

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ СТАНДАРТА WIRELESSHART В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ЗДАНИЙ

В.В. Абдуллин

EXPERIMENTAL NETWORK ANALYSIS OF WIRELESSHART STANDARD IN THE SYSTEMS OF AUTOMATIC ENERGY MANAGEMENT OF BUILDINGS

V.V. Abdullin

Рассматривается техническая возможность применения коммуникационного стандарта WirelessHART для организации цифровой беспроводной связи в распределенных сетях автоматизированных систем энергетического менеджмента зданий. Приводится детальное описание постановки и хода выполнения проведенных экспериментов. На основе анализа результатов экспериментов сделаны основные выводы и сформулирован ряд ограничений в применении стандарта WirelessHART в указанных системах.

Ключевые слова: энергетический менеджмент, беспроводная связь, беспроводные сенсорные сети, WirelessHART, автоматизация зданий.

The article considers the technical capability of communication standard WirelessHART application to organize digital wireless communication in distributed networks of automatic systems of energy management in buildings. Detailed description of performed experiments procedure is given. On the basis of analysis of experimental results basic conclusions are made and a number of restrictions in standard WirelessHART application in specified systems is formulated.

Keywords: energy management, wireless communication, wireless sensor network, WirelessHART, automation of buildings.

Введение

Вопросы энергетической безопасности и эффективности актуальны в современном обществе и поэтому привлекают внимание специалистов во многих странах мира. В частности, принятие Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» [1] ознаменовало новый этап государственной политики России в области энергосбережения. За принятием закона последовал выпуск большого количества нормативно-правовых актов, регистрация саморегулируемых организаций в области энергоаудита. В 2010 г. была принята Государственная программа энергосбережения. Итогом стала консолидация указанных мер в рамках единого термина «энергомeneджмент». Одним из последних событий мирового значения стало появление в 2011 г. международного стандарта ISO 50001:2011 «Система энергетического менеджмента – Требования с руководством по эксплуатации» [2].

Беспроводные сенсорные сети для энергоменеджмента

Актуальным вопросом технической составляющей энергоменеджмента является поиск среды передачи данных, обладающей высокой надежностью при низкой стоимости оборудования. Перспективным направлением является использование беспроводных сенсорных сетей (БСС). БСС обеспечивают дуплексную связь в радиусе 10–70 м со скоростью передачи 250 кбит/с. Их ключевой особенностью является поддержка многократных ретрансляций, существенно увеличивающих радиус распространения сети. При отсутствии проводной инфраструктуры при помощи БСС возможно быстро и с минимальными затратами на коммуникации построить сеть передачи данных. Указанные особенности положительно сказываются на применении беспроводных сенсорных сетей для энергоменеджмента зданий.

Постановка экспериментов

Нами было проведено экспериментальное исследование работы оборудования стандарта Wire-

Абдуллин Вильдан Вильданович – аспирант, сотрудник кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет; vildan@ait.susu.ac.ru

Vildan Vildanovich Abdullin – postgraduate student, a member of Automation and Control Department of South Ural State University; vildan@ait.susu.ac.ru

lessHART в многоэтажных зданиях. Цель данного исследования заключается в определении принципиальной возможности построения систем автоматизированного энергоменеджмента жилых и административных зданий. В рамках данного исследования в марте 2012 года был проведен ряд экспериментов. Основные эксперименты проводились в строящемся крупнопанельном доме 97 серии (прим. 1). Также ряд экспериментов был проведен в каркасном административном здании с внутренними перегородками из шлакоблока (примеч. 2).

Нами были созданы полунатурные оконечные устройства, состоящие из встраиваемых коммуникационных модулей *XDM2510HP* производства *RF Monolithics* (США), и ПЭВМ с программным обеспечением собственного изготовления, эмулирующим работу прикладного контроллера. Взаимодействие натурной (модули) и имитационной (эмулятор приложения) частей осуществляется через интерфейс USB посредством интерфейсных плат из комплекта разработчика *XDM2510HDK*, выпускаемого производителем коммуникационных модулей. Сбор данных осуществляется на устройство *XG2510HE* производства *RF Monolithics* (США), объединяющее в себе координатор сети WirelessHART и шлюз в сеть Ethernet. Для радиосвязи использовались ненаправленные антенны с коэффициентом усиления 2,1 дБи. Все коммуникационное оборудование, использованное в экспериментах, серийного производства и промышленного назначения.

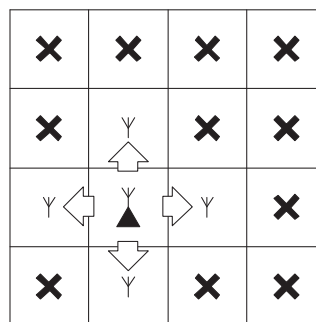
Основные задачи, решаемые при проведении опытов, заключались в определении реальных значений следующих показателей: дальность связи в пределах здания; задержки при передаче информации по сети WirelessHART; время, требуемое на инициацию (самоорганизацию) сети.

Ход проведения и результаты

Прежде всего, нами была установлена допустимая для устойчивой работы радиосети взаимная удаленность сетевых узлов. Заметим, более высокий коэффициент затухания в железобетоне в сравнении с затуханием в воздухе приводит к тому, что перемещение узлов в пределах небольших помещений (линейные размеры которых не превышают значений 5–7 м) не влияет на качество и стабильность связи. Влияние начинает ощущаться на расстояниях более 10 м, это было установлено в серии экспериментов в административном здании. Поэтому ключевым фактором при определении допустимой взаимной удаленности сетевых узлов в пределах крупнопанельного жилого дома является не расстояние между узлами, а количество стен и перекрытий. На основании данного вывода было решено в данной серии экспериментов пренебречь размерами помещений.

Было установлено, что стабильная связь сохраняется при прохождении сигнала через 1 стену либо 1 межэтажное перекрытие (рис. 1). Здесь

символ «антенна» означает наличие связи, а символ «X» – отсутствие связи с данным помещением. При прохождении через 2 и более стены или перекрытия связь теряется. Устойчивую связь невозможно обеспечить и при вертикальном диагональном расположении узлов, т. е. в случае расположения узлов на соседних этажах здания со смещением в 1 и более стену. Данные выводы также отражены на рис. 1.



▲ – узел отсчета; ∇ – наличие связи;
X – отсутствие связи

Рис. 1. Связь через стены и перекрытия

На рис. 2 представлена схема сбора данных для индивидуального побатарейного учета и регулирования тепла. На основании сделанных выводов была рассчитана точка оптимального местоположения этажного узла сбора данных (на рис. 2 отмечена буквой «К»), которое обеспечивает оптимальную удаленность (количество ретрансляций) до всех узлов (для исследуемого подъезда – не более 4 ретрансляций).

Стандарт WirelessHART позволяет построить сеть числом ретрансляций до 255, что в большинстве случаев, включая автоматизированный энергоменеджмент зданий, является избыточным. Это позволяет построить внутри здания сеть из равноправных узлов-ретрансляторов с топологией трехмерной матрицы, горизонтальный срез которой представлен на рис. 2, а в вертикальном срезе узлы располагаются в ряд (по стоякам коммуникаций). Матричное строение позволяет передавать информацию как вертикально (по стоякам), так и горизонтально (в пределах этажа), что оптимально при частых коммуникациях близлежащих узлов. Для наиболее распространенного при энергоменеджменте здания случая централизованного сбора или рассылки информации узлом-шлюзом такая структура связей малоприменима ввиду ряда ограничений, которые рассмотрены далее.

Также были измерены временные параметры:

– задержки в прохождении информации $t_{\text{зад}}$,

т. е. время, требуемое на квитированную передачу информации от источника к получателю посредством некоторого количества ретрансляций $n_{\text{ретранс}}$;

– время присоединения $t_{\text{присоед}}$, т. е. время, требуемое для присоединения к сети узла, находящегося на расстоянии $n_{\text{ретранс}}$ от координатора.

Измеренные значения, полученные в ходе проведения экспериментов, сведены в таблицу.

На рис. 3 представлены значения задержек из таблицы, экстраполированные до значения в 10 ретрансляций. Следует заметить, данные получены методом экстраполяции и носят предварительный и оценочный характер. В ходе дальнейших экспериментов планируется подтвердить полученные значения на практике.

Анализ результатов эксперимента и выводы

На основе полученных в ходе экстраполяции данных можно сделать следующие выводы:

- с ростом числа ретрансляций непременно растет время доставки сообщения от отправителя к получателю, при 10 ретрансляциях задержка может достигать значения в 35–90 с;
- при увеличении числа ретрансляций в ре-

зультате роста радиуса сети увеличивается значение $t_{\text{присоед}}$, его значение при 10 ретрансляциях может достигать 1400 мин, что соответствует 23,3 ч.

Рост $t_{\text{зад}}$ и $t_{\text{присоед}}$ главным образом обусловлен энергосберегающим режимом работы сети WirelessHART, который подразумевает нахождение узлов сети в режиме сна до 99 % времени рабочего цикла $t_{\text{р.ц}}$ (рис. 4). Узлы переходят в активное состояние лишь на малые периоды времени $t_{\text{акт}}$, между которыми следуют длительные периоды сна $t_{\text{сн}}$. Увеличение доли $t_{\text{акт}}$ в $t_{\text{р.ц}}$ может привести к уменьшению значений $t_{\text{зад}}$ и $t_{\text{присоед}}$, что в целом окажет положительное влияние на динамику работы сети. Однако вместе с тем увеличивается энергопотребление, что негативно влияет на автономность устройств с батарейным питанием. На практике это не позволяет строить централизованные сети большого размера (в 20 и более ретрансляций), так как узлы, находящиеся в непо-

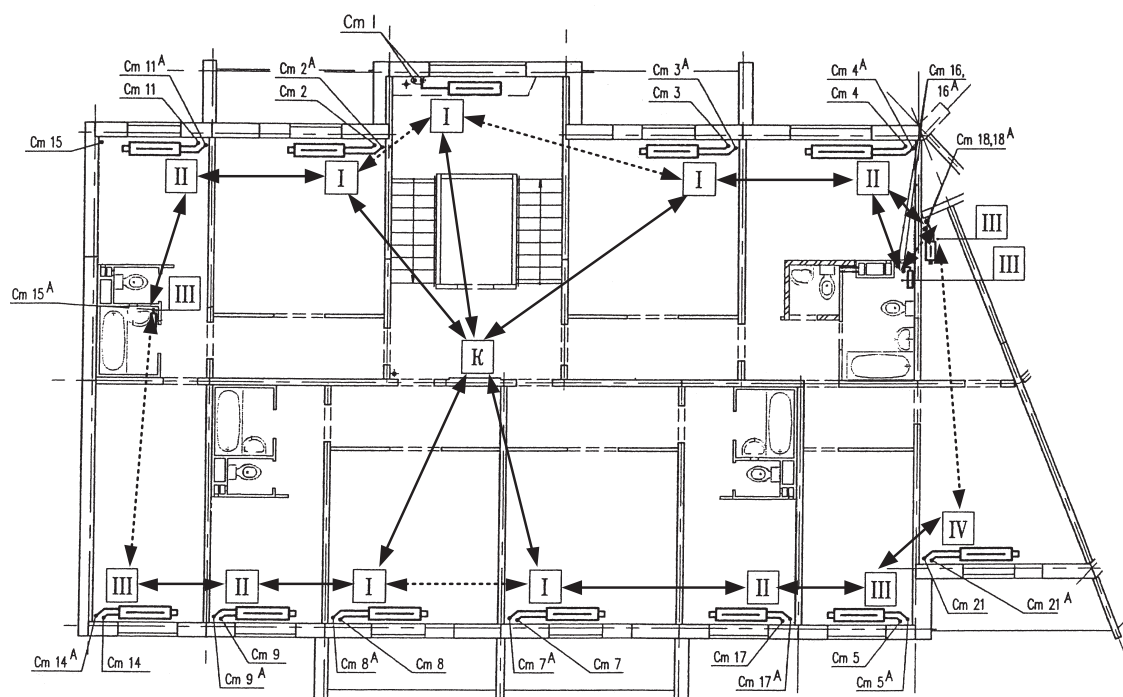


Рис. 2. План этажа с размещением узлов сети

Экспериментальные значения временных параметров

$n_{\text{ретранс}}$	1	2	3	4
$t_{\text{зад. ср}}, \text{с}$	1	6	12	23
$t_{\text{зад. min}}, \text{с}$	0,5	5	8	11
$t_{\text{зад. max}}, \text{с}$	3	8	16	40
$t_{\text{присоед}}, \text{мин}$	1	5	12	35

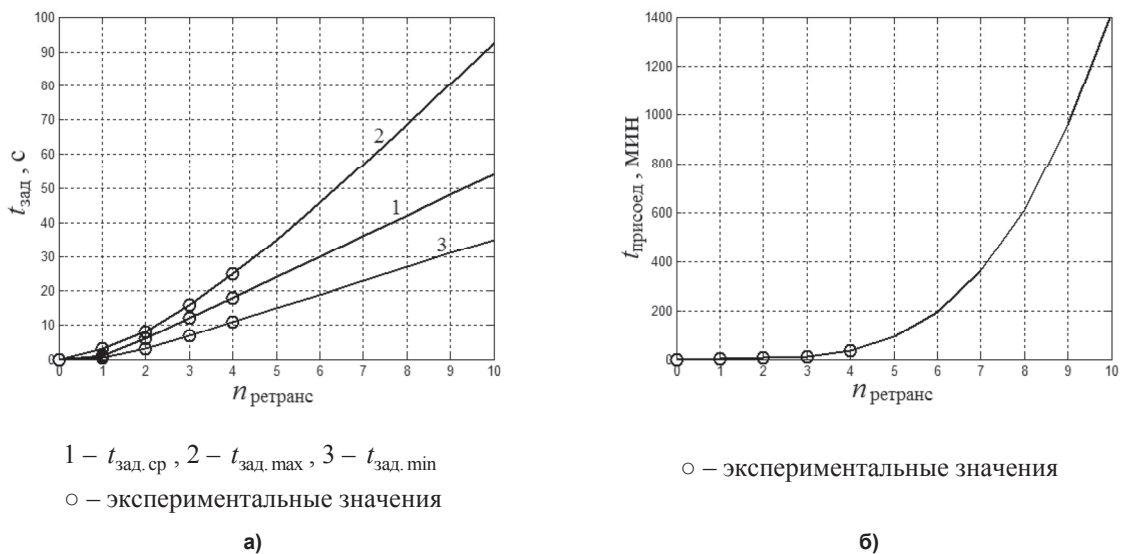


Рис. 3. Временные параметры сети

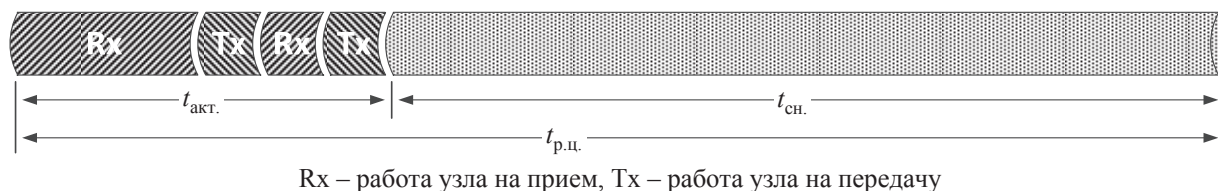


Рис. 4. Рабочий цикл узла WirelessHART

средственной близости от шлюза, значительно чаще осуществляют ретрансляцию данных от других узлов, и это, с одной стороны, негативно влияет на ресурс работы батарей данных узлов, с другой стороны, существенно ограничивает пропускную способность сети. Выходом из данной ситуации может послужить внедрение узлов с электропитанием от сети, которые являлись бы локальными концентраторами для групп устройств с батарейным питанием. Увеличение доли $t_{\text{акт}}$ в $t_{\text{р.ц}}$ с одновременным уменьшением абсолютного значения $t_{\text{р.ц}}$ в настройках локальных концентраторов позволит организовать в беспроводной сети высокоскоростной магистральный канал передачи данных. Однако эффективность данного метода нужно подтвердить на практике.

Заключение

На наличие и качество связи внутри зданий количество стен и перекрытий оказывают существенно большее влияние, чем расстояние между узлами. Также существенное влияние на дальность связи оказывает материал стен и перекрытий. К примеру, в панельных домах 97 серии устойчивая радиосвязь обеспечивается только через 1 стену или 1 межэтажное перекрытие, в то время как при прохождении сигнала через стены из шлакоблока наблюдается значительно меньшее затухание.

С увеличением радиуса сети и ростом числа ретрансляций увеличиваются время доставки сообщения от отправителя к получателю и время, требуемое для присоединения к сети новых узлов. Требуется оптимизировать топологию сети таким образом, чтобы минимизировать количество ретрансляций в сети.

Для предотвращения нежелательного уменьшения ресурса элементов питания узлов, находящихся вблизи осуществляющего сбор данных шлюза, возможна установка узлов с сетевым питанием, осуществляющих магистральную маршрутизацию данных. Альтернативным решением проблемы является оптимизация системы маршрутизации в сети и внедрение системы альтернативных маршрутов, позволяющих уравнивать нагрузку на расположенные в различных частях сети узлы.

Учитывая вышеизложенное, считаем применение беспроводных сенсорных сетей в системах автоматизированного энергоменеджмента зданий возможным и целесообразным при условии корректного проектирования топологии и достаточной плотности расположения узлов.

Примечания

1. Эксперименты проводились в марте 2012 г. в строящемся жилом доме. На момент проведения испытаний жилой дом находился на завершающей стадии строительства – велась внутренняя отделка. Строитель-

ный адрес объекта на момент написания статьи: 454100, г. Челябинск, ул. Бейвеля, 18/14.

2. Эксперименты проводились в январе и марте 2012 г. в корпусах 3 Б, В Южно-Уральского государственного университета. Адрес объекта на момент написания статьи: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 87.

Литература

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]: [Федер. закон: принят Гос. Думой 11.11.2009 г.: по состоянию на 10.05.2011 г.]. – <http://graph-kremlin.consultant.ru/page.aspx?1;1034497>.

2. ISO/DIS 50001:2011. *Energy management systems – Requirements with guidance for use*. – Введ.

2010–08–26. – Geneva: International Organization for Standardization, 2010. – 29 с.

3. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 591 с.

4. Younis, O. An architecture for robust sensor network communications / Ossama Younis, Sonia Fahmy, Paolo Santi // *International Journal of distributed sensor networks*. – 2005. – Vol. 1. – Issues 3–4. – P. 305–327.

5. Абдуллин, В.В. Применение беспроводных сенсорных сетей для систем телеуправления и телеметрии инженерных объектов социальной инфраструктуры / В.В. Абдуллин // *Системы управления в информационных технологиях: сб.* – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011.

Поступила в редакцию 10 июля 2012 г.