

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УЧЕТА ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Е.В. Волошин (ПАО «Дальневосточная Энергетическая Компания»),
А.Н. Виноградов (ИАПУ ДВО РАН, ООО «Вира»),
Р.С. Кузнецов (ИАПУ ДВО РАН, ООО «Инфовира»)**

Описаны современные подходы для сбора данных при решении задач мониторинга и учета в системах тепло- и энергоснабжения. Рассмотрена система мониторинга температуры воздуха в морозильных камерах низкотемпературного склада портового холодильного комплекса с использованием беспроводной технологии передачи данных Lora WAN. Проведено тестирование беспроводных технологий и устройств в условиях реальной эксплуатации систем мониторинга и учета энергии. Сделаны выводы о возможности применения технологий Lora для «интеллектуального» учета.

Ключевые слова: беспроводные технологии, система мониторинга и учета энергии, протокол передачи данных.

Введение

В последние годы в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика РФ» отмечается интенсивный процесс перехода на современные технологии во всех отраслях экономики, в том числе водоснабжении, электро- и теплоэнергетике.

На базе ИАПУ ДВО РАН уже создана материально-техническая база и информационное обеспечение для практического применения цифровых технологий в теплоэнергетическом комплексе Приморского края. Информационно-аналитический центр (ИАЦ) [1] теплоэнергетического комплекса региона включен в 2009 г. торгово-промышленной палатой РФ в перечень перспективных инновационных проектов и разработок. На текущий момент в рамках инновационного проекта создан центр сбора, хранения, обработки и анализа данных, который позволяет получать результаты измерений более чем с 500 разнотипных приборов учета и регулирования (теплосчетчики, электросчетчики, контроллеры отопления и др.), установленных на тепловых пунктах объектов-абонентов теплоснабжения по всему Приморскому краю (промышленные предприятия, объекты ЖКХ, административные и медицинские учреждения, школы, детские сады и другие здания различного назначения). Основной интеллектуальной составляющей ИАЦ являются информационно-аналитические системы (ИАС) [2], которые объединяют умные датчики, устройства сбора и передачи данных со средствами долговременного хранения и анализа результатов измерений.

Области возможного использования информационно-аналитических систем:

- телеизмерение и телеуправление в системах электро-, тепло- и водоснабжения;
- коммерческий и технологический учет тепловой энергии и теплоносителя;
- автоматизация и диспетчеризация инженерных систем и сетей;
- техническая диагностика коммуникационного оборудования;
- метрологический контроль средств измерений;
- энергосбережение в промышленности и ЖКХ;

- образование в сфере информационных технологий;
- информационное обеспечение для выполнения научно-исследовательских работ.

Инновационные телекоммуникационные технологии [3], несомненно, являются основой для мониторинга, анализа и эффективного управления сложными техническими объектами и инженерными системами. Телекоммуникационные устройства нового поколения для создания систем учета энергии [4] позволяют не только получать результаты измерений с электро-, тепло- и водосчетчиков, но и самостоятельно передавать их в центр обработки и анализа данных в полном объеме без потери точности.

Сеть LPWAN

Одним из современных подходов для сбора данных является сеть LPWAN (Low-Power Wide-Area Network, энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия). Данная коммуникационная технология объединяет приборы учета через беспроводной канал с помощью базовых станций (БС), радиус действия каждой из которых составляет в среднем 5...6 км.

Наиболее важным в LPWAN-сети является технология связи на нижнем уровне между приборами учета и БС. Именно от выбранной технологии зависят как характеристики передачи данных, так и используемые модели оборудования. Для развертывания LPWAN-сети популярными технологиями являются Lora, NB-FI и Sigfox.

Одним из распространенных вариантов развертывания LPWAN-сети является протокол Lora (long range – большая дальность), к преимуществам которого относится помехоустойчивость, позволяющая сохранять передаваемые данные в условиях активных помех благодаря использованию ширины канала в 125 кГц.

Важнейшие особенности протокола Lora

1. Модуль Lora. Функции по приему и передаче данных заложены в специальные модули-микросхемы, которыми оснащаются БС и приборы учета. БС изначально разрабатываются на основе этих модулей. Однако уже созданные приборы учета для поддержки данного протокола либо оснащаются

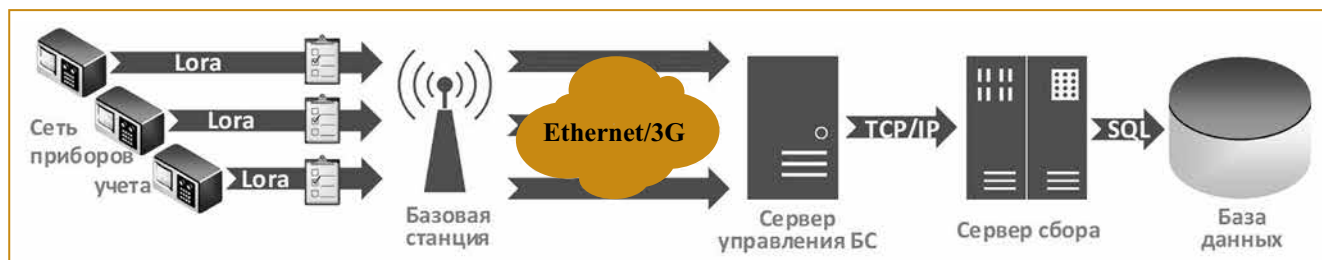


Рис. 1. Сбор данных с приборов учета в автоматическом режиме



Рис. 2. Сбор данных в ручном режиме с прибора учета

модулем, либо снабжаются внешним преобразователем для подключения через имеющиеся интерфейсы связи.

2. Автоматический режим передачи данных по инициативе приборов учета. Отличительной чертой технологии является схема передачи данных (рис. 1). В рамках традиционной схемы сбор данных с верхнего уровня осуществляется по инициативе серверной программы. Технология Lora предусматривает сбор данных по инициативе прибора учета согласно заранее сконфигурированному расписанию.

3. Ручной режим передачи данных по инициативе пользователя. При необходимости установить связь с конкретным прибором учета предусмотрена возможность установить временное соединение с прибором учета через специальную программу (рис. 2).

4. Энергоэффективность приборов учета. В рамках технологии приборы учета разделены на классы, самые распространенные из которых - «А» («засыпающие») и «С» («бодрствующие»). К классу «А» относятся простейшие приборы учета, такие как первичные датчики, измеряющие один или несколько параметров и работающие от собственного батарейного питания. Эти приборы периодически устанавливают соединение для передачи данных на верхний уровень и после завершения кратковременной сессии связи переходят в энергосберегающий режим. Поэтому энергии тратится меньше, и батарея работает до 10 лет. Однако с этих устройств невозможно собрать данные вручную, за исключением устройств с настраиваемым расписанием. К классу «С» относятся комплексные приборы учета, такие как электро- или теплосчетчики с постоянным питанием или с батареей повышенной емкости. Эти устройства все время находятся на связи, а для энергосбережения предусмотрена передача данных небольшими пакетами.

Апробация новой беспроводной технологии

Рассмотрим процесс тестирования технологии в ПАО «Дальневосточная энергетическая компания», где была разработана система сбора, состоящая из следующих компонентов: приборы учета, базовая станция, серверное оборудование и программное обеспечение.

В качестве приборов учета были использованы электросчетчики Меркурий 234 и 206 производства ООО «Инкотекс», ЦЭ2726 и ЦЭ2727 от ООО «СПБ ЗИП», СЕ304 от АО «Энергомера». Приборы учета подобраны как с внутренними модулями Lora производства ООО «Лартех», так и с внешними преобразователями СИ-13-485 с функциями первичных датчиков производства ООО «Вега-Абсолют». В качестве базовой станции была выбрана модель «БС 2.2» производства ООО «Вега-Абсолют». Качество сигнала до БС определялось с помощью прибора-тестера, входящего в комплект. На сервере управления установлены программные средства управления БС производства ООО «Вега-Абсолют» и ООО «Лартех». Автоматизированная система учета электроэнергии выполнена

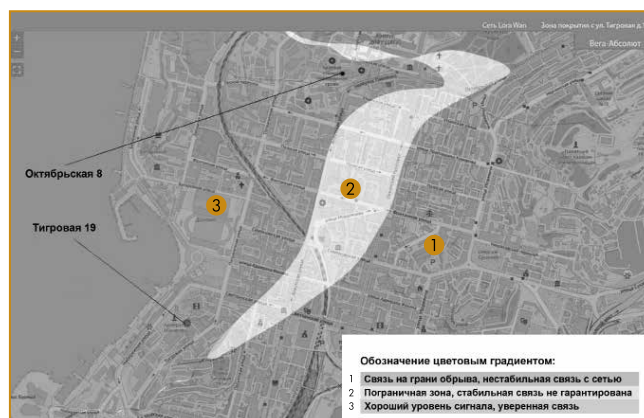


Рис.3. Качество сигнала при соединении с БС

на базе программного комплекса «Энфорс», который отображает собранные данные для пользователя через Web-интерфейс.

При эксплуатации тестовой системы обнаружены следующие особенности новой технологии.

Во-первых, рельеф местности существенно ограничивает площадь покрытия связи. В рамках тестовой эксплуатации с помощью тестера был замерен уровень сигнала на территории г. Владивостока между двумя сопками «Тигровая» и «Корейская», расстояние между которыми 1,5 км. БС была установлена на склоне сопки «Тигровая» на высоте 60 м над уровнем моря. Результат замеров приведен на рис. 3. Зеленая зона соответствует хорошей связи БС и тестера, желтая зона соответствует нестабильной связи, а в красной зоне связи нет. Проведя анализ зоны покрытия можно сделать вывод, что рельеф местности способен помешать технологии полностью реализовать свой потенциал по дальности действия.

Во-вторых, низкая скорость и малый размер пакета не позволяют передавать большой объем данных. Сужение канала связи характеризуется снижением скорости передачи данных, которая по мере удаления прибора учета от БС способна изменяться в диапазоне от 50000 бит/с до 300 бит/с. При этом время передачи одного пакета данных в ручном режиме в среднем возрастает от 4 до 30 с. Показательным моментом является опрос прибора учета СЕ304, установленного в подвальном помещении по адресу Октябрьская 8. Этот дом входит в зеленую зону и расположен на расстоянии 1 км от БС в прямой видимости. В ручном режиме время передачи одного пакета в 40 байт составило в среднем 20 с и регулярно сопровождалось повторными отсылками пакетов в связи с отсутствием отчетов о доставке.

В-третьих, низкая пропускная способность БС препятствует работе с приборами учета в режиме реального времени. Несмотря на возможность поддерживать тысячи коммуникационных каналов с приборами учета, БС способна обрабатывать пакеты данных не больше чем от 8 каналов одновременно. При этом в ручном режиме опроса один из восьми каналов БС выделяется для постоянной связи с прибором учета и остается занятым до завершения соединения. Следовательно опрос в ручном режиме осуществляется за счет уменьшения доступных каналов БС для автоматического опроса приборов.

В-четвертых, технология не позволяет удаленно обновлять программу модуля LoRa, с помощью которой на сервер управления отправляются данные с прибора учета. Для обновления программы необходим прямой доступ к прибору учета. Следовательно, технология не поддерживает режим беспроводного программирования over the air programming (OTAP) в рассмотренной конфигурации для тестирования модуля LoRa.

В-пятых, модули LoRa используют проприетарные особенности. Для принятия данных от приборов учета на сервере управления необходимо устанавливать программное обеспечение от производителя используемых модулей LoRa. Соответственно, если производителей несколько, то должно быть настроено несколько пакетов ПО, и выделены коммуникационные интерфейсы для каждой M2M платформы.

Полномасштабное применение технологии LoRa для интеллектуального учета требует от сетевых организаций развертывания и поддержки своих собственных LPWAN-сетей, что влечет большие расходы и трудозатраты. Следовательно, необходимо оценивать экономическую целесообразность создания своей сети нового поколения при существующей альтернативе использования уже созданной GSM сети.

Мониторинг температуры воздуха в морозильных камерах

Одним из требований технического регламента «О безопасности пищевой продукции» для организаций, связанных с пищевой промышленностью, является соответствие системе ХАССП (Hazard Analysis and Critical Control Points) — анализ рисков и критические контрольные точки. Для выполнения вышеуказанных требований на низкотемпературном складе портового холодильного комплекса, расположенного в г. Владивостоке, была внедрена автоматизированная информационная система мониторинга хранения продукции в морозильных камерах низкотемпературного склада (АИСМХП).

Основными целями создания автоматизированной системы контроля темпера-

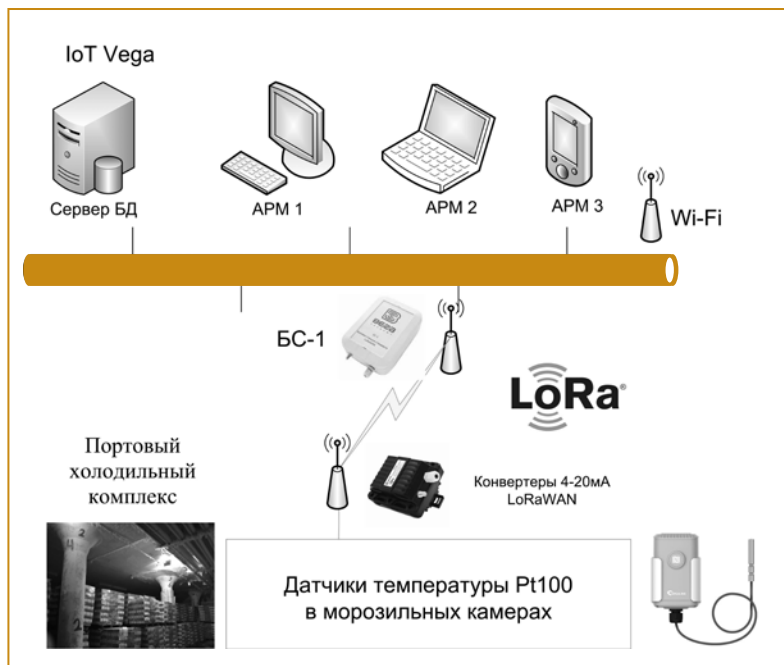


Рис. 4. Архитектура АИСМХП

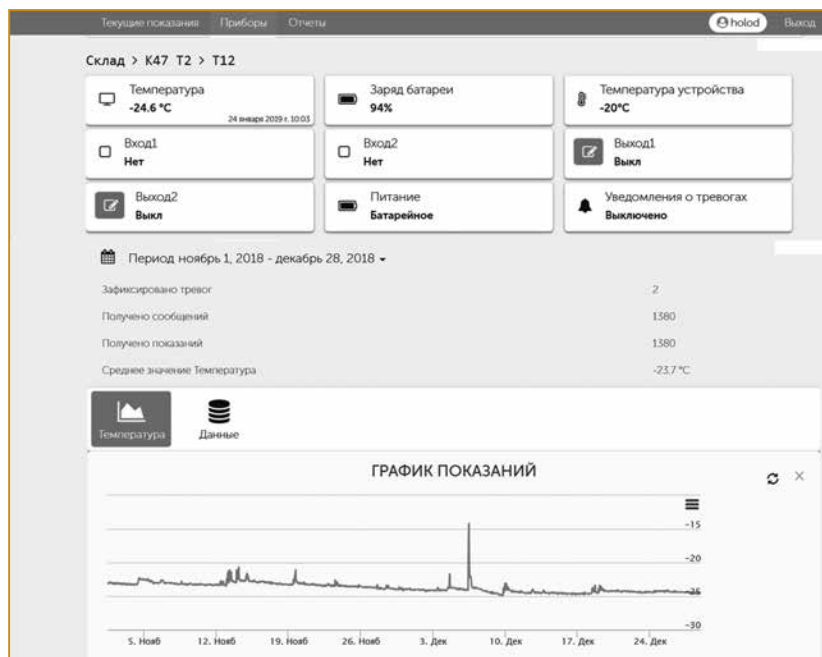


Рис.5. Интерфейс программного обеспечения системы



Рис.6. График изменения параметра SNR

туры в холодильном складе является: своевременное обнаружение нарушений, связанных с требуемыми условиями хранения продукции, реализация предупредительных или корректирующих воздействий, соответствие современным стандартам системы ХАССП, мониторинг воздуха в контрольных точках морозильных камер, оценка качества функционирования системы ХАССП.

Автоматизация холодильного склада с использованием беспроводной технологии передачи данных LoRaWAN позволила сократить сроки внедрения АИСМХП. Архитектура системы представлена на рис. 4. Нижний уровень системы представляет собой датчики температуры ДТС Pt100 с выходным сигналом 4...20 мА, подключенные к конвертерам ВЕГА ТП-11. Конвертер предназначен для преобразования сигнала от датчика и передачи его в сеть LoRaWAN и является автономным устройством, работающим от батареи питания. Средний уровень системы образует базовая станция БС-1 ВЕГА, позволяющая локально раз-

вернуть сеть LoRaWAN на частотах 863...870 МГц. От базовой станции данные передаются на верхний уровень системы по каналу Ethernet. Верхний уровень системы состоит из сервера баз данных и автоматизированных рабочих мест с установленными клиентскими приложениями. Программное обеспечение в виде Web-приложений позволяет просматривать карту сети, контролировать базовые станции, конфигурировать оконечные устройства и управлять правами доступа пользователей.

Технология LoRaWAN предполагает использование не требующего лицензирования частотного диапазона 868 МГц, что позволяет существенно сократить временные и финансовые затраты на внедрение системы и ее дальнейшую эксплуатацию на предприятии. Локально развернутая сеть состоит из базовой станций с мощностью передатчика до 25 мВт и оконечных устройств, установленных внутри склада для измерения температуры. Передача информации от устройств внутри локальной сети осуществляется на расстояние до 15 км при прямой видимости, и до 5 км в условиях городской застройки. Сбор информации, ее дальнейшая обработка и управление сетью реализуется через автоматизированные рабочие места с возможностью удаленного подключения. Пример интерфейса клиентского программного обеспечения приведен на рис. 5.

Основные технические и функциональные возможности системы:

- установка возможна в любое время без остановки технологического процесса;
- отсутствие проводов значительно снижает затраты на внедрение системы и дальнейшую эксплуатацию;
- увеличение числа датчиков (точек контроля температуры) без существенной модернизации системы;
- использование одной базовой станции позволяет создать распределенную систему на несколько объектов, что уменьшит дальнейшие затраты на монтаж и оборудование;
- беспроводная технология LoRaWAN позволяет не использовать платные каналы связи (GSM/GPRS);
- низкое энергопотребление устройств обеспечивает их автономную работу в течение межповерочного периода без замены элементов питания;
- информация, полученная с датчиков, накапливается и хранится на сервере баз данных;
- опрос датчиков и соответственно архивирование параметров происходит с заданным интервалом времени;

- обнаружение и уведомление о нештатных ситуациях с фиксацией в журнале тревог;
- программное обеспечение позволяет формировать отчет за заданный период, просматривать графики и таблицы по каждому параметру;
- текущие показания и отчеты могут экспортироваться в различные форматы для дальнейшей обработки;
- возможен многопользовательский доступ к информации через личный кабинет.

Помимо передачи и обработки данных от измерительных приборов в системе предусмотрены средства диагностики, позволяющие оценить качество принимаемого сигнала за счет анализа показателей отношение сигнал/шум SNR (Signal-to-noise ratio) и уровень принимаемого сигнала RSSI (received signal strength indicator). Проанализированные данные по параметру SNR показывают (рис. 6), что при значениях < -20 дБ наблюдаются потери пакетов при передаче данных даже с применением предусмотренных в системе повторных попыток в случаях неполучения подтверждения приема пакета от базовой станции. При SNR выше -15 дБ потери пакетов не наблюдались. Примечательно, что при тестировании внутри морозильной камеры показатель уровня принимаемого сигнала RSSI во всем диапазоне измерений менялся незначительно и был достаточно низким (около -115 дБ). Во время проведения тестирования качества сигнала без ограждающих конструкций значения показателей SNR и RSSI составили 8 дБ и -47 дБ соответственно.

Заключение

Таким образом, применение беспроводной технологии LoRaWAN позволяет значительно сократить сроки по внедрению автоматизированных измерительных систем по сравнению с проводными системами при большом числе датчиков, счетчиков и приборов учета, расположенных на значительных расстояниях друг от друга.

Заявленные характеристики по дальности передачи информации во многом зависят от ограждающих конструкций места расположения приемно-передающих устройств и рельефа местности. Поэтому после установки базовой станции, возникает необходимость в предварительной оценке качества и уровня сигнала в предполагаемом месте установки оконечных устройств и, в случае плохой связи, планировании установки антенны в том месте, где измеренный уровень сигнала будет приемлемым. При этом для конкретной территории возникают трудности расчета необходимого числа БС и их эффективного радиуса действия.

Время автономной работы измерительных приборов с беспроводными модулями связи в основном зависит от требуемой частоты передачи информации. В случае необходимости организации мониторинга в режиме реального времени с минимальным возможным периодом опроса требуется подключение постоянного сетевого питания. Концепция энергоэффективной беспроводной технологии передачи данных предусматривает ее применение в первую очередь для первичных датчиков, оснащенных батарейным питанием, и не столь актуальна для сложных приборов учета (электро- и теплосчетчиков) с сетевым питанием.

Уникальные свойства беспроводных модулей при эксплуатации сети способны создавать дополнительные трудности, которые усугубляются с увеличением масштабов сети и перечня модулей от разных производителей. Как правило, при внедрении беспроводных технологий в системах учета энергии необходимо наличие программных и аппаратных средств от каждого используемого производителя. Наиболее эффективно применять новые беспроводные технологии можно на территории отдельного предприятия или управляющей компании микрорайона города, где есть возможность использовать оборудование одного производителя, а также где имеется полный и регулярный доступ для технического обслуживания системы приборного учета.

Список литературы

1. *Виноградов А.Н., Кузнецов Р.С., Чипулис В.П.* Информационно-аналитический центр по учету и регулированию энергоресурсов сложных технических объектов и инженерных систем Приморского края // Вестник ДВО РАН. 2021. №2.
2. *Кузнецов Р.С., Чипулис В.П.* Информационно-аналитическое обеспечение систем мониторинга, анализа и управления объектами теплоэнергетики // Вестник ДВО РАН. 2016. №4. С. 116-124.
3. *Kais Mekki, Eddy Bajic, Frederic Chaxel, Fernand Meyer.* A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment // ICT Express. 2019. Vol. 5. Issue 1. P. 1-7.
4. *Gaggero Giovanni Battista, Marchese Mario, Moheddine Aya et al.* A Possible Smart Metering System Evolution for Rural and Remote Areas Employing Unmanned Aerial Vehicles and Internet of Things in Smart Grids // SENSORS. 2021. Volume 21. Issue 5. Article Number 1627.
5. *Кузнецов Р.С., Чипулис В.П.* Телеизмерительные системы в теплоснабжении // Автоматизация в промышленности. 2020. №4. С. 30-35.

Виноградов Александр Николаевич — канд. техн. наук, младший научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН, гл. инженер ООО «Вира»,

Волошин Евгений Валерьевич — инженер-программист ПАО «Дальневосточная Энергетическая Компания»,
Кузнецов Роман Сергеевич — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН.

Контактный телефон (423)231-75-44.

E-mail: kuznetsov@dvo.ru, vinogradov@vira.dvo.ru