 с.
12. Киреев, А. О. Распределенная система энергетического мониторинга беспроводных сенсорных сетей [Текст] / А. О. Киреев, А. В. Светлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 60–65.
13. Таганова, А. А. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации [Текст]: справ. / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. – 264 с.
14. Краморенко, Е. Г. Понижение энергопотребления сенсорных сетей за счет предварительной компрессии данных [Текст]: матер. к IV Всеукр. науч.-техн. конф. / Е. Г. Краморенко, М. В. Привалов // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг 2013. – Донецк, ДонНТУ, 2013. – С. 364–369.
15. Галкин, П. В. Адекватность моделей беспроводных сенсорных сетей в средах имитационного моделирования [Текст] / П. В. Галкин, А. С. Борисенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 9 (64). – С. 52–55.
16. Галкин, П. В. Исследование влияния лесных массивов на дальность связи в сетях ZigBee [Текст] / П. В. Галкин, Л. В. Головкина, А. С. Борисенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 3, № 2 (51). – С. 4–9.
17. Пушкарев, О. Использование конечных спящих узлов в сети ZigBee [Текст] / О. Пушкарев // Электронные компоненты. – 2011. – № 5. – С. 91–95

References

1. Terentev, M. N. (2010). The method of operation of systems for monitoring the parameters of objects with configurable based on discrete wireless sensor networks. Dissertation, 154.
2. Ivanova, I. A (2010). Defining the perimeter coverage of wireless sensor networks. Industrial process control, and controllers, 10, 25–30.
3. Measuring Power Consumption of CC2530 With Z-Stack (2012). Texas Instruments Application Note AN079, 1–18. Available at: <http://www.ti.com/lit/an/swra292/swra292.pdf>
4. Vlasova, V. A., Zelenin, A. N. (2012). Analysis of the energy cycle nodes of wireless sensor networks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9), 13–17.
5. Second Generation System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / RF4CE / ZigBee (2014). Texas Instruments, 1–34. Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>
6. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (2009). IEEE Std. 802.15.4-2009, 1–39. Available at: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-2009.pdf>
7. Galkin, P. V., Karlovsky, D. V. (2010). Features of realization of off-wire sensory networks on the basis of technology of ZigBee. VII Międzynarodowej naukow-

praktycznej konferencji «Nauka i inowacja-2011», 31, 7–11.

8. Chen, Y., Nasser, N. (2006). Energy-balancing multipath routing protocol for wireless sensor networks. Proceedings of the 3rd international conference on Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks QShine'06, 14, 245–249. doi: 10.1145/1185373.1185401.

9. Baskakov, C. (2010). Evaluation of the energy consumption of wireless nodes in the network MeshLogic. Wireless technologies, 1, 28–31.

10. Intellectually wireless sensor networks MeshLogic (2014). MeshLogic Available at : <http://www.meshlogic.ru>

11. Olifer V. G., Olifer N. A. (2010) Principles, technologies and protocols. Piter, 4, 943.

12. Kireyev, A. O., Svetlov A. C (2011). Distributed system for energy monitoring of wireless sensor networks. News SFU. Technical science, 5, 60–65

13. Taganova, A. A., Bubnov, S. I., Orlov, S. B. (2005). Sealed chemical current sources: Elements and batteries. The equipment for testing and operation, 264.

14. Kramarenko, E. G., Privalov, M. V. (2013). Reduction of energy consumption in sensor networks for the expense of pre-compression data. Information control systems and computer monitoring of 2013. The collection of materials of the IV all-Ukrainian scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists, 364–369.

15. Galkin, P. V., Borisenko, A. S. (2013). Adequacy of model wireless sensor networks in imitation simulation tools. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9), 52–55.

16. Galkin, P. V., Golovkina, L. V., Borisenko, A. S. (2011). Investigation of the influence of forests on the range of communication networks ZigBee. East European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2), 4–9.

17. Pushkarev, O. (2011). The use of end-sleeping nodes in a ZigBee network. Electronic components, 5, 91–95.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Владимир М. К.
Дата надходження рукопису 29.08.2014*

Галкин Павел Викторович, ассистент, кафедра проектирования и эксплуатации электронных аппаратов Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: galkinletter@ukr.net

УДК 658.62.018:004.9

МОДЕЛЬ СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ДОБЫЧИ ГАЗА

© Л. И. Нефёдов, М. В. Шевченко, О. Н. Кудырко

В статье разработана модель структурно-топологического синтеза территориально-распределенной системы мониторинга добычи газа. Разработанная модель отражает особенности многоуровневой централизованной системы мониторинга добычи газа от забоя до газосборника по многим критериям. Ключевые слова: добыча газа, мониторинг, качество, модель, синтез, территориально-распределенная, структурно-топологический.

In the article the structural-topological synthesis model of geographically distributed gas extraction monitoring system has been developed. The developed model is representative of the multi-level centralized of gas production monitoring system from the bottom hole to the gasholder by many criteria.

Keywords: gas extraction, monitoring, quality, model, synthesis, geographically distributed, structural - topological.

1. Введение

В условиях глобализации мирового рынка проблема качества продукции, а особенно стратегической, становится сегодня все более актуальной, поскольку только высококачественная продукция может быть конкурентноспособной. Соответственно активно развиваются методы и методики оценивания качества продукции, а также проектирования и создания систем управления качеством, которые смогут реализовать разрабатываемые методы оценивания качества на практике.

2. Постановка проблемы

Сегодня эффективность и экономичность функционирования газодобывающих предприятий, в том числе перерабатывающих комплексов, является важнейшим фактором снижения затрат и повышения

надежности поставок качественного газа. Такой результат достигается за счет совершенствования технологии управления процессами добычи и переработки газа и внедрения в процессы управления качеством стандартов, которые способствуют принятию процессного подхода при разработке, внедрении и улучшении результативности системы управления качеством с целью повышения удовлетворенности заказчика выполнением его требований [1]. Одной из важнейших задач планирования и управления такими системами является задача синтеза территориально-распределенной системы мониторинга качества добычи газа, которая будет осуществлять мониторинг качества газа при добыче в системе от забоя через обсадную колонну в газосборник сети [2] при заданных показателях качества и объема газа на выходе из системы. Некоторые особенности при