

Исследование вариантов организации беспроводного взаимодействия приборов учета в составе комплекса учета энергоресурсов

А.О. Беляев, А.А. Легин

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы организации взаимодействия сети беспроводных приборов учета энергоресурсов и воды в автоматизированном комплексе. Представлена архитектура комплекса учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов на основании которой выделены ключевые моменты, влияющие на надежность системы. Произведен анализ различных вариантов организации множественного доступа к эфиру проанализированы достоинства и недостатки каждого из них.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов, беспроводная связь, технология множественного доступа к радиоканалу, прибор учета энергоресурсов.

Современные тенденции по внедрению концепции интернета вещей (IoT - Internet of Things) в бытовую электронную технику также затронули и отрасль жилищно-коммунального хозяйства (далее ЖКХ). Задача контроля и учета потребления энергоресурсов при помощи приборов учета снабженных беспроводным интерфейсом позволяет, используя автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (далее АСКУЭ), не только повысить качество самого процесса учета, но и прогнозировать нагрузку для ресурсоснабжающих компаний и поставщиков энергоресурсов [1, 2].

На текущий момент физический уровень для беспроводных каналов связи приборов учета нормативной документацией никак не регламентируется. Производители приборов учета предлагают частные решения, зачастую несовместимые с решениями конкурентов. В рамках выполнения совместного ОАО «НПП КП «Квант» и ФГАО ЮФУ проекта было решено разработать полную инфраструктуру системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды (далее Комплекс). При этом одним из ключевых моментов является наличие беспроводного канала радиосвязи между приборами учета и вышестоящими

(в иерархии Комплекса) устройствами. Архитектура комплекса показана на рис. 1. Нижним уровнем комплекса является уровень приборов учета, данный уровень ответственен за ввод в систему информации о потреблении энергоресурсов, а также дополнительной информации, повышающей надежность системы в целом (контроль вмешательств, журнал событий).

Данные с различных приборов учета поступают на концентраторы, обеспечивающие их подготовку и передачу на устройства обработки (серверы). При этом серверы 1-го уровня рис. 1 могут отсутствовать, или могут входить в состав инфраструктуры поставщиков услуг связи (сотовые операторы, интернет-провайдеры).

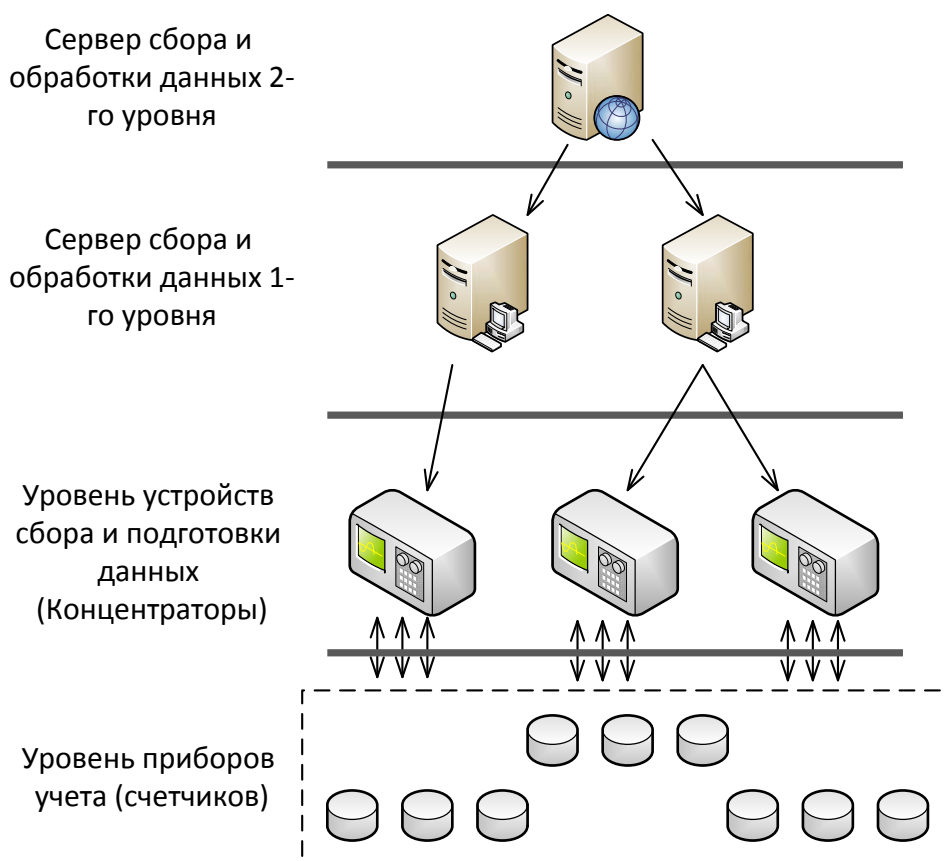


Рис. 1. – Архитектура Комплекса

Из всех устройств, входящих в состав Комплекса, только приборы учета имеют автономное питание (за исключением приборов учета потребления электроэнергии) без возможности периодической зарядки

встроенного элемента питания. Учитывая, что срок службы прибора учета должен составлять до 10 лет (срок службы устанавливается соответствующими стандартами на прибор учета конкретного типа), то задача обеспечения беспроводного взаимодействия между приборами учета и концентраторами приобретает ключевое значение для обеспечения функционирования Комплекса.

Основные функции, которые должен обеспечивать встроенный в прибор учета радиоканал: отправка данных о потреблении энергоресурса по запросу от концентратора, информирование концентратора о возникновении нештатной ситуации (выход из строя, вмешательство). Основное отличие описанных функции состоит в том, что в первом случае инициатором транзакции выступает концентратор, а во втором - прибор учета.

Рассматриваемая в контексте решаемой задачи топология сети представляет собой «звезду» [3], в центре которой расположен концентратор (К), рис. 2, а в вершинах - приборы учета (ПУ), рис. 2.

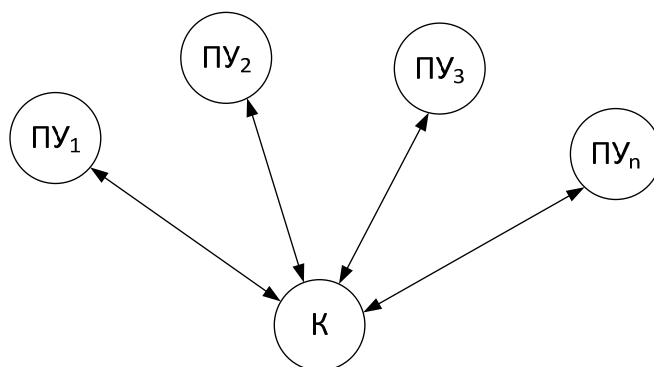


Рис. 2. – Топология беспроводной сети приборов учета

При выборе топологии также рассматривались и ячеистые сети, а именно их реализация на базе стека протоколов ZigBee [4]. Их самыми значимыми преимуществами является высокая надежность сети в целом, и как следствие гарантированная доставка сообщений. Однако, для функционирования сети ZigBee в ней должны присутствовать три типа устройств: координатор сети, маршрутизатор и конечные точки. При этом

роли маршрутизатора и конечной точки могут совмещаться в одном физическом устройстве, но для этого оно должно постоянно находиться «в эфире», режимы сна, в которых беспроводной трансивер выключен, допускаются только для конечных устройств. Учитывая, что в режиме приема и передачи трансивер потребляет сопоставимое количество энергии от источника питания, порядка 10 мА - 20 мА, то данная роль может быть реализована только в приборе учета электроэнергии. Так как обеспечить такую инфраструктуру (без введения в комплекс дополнительных устройств) невозможно, то использование ячеистых сетей признано непригодным для построения беспроводного взаимодействия в Комплексе.

Задачей концентратора (К) рис. 2 является съем данных, управление приборами учета (ПУ) рис. 2, предварительная подготовка полученных данных и дальнейшая передача подготовленных данных по каналам связи.

К приборам учета, как к устройствам с автономным питанием, предъявляются серьезные требования, касающиеся энергопотребления. Такие устройства должны долгое время работать от встроенного элемента питания без его замены. Как правило, такие устройства находятся в активном состоянии короткий промежуток времени, а большую часть времени находится в режиме пониженного энергопотребления. Современные устройства беспроводной передачи данных имеют низкое энергопотребление в режиме энергосбережения (единицы микроампер) и значительное в режиме передачи данных по радиоканалу (десятки миллиампер) [5].

На данный момент на рынке представлено множество различных беспроводных решений от различных производителей примером могут послужить беспроводные модули компании Nordic Semiconductor, Texas Instruments, Silicon Labs и др. Предлагаемая производителями продукция различна, от простых беспроводных модулей с минимальным набором периферии (nRF24LE1, CC430) до сложных многоядерных систем с

обширной и сложной периферией, которая например, может осуществлять различные измерения без участия основного ядра (CC2650). Поскольку такие беспроводные модули используются в приложениях с автономным питанием, производители стремятся к уменьшению энергопотребления их продукции. Энергопотребление современных беспроводных модулей в режиме пониженного энергопотребления достигает единиц микроампер, что позволяет работать от источников питания с малой емкостью. Однако потребление резко возрастает, когда модули осуществляют обмен данными по радиоканалу с базовой станцией. Отсюда возникает задача минимизировать время пребывания устройства в активном режиме и/или режиме передачи данных. Это можно осуществить, если устройство (ПУ) и концентратор будут осуществлять обмен данными в заранее известное время, т.е. обмен данными будет синхронизирован по времени [6].

Как было сказано выше, для минимизации энергопотребления необходимо реализовать синхронизацию по времени между приборами учета и концентратором. Если на энергопотребление концентратора не накладываются ограничения, то в этом случае задача упрощается и возможны несколько вариантов реализации.

Первый вариант заключается в том, что базовая станция находится постоянно в режиме приема, ожидая поступления данных от датчиков, через случайные промежутки времен [7]. Данный вариант прост в реализации, однако основным его недостатком является высокая вероятность возникновения коллизий, в случае если несколько устройств одновременно попытаются передавать данные [8]. Диаграмма взаимодействия представлена на рис. 3.

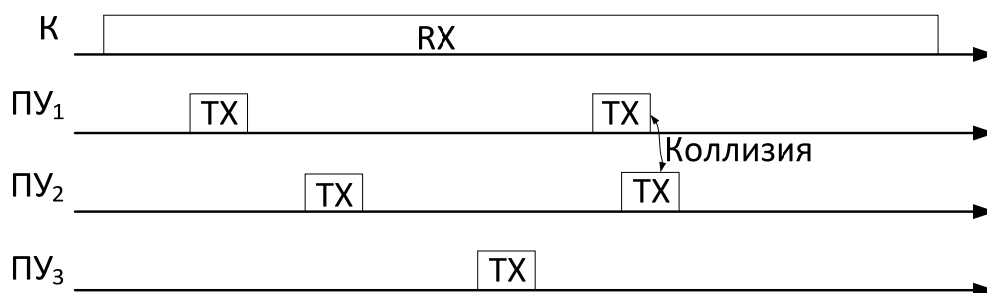


Рис. 3. – Реализация передачи данных по радиоканалу, когда концентратор всегда находится в режиме приема

Данная реализация эффективно работает, если количество устройств подключаемых к концентратору мало и коллизии возникают не часто. Алгоритм разрешения коллизий может быть реализован следующим образом: устройство при возникновении ошибок, перед повторной попыткой передать пакет, ожидает случайный интервал времени. Так же может быть использован механизм LBT (Listen Before Talk) - прослушивание эфира перед началом передачи, но данная опция должна поддерживаться трансивером на аппаратном уровне и по этой причине не всегда может быть использована. В тех же случаях, когда устройств много, то коллизии будут возникать часто и эффективность передачи данных снизится.

В случае если конечных устройств много, то для обмена данными с концентратором лучше использовать второй вариант реализации, когда концентратор постоянно опрашивает эфир, а прибор учета, когда готов к передаче данных, переходит в режим приема и ждет запроса от концентратора рис 3.

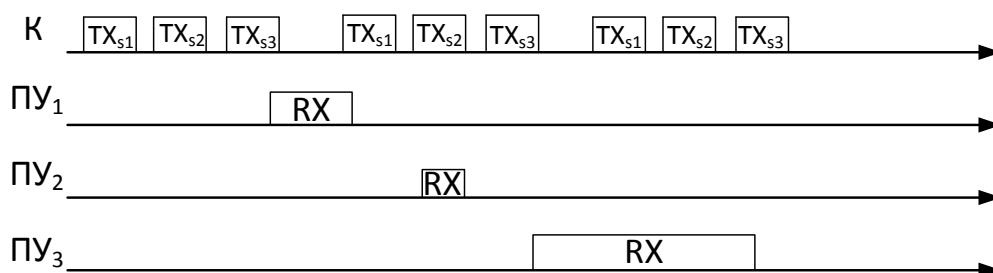


Рис. 4. – Режим обмена данными, когда концентратор опрашивает прибору

учета

У этого способа есть существенный недостаток: прибор учета будет находиться в режиме приема до тех пор, пока не получит запрос от концентратора, а это время будет определяться количеством приборов учета в сети (чем больше приборов учета тем больше времени затрачивается на их опрос). Следовательно, для минимизации энергопотребления необходимо сделать как можно меньше период опроса устройства, который помимо прочих параметров будет также определяться количеством опрашиваемых устройств. Достоинством является то, что устройства сами ничего не передают в эфир, а передача инициируется базовой станцией, что позволяет избежать коллизий.

Третий вариант является наиболее энергоэффективным среди рассмотренных. Суть его заключается в том, что и концентратор и приборы учета выходят в эфир по заранее определенному (на этапе сопряжения) расписанию [9, 10], диаграмма данного режима приведена на рис. 5.

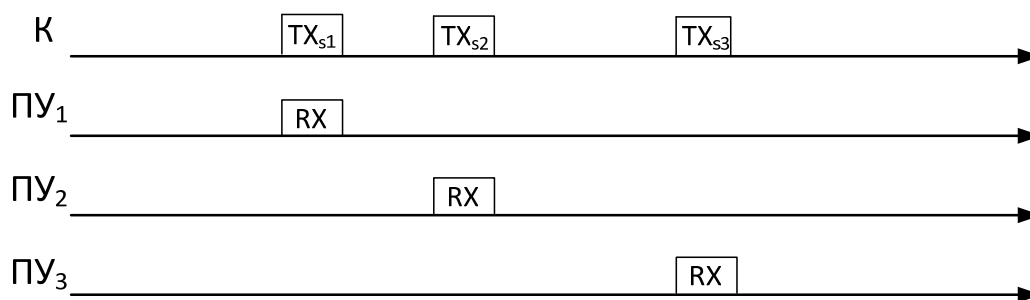


Рис. 5 – Обмен между базовой станцией и беспроводными устройствами в определенные моменты времени

В данном случае все устройства находятся в режиме радиообмена минимальное количество времени. Но его реализация требует жесткой синхронизации устройств по времени. Сложность заключается в том, что внутренние часы каждого устройства тактируются своим тактовым сигналом, как правило, это внешний стабильный по частоте часовой кварцевый резонатор. Однако ввиду нестабильности генераторов, уходы частоты

резонатора от температуры и прочих негативных факторов встроенные часы концентратора и приборов учета со временем будут расходиться. Для предотвращения срыва синхронизации необходимо при каждом обмене данными синхронизировать часы концентратора и прибора учета.

Очень важно при синхронизации времени во время обмена данными, учесть время, затрачиваемое на передачу и обработку сообщения содержащего временную метку, так как это потенциальный источник погрешности. Время обработки полученных данных в современных процессорах очень мало и им можно пренебречь, а вот время передачи данных по беспроводному каналу может занимать от сотен микросекунд до десятков миллисекунд, что приведет к погрешности установки времени. Для некоторых задач это может оказаться приемлемым, а для некоторых нет, в этом случае время передачи необходимо учесть и скорректировать значения часов на беспроводном устройстве.

Вне зависимости от качества синхронизации (погрешности), рассинхронизация при длительных перерывах между транзакциями все-таки может произойти, в этом случае необходимо каким-то образом снова синхронизировать прибор учета с концентратором. Одним из самых простых вариантов является способ, когда устройство переходит в режим постоянной «прослушки» эфира для приема пакета от концентратора, после чего переходит в штатный режим функционирования. Однако это крайне негативно будет влиять на энергопотребление, особенно если такие ситуации будут происходить часто. Другой способ заключается в выборе отдельной частоты, из рабочего диапазона, которая будет использоваться беспроводными устройствами для синхронизации с концентратором. При обнаружении прибором учета рассинхронизации (прибор учета несколько раз подряд по расписанию не получил запросов от концентратора), он переходит на специально отведенный частотный канал, принимает пакет

синхронизации, после чего возвращается в штатный режим. При этом пакет синхронизации является широкополосным и не требует подтверждения о получении, таким образом, синхронизация может быть выполнена любым прибором учета в любое время без нарушения работы остальных приборов.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что наиболее эффективным методом беспроводного взаимодействия приборов учета и концентратора является метод с временным и частотным разделением каналов. При этом частотное разделение используется для информационного канала и канала синхронизации, а временное разделение используется для обеспечения неперекрывающегося доступа приборов учета к эфиру. Инициатором транзакции в такой сети является концентратор, сам же прибор учета выходит в эфир только в том случае, если имеет данные для передачи. В такой сети время реакции системы на событие (например, вмешательство в работу прибора учета) обусловлено исключительно масштабом сети.

Дальнейшим направлением исследования при реализации беспроводных сетей приборов учета является частичный перенос принципов эпизодических (ad-hoc) сетей [11] для обеспечения надежности и гибкости формируемой сети без потери централизации.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010г. Исследования проводились в ФГАОУ ВО ЮФУ

Литература

1. К. И. Бушмелева, И. И. Плюснин, П. Е. Бушмелев, С. У. Увайсов. Оценка телекоммуникационной системы контроля утечек газа с

использованием системы массового обслуживания // «Вестник кибернетики», 2016, №1. - с. 81-86.

2. А.А. Широков, А.В. Кычкин, А.А. Клюкин. Автоматизация энергоучета жилищно-коммунального хозяйства. // «Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления», 2014, №2. - с. 78-88.

3. Yanan Zhang, Yongshou Dai, Hui Niu, Tengting Xie. A star low-power wireless sensor network design and analysis. // 4th IET International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMMN 2011), 2011, pp. 18-21.

4. Голубничая Е.Ю, Лихтциндер Б.Я. Временное планирование в кластерных беспроводных сенсорных сетях ZigBee. // «Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт», 2016, №1. - с. 5-9.

5. CC13xx, CC26xx SimpleLin Wireless MCU Technical Reference Manual. URL: ti.com/lit/ug/swcu117f/swcu117f.pdf.

6. Srivathsan R. Enhanced Genetic algorithm for solving broadcast scheduling problem in TDMA based wireless networks // 2010 Second International Conference on COMMunication Systems and NETWORKS (COMSNETS 2010), 2010. – pp .1–10.

7. Очеретин В.В. Метод устранения пустого трафика в технологии // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2408.

8. Легков К.Е., Донченко А.А. Вероятность потери пакета в беспроводных сетях со случайным множественным доступом к среде передачи // «Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт», 2011, №5. - с. 32-33.

9. Amdouni Ichrak, Soua Ridha, Livolant Erwan, Minet Pascale. Delay optimized time slot assignment for data gathering applications in wireless sensor



networks // 2012 International Conference on Wireless Communications in Underground and Confined Areas, 2012, pp. 1-6.

10. Du Peng, Roussos George. Adaptive time slotted channel hopping for wireless sensor networks. // 2012 4th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC), 2012, pp. 29-34.

11. Баринов В.В., Смирнов А.В., Мигалин Д.С. Модифицированный протокол канального уровня для высококомобильной эпизодической сети с направленными антеннами // Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/466.

References

1. K. I. Bushmeleva, I. I. Pljusnin, P. E. Bushmelev, S. U. Uvajsovju. Vestnik kibernetiki, 2016, №1, pp. 81-86.

2. A. A. Shirokov, A.V. Kychkin, A. A. Kljukin. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta, 2014, №2, pp. 78-88.

3. Yanan Zhang, Yongshou Dai, Hui Niu, Tengeng Xie. 4th IET International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMMN 2011), 2011, pp. 18-21.

4. Golubnichaja E. Ju, Lihtcinder B. Ja. T-COMM: Telekommunikacii i transport, 2016, №1, pp. 5-9.

5. CC13xx, CC26xx SimpleLin Wireless MCU Technical Reference Manual. URL: ti.com/lit/ug/swcu117f/swcu117f.pdf.

6. Srivathsan R. 2010 Second International Conference on COMmunication Systems and NETworks (COMSNETS 2010), 2010. pp .1–10.

7. Ocheretin V. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/ 2408.

8. Legkov K. E., Donchenko A. A. T-COMM: Telekommunikacii i transport, 2011, №5, pp. 32-33.



9. Amdouni Ichrak, Soua Ridha, Livolant Erwan, Minet Pascale. 2012 International Conference on Wireless Communications in Underground and Confined Areas, 2012, pp. 1-6.

10. Du Peng, Roussos George. 2012 4th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC), 2012, pp. 29-34.

11. Barinov V. V., Smirnov A. V., Migalin D. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/466.