

# Гетерогенная система связи для систем технического контроля и мониторинга объектов энергетики, промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и агропромышленного комплекса

В.А. Шубарев<sup>1</sup>, Ю.О. Мякочин<sup>2</sup>, А.А. Гусаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Авангард», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> АО «ПКК Миландр», Москва, Россия

**Постановка проблемы.** Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов все чаще используются как в крупных компаниях, так и на малом производстве. Часто специалисты сталкиваются с проблемой установки датчиков и получения данных с них в помещениях с толстыми железобетонными и кирпичными стенами, где невозможно установить надежную радиосвязь, а монтаж дополнительных кабелей обходится дорого. В таких условиях хорошо проявляют себя гетерогенные системы связи, в которых для коммуникации могут использоваться различные технологии.

**Цель.** Определить оптимальную технологию гетерогенной системы связи для установки автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов в определенных условиях и разработать технические предложения.

**Результаты.** Проведено моделирование работы физического уровня системы связи с использованием протокола PLC-G3, а также моделирование и оценка энергетических характеристик с использованием технологии 6LoWPAN. Разработаны технические предложения по созданию технических средств гетерогенной системы связи, предложена архитектура технических средств и структура гетерогенной системы связи.

**Практическая значимость.** Автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов на основе гетерогенной системы связи датчиков обеспечивает регулярный сбор точной информации об энергоресурсах на всех этапах их движения – от ввода на объекте до каждой из конечных точек потребления, предоставляет доступ к собранным данным для анализа состояния системы в целом, позволяет производить оперативное управление исполнительными механизмами приборов учета и контроля.

**Ключевые слова:** сенсорная сеть, широкополосные системы связи, узкополосные системы связи, модем

*Для цитирования:*

Шубарев В. А., Мякочин Ю. О., Гусаров А. А. Гетерогенная система связи для систем технического контроля и мониторинга объектов энергетики, промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и агропромышленного комплекса // Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 4. С. 119-124. DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-119-124

© Шубарев В. А., Мякочин Ю. О., Гусаров А. А., 2020



# Heterogeneous communication system for technical control and monitoring of energy, industrial, housing and utilities, and agro-industrial facilities

V.A. Shubarev<sup>1</sup>, Yu.O. Myakochin<sup>2</sup>, A.A. Gusarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC "Avangard", Saint Petersburg

<sup>2</sup> JSC "PKK Milandr", Moscow, Russia

**Problem statement.** Automated systems for monitoring and accounting of energy resources are increasingly used in large companies and small-scale production. Specialists often face the problem of installing sensors and receiving data in rooms with thick reinforced concrete and brick walls, where it is impossible to establish reliable radio communication, and the installation of additional cables is expensive. In such conditions, heterogeneous communication systems, in which different technologies can be used for communication, prove themselves well.

**Objective.** Determine the optimal technology for heterogeneous communication systems for installing an automated system for monitoring and accounting of energy resources in certain conditions and develop technical proposals.

**Results.** A simulation of the physical level of the communication system was performed using a PLC-G3 protocol. The energy characteristics were modeled and evaluated using 6LoWPAN technology. Technical proposals for creating technical means of the heterogeneous communication system are developed, the architecture of technical means and the structure of heterogeneous communication system are proposed.

**Practical significance.** An automated system for monitoring and accounting of energy resources based on a heterogeneous sensor communication system provides regular collection of accurate information about energy resources at all stages of their movement – from input at the facility to each of the end points of consumption, provides access to the collected data for analyzing the state of the system as a whole, and allows operational control of the actuators of metering and control devices.

**Keywords:** sensor network, broadband communication systems, narrowband communication systems, modem

*For citation:*

Shubarev V.A., Myakochin Yu. O., Gusarov A.A. Heterogeneous communication system for technical control and monitoring of energy, industrial, housing and utilities, and agro-industrial facilities. Radio industry (Russia), 2020, vol. 30, no. 4, pp. 119–124. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-119-124

## Введение

В наши дни практически ни одно здание не обходится без всевозможных датчиков и счетчиков – датчиков дыма, счетчиков электроэнергии, датчиков движения для освещения и так далее. Имеет место постоянная тенденция к ужесточению требований к качеству связи датчиков и автоматизированных систем управления зданием в целом с ростом спроса на датчики и, соответственно, с ростом числа самих датчиков, которые, находясь достаточно близко друг к другу, могут создавать серьезные помехи в радиоканале. Также нельзя исключать из расчетов перекрытия и рельеф, встречающиеся на пути распространения сигнала и снижающие дальность его распространения.

В связи с этим использования одной технологии связи порой бывает недостаточно, и при проектировании универсальной автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) [1, 2] необходимо предусмотреть несколько способов обмена данными между устройствами.

Большинство ныне используемых гетерогенных систем включают в себя технологию радиопередачи, которая обладает рядом преимуществ: простота монтажа, обслуживания, настройки, но также и не лишена недостатков – без направленной антенны и мощного усилителя в условиях плотной городской застройки и шумов от других устройств, работающих поблизости в данном диапазоне, дальность связи будет малой.

Главными альтернативными вариантами являются технологии проводной связи, они не подвержены влиянию помех извне и степень затухания сигнала в кабеле сравнительно мала. Однако внедрение такой технологии требует дополнительных затрат на монтаж проводки, кроме того, в некоторых местах прокладка кабеля невозможна или сильно затруднена. Также стоит отметить, что большая разветвленная сеть требует больших вложений с точки зрения не только расхода провода, но и расходов на возможную перепланировку помещения.

### Технология радиопередачи

При проектировании гетерогенной системы связи имеет смысл использовать беспроводную связь как одну из технологий передачи данных по причинам, описанным выше [3–6].

Основными характеристиками для сравнительного анализа радиотехнологий связи служат: частота, дальность связи, мощность радиопередатчика, чувствительность приемника, скорость передачи данных, ширина полосы, энергоэффективность, каналообразование, наличие стека протоколов, принцип обмена данными, поддерживаемые архитектуры сети, совместимость с другими системами.

Для проведения сравнительного анализа выбраны следующие радиотехнологии связи: Bluetooth, Wi-Fi, Z-Wave, ZigBee, 6LoWPAN, WirelessHART, Smartmesh IP, Smartmesh WH, Weightless, LoRaWAN, SigFox, СТРИЖ. Результаты сравнительного анализа радиотехнологий связи приведены в таблице.

Исходя из результатов сравнительного анализа, можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день наиболее перспективными радиотехнологиями связи являются технологии LoRaWAN, SigFox и СТРИЖ.

Для оптимального выбора применяемой в работе технологии следует провести сравнительный анализ узкополосных технологий (SigFox, СТРИЖ) и широкополосных (LoRaWAN) систем связи.

В сегменте беспроводных сенсорных сетей принципиальным является вопрос об эффективном использовании выделенной полосы связи. От этого зависит дальность радиосвязи, скорость передачи данных, доступные типы архитектуры, максимально возможное количество подключенных устройств и количество помех в радиоканале.

Обычно широкополосными системами называют те, ширина полосы которых превышает 10% от центральной частоты.

Благодаря концентрации всей энергии в узкой полосе спектра сигнал проходит большие расстояния перед полным затуханием, что позволяет таким системам обеспечивать работу в одной сети тысячам устройств, занимая небольшую часть общей отведенной технологии полосы. И чем уже полоса, тем менее зашумленной она является.

Кроме того, узкая полоса упрощает разработку антенны (и снижает ее стоимость), что сказывается на стоимости устройств в сети. Если в устройствах используется хороший кварцевый генератор, обеспечивающий стабильность частоты, то при передаче данных не возникают сбои, приводящие к появлению ошибок в приемнике ввиду наложения спектров сигналов друг на друга.

Однако следует отметить, что большинство этих достоинств в определенных ситуациях могут рассматриваться как недостатки. Кварцевый генератор, способный обеспечить высокую стабильность

частоты в полосе 100 Гц (технологии Sigfox, СТРИЖ) будет очень сложен в разработке и производстве. Исходя из этого, невозможно осуществление двусторонней связи и создание mesh-сети на основе узкополосной системы связи, поскольку подавляющее большинство сообщений от базовой станции конечному устройству не будет получено им ввиду постоянного отклонения частоты. Стоит отметить, что все базовые станции таких систем являются широкополосными. Узкополосные системы крайне уязвимы для воздействия наведенных помех. Одна загромождающая помеха может вывести из строя от нескольких устройств до целой сети.

Узкополосные системы связи не имеют возможности развить высокую скорость передачи данных из-за малой пропускной способности канала связи, поэтому при значительной удаленности базовой станции от устройств может возникнуть ситуация, когда еще не переданные сообщения от одного устройства создадут помехи для другого, у которого частота канала случайно сместилась. В худшем случае помехи могут быть созданы для того же самого устройства, если в системе не предусмотрено временное разделение сигналов либо его недостаточно. Поэтому в узкополосных системах оправдано введение ограничения на количество сообщений в день.

В список достоинств широкополосных систем связи входят: высокая скорость передачи данных, возможности осуществления симметричной связи и перестройки по частоте. Ввиду быстрой передачи пакетов можно избежать описанной выше ситуации с зашумлением радиоканала собственными сообщениями системы. Также это позволит системе быстрее реагировать на воздействие извне, оперативно передавая данные конечному потребителю. Наконец, на базе узкополосных систем невозможно осуществление передачи видео (и других объемных файлов) в соответствующих системах,

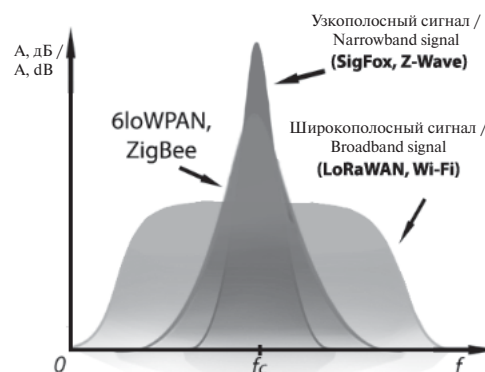


Рисунок 1. Частотные спектры некоторых из рассмотренных систем  
Figure 1. Frequency spectra of some of the considered systems

использование широкополосных систем решает эту проблему. На данные системы не влияет нестабильность частоты, это позволяет снизить стоимость устройств за счет использования дешевых кварцевых генераторов.

Если на широкополосную систему связи будет наведена помеха, то в большинстве случаев устройство просто будет использовать незашумленное пространство полосы и продолжит работать.

Кроме этого, одним из основных преимуществ широкополосных систем связи является возможность осуществления двусторонней связи, которая, в свою очередь, позволяет:

- создать ячеистую сеть, где каждое устройство может как принимать, так и посылать данные;
- изменить режим устройства, поменять программное обеспечение, провести иные настройки по радиоканалу.

Есть у широкополосных систем связи и недостатки:

- большое количество шумов в радиоканале вызывает необходимость повышения мощности сигнала для улучшения распознавания;
- повышение мощности, в свою очередь, вызывает снижение энергоэффективности;
- сигнал быстрее затухает, что снижает дальность его распространения;
- более вероятно наложение спектров сигналов друг на друга, что вызовет ухудшения качества приема и увеличение ошибок передачи;
- усложняется конструкция антенны и других элементов приемно-передающего тракта, что приводит к увеличению стоимости устройства.

В таблице для сравнения приведены основные характеристики технологий передачи данных. Из проведенного сравнения видно, что оба вида связи обладают своими достоинствами и недостатками, поэтому бывает сложно выбрать наиболее подходящий вариант, даже зная будущую сферу применения системы. В основном для одних и тех же приложений возможно использование и обеих систем, за исключением ряда ситуаций (например, передача видео).

Следует сделать оговорку насчет применимости понятия узкой и широкой полосы для беспроводных персональных сетей. В силу ширины полосы лицензируемых диапазонов, в которых работает подавляющее большинство таких систем, широкополосность и узкополосность становятся относительными понятиями. К примеру, технология LoRaWAN, имеющая ширину канала 125 кГц, не удовлетворяет требованию широкополосности выражения (1.1), поскольку система состоит из трех каналов с общей

шириной полосы 375 кГц, что не составляет даже одного процента от центральной частоты. Но если сравнить ее с технологией SigFox, ширина одного канала которой равна всего 100 Гц, то становится очевидной существенная разница в фундаментальных особенностях технологий.

В конечном счете была выбрана технология 802.15.4 + 6LoWPAN ввиду хорошего баланса основных энергетических характеристик радиоканала, а также возможности совмещения канального уровня стека протоколов с другим физическим уровнем – PLC, о котором будет сказано далее.

Схемотехническая часть устройства обеспечивает лишь прием и передачу сигналов. Но возникает вопрос – как можно задать устройству алгоритм работы. Модем должен включаться в определенное время, передавать или принимать данные, в остальное время находиться в выключенном состоянии. Это реализуется путем выполнения некоторого программного кода, который задает режимы работы устройства. Ниже описывается логика программного обеспечения, управляющего работой модуля.

Основная логика работы звена «модуль – базовая станция» основывается на следующих принципах:

- всего существует два режима опроса: автоматический и ручной;
- каждый модуль чередует режимы пробуждения (300 мс) и сна (40 с);
- по определенному расписанию базовая станция начинает посылать сообщения начала передачи, состоящие из кода HEX 03 и 2 байт, в которых содержится информация о количестве оставшихся циклов передачи данного сообщения;
- по принятии данного сообщения модуль погружается в сон на время завершения рассылки базовой станции сообщений;
- после выхода из сна устройство на 2 минуты включает режим приема;
- после завершения рассылки сообщений начала передачи базовая станция начинает по очереди опрашивать модули;
- после получения сообщения со своим MAC-адресом модуль посылает базовой станции данные с датчика;
- если базовая станция принимает данные датчика, обратно посылается пакет подтверждения (ACK-пакет);
- если модуль принимает ACK-пакет, он погружается в сон, если ответ не получен в течение 2 минут после передачи данных с датчика, выполняется повторная отправка до поступления подтверждения получения.

В случае включения ручного режима алгоритм претерпевает некоторые изменения:

Таблица. Сравнение технологий беспроводной передачи данных («-» – отсутствует или нет данных)  
Figure 1 – Frequency spectra of some of the considered systems

Технические характеристики / Technical parameters	Wi-Fi	ZigBee	Z-Wave	6LoWPAN	LoRaWAN	SigFox
Частота / Frequency	2,4 ГГц / 2.4 GHz	868 МГц / 2,4 ГГц / 868 MHz / 2.4 GHz	868 МГц / 868 MHz	868 МГц / 868 MHz	868 МГц / 868 MHz	868 МГц / 868 MHz
Дальность / Range	До 100 м / Up to 100 m	До 100 м / Up to 100 m	До 30 м / Up to 30 m	До 5 км / Up to 5 km	До 5 км / Up to 5 km	До 10 км / Up to 10 km
Энергопотребление / Energy consumption	Высокое / High	Низкое / Low	Низкое / Low	Низкое / Low	Низкое / Low	Низкое / Low
Скорость передачи / Transmission speed	До 7 Гбит/с	До 250 кбит/с	До 100 кбит/с	До 125 Мбит/с	До 50 кбит/с	До 1000 кбит/с
Стандарт / Standard	IEEE802.11	IEEE802.15.4	Z-Wave	IEEE802.15.4g	LoRaWAN	-
Частотное разделение / Frequency multiplexing	14 каналов / 14 channels	27 каналов / 27 channels	3 канала / 3 channels	27 каналов / 27 channels	8 каналов / 8 channels	Каналы 100 Гц без разделения / 100 Hz channels without multiplexing
Кодовое разделение / Code demultiplexing	DSSS	DSSS	-	DSSS и PSSS	CSS	-
Временное разделение / Digital demultiplexing	400 нс / 400 ns	625 мкс / 625 μs	-	625 мкс / 625 μs	До 128 с / Up to 128 seconds (s)	-
Тип модуляции / Modulation type	QAM-256	O-QPSK	FSK	O-QPSK	LoRa	DBPSK

- по указанию оператора базовая станция начинает посылать сообщения начала передачи, состоящие из кода HEX 03 и 2 байт, в которых содержится информация о количестве оставшихся циклов передачи данного сообщения;
- по принятии данного сообщения модуль погружается в сон на время завершения рассылки базовой станции сообщений;
- после выхода из сна устройство на 2 минуты включает режим приема;
- после завершения рассылки сообщений начала передачи базовая станция опрашивает устройство с указанным оператором MAC-адресом;
- после получения сообщения со своим MAC-адресом модуль посылает базовой станции данные с датчика;
- если базовая станция принимает данные датчика, обратно посылается ACK-пакет;
- если модуль принимает ACK-пакет, он погружается в сон, если ответ не получен в течение 2 минут после передачи данных с датчика,

выполняется повторная отправка до получения подтверждения получения.

### Технология PLC

Технология PLC (англ. Power Line Communication) позволяет передавать данные через электропроводку. Благодаря этому отсутствуют расходы на прокладку дополнительного кабеля, исключаются помехи извне. Систему, использующую данную технологию, можно использовать в любом помещении, подключенном к электросети.

Был выбран стандарт PLC-G3 как оптимальный, ввиду наличия передачи в полосах CENELEC A (35–91 кГц), CENELEC B (98–122 кГц), – это позволяет передавать данные как по линиям 0.4 кВ, так и по линиям электропередач на расстояния, не превышающие 1,7 км [3].

Несмотря на наличие помех извне, сам канал PLC описывается многолучевой моделью распространения.

Опытным путем было определено, что основным препятствием на пути распространения сигнала

в PLC-канале является трансформатор: основные потери происходят в нем. Также были получены результаты моделирования matlab, позволяющие утверждать, что с ростом частоты усложняется передача сигнала.

### Выводы

Сформулированы следующие требования к модулю: реализация PLC по стандарту PLC-G3, связь PLC через линию 0.4 кВ, тип модуляции PLC OFDM, диапазоны PLC CENELEC A, CENELEC B, частота несущей радиомодуля 868 МГц, канальный уровень стека протоколов – стандарт 802.15.4, количество поддерживаемых ретрансляторов – не менее 10.

Было проведено моделирование работы физического уровня системы связи с использованием

прокола PLC-G3. Полученная модель позволяет провести расчет и прогнозировать состояние канала связи PLC-G3.

Также были проведены моделирование и оценка энергетических характеристик с использованием технологии IEEE 802.15.4 + 6LoWPAN, и полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в помещениях с кирпичными и железобетонными стенами возможна передача данных на скорости не менее 9,6 кбит/с на расстояние до 25 м со слабо-направленной антенной и мощностью передатчика не более 10 мВт.

Разработаны технические предложения по созданию технических средств гетерогенной системы связи, предложена архитектура технических средств и структура гетерогенной системы связи.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мякочин Ю., Шедяков Д., Кареев К. УСПД на базе Cortex-A9. Вклад в построение надежных систем для ЖКХ // Электроника: НТБ. 2016. № 8. С. 130–133.
2. Мякочин Ю., Бирюков М., Гусаров А., Карпов И. Квартирный радиомодуль для системы АСКУЭ // Электроника: НТБ. 2017. № 2. С. 56–60.
3. Business at Gartner Symposium/ITxpo 2015, November 8–12 in Barcelona, Spain. Cellular Network for massive IoT/Ericsson White paper/Uen 28423–3278/, January 2016.
4. LoRaWAN™ Specification, LoRa Alliance, Version: V1.0, 2015 January. Mobile Experts. White Paper for LoRa Alliance, 2015.
5. ETSI EN 300.220 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods.
6. Верхулевский К. Базовые станции Kerlink для LoRaWAN // Беспроводные технологии. 2016. № 2. С. 48–53.

### REFERENCES

1. Myakochin Yu., Shedyakov D., Kareev K. USPD based on Cortex-A9. Contribution to building reliable systems for housing and utilities. *Elektronika: NTB*, 2016, no. 8, pp. 130–133. (In Russian).
2. Myakochin Yu., Biryukov M., Gusarov A., Karpov I. Apartment radio module for the ASKUE system. *Elektronika: NTB*, 2017, no. 2, pp. 56–60. (In Russian).
3. Business at Gartner Symposium/ITxpo 2015, November 8–12 in Barcelona, Spain. Cellular Network for massive IoT/Ericsson White paper/Uen 28423–3278/, January 2016.
4. LoRaWAN™ Specification, LoRa Alliance, Version: V1.0, 2015 January. Mobile Experts. White Paper for LoRa Alliance, 2015.
5. ETSI EN300.220 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods.
6. Verkhovlevsky K. The Base station Kerlink for LoRaWAN. *Besprovodnye tekhnologii*, 2016, no. 2. pp. 48–53. (In Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Шубарев Валерий Антонович**, д. т. н., профессор, председатель совета директоров, ОАО «Авангард», 195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский проспект д. 72, тел.: +7 (812) 740-08-11, доп. 81–90, e-mail: avangard@avangard.org.

**Мякочин Юрий Олегович**, исполнительный директор, АО «ПКК Миландр», 124498, Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, тел: +7 (495) 981-54-36, e-mail: info@milandr.ru.

**Гусаров Алексей Александрович**, инженер-программист 1-ой категории, АО «ПКК Миландр», 124498, Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, тел: +7 (495) 981-54-36, e-mail: info@milandr.ru.

### AUTHORS

**Valerii A. Shubarev**, D.Sc. (Engineering), professor, Chairman of the JSC “Avangard” Board of Directors, 72, Kondratievskiy prospect, Saint Petersburg, 195271, Russia, tel: +7 (812) 740-08-11 ext. 81–90, e-mail: avangard@avangard.org.

**Yurii O. Myakochin**, Executive Director, JSC “PKK Milandr”, 5, Georgievsky prospect, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia, tel: +7 (495) 981-54-36, e-mail: info@milandr.ru.

**Aleksei A. Gusarov**, 1st category software engineer, JSC “PKK Milandr”, 5, Georgievsky prospect, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia, tel: +7 (495) 981-54-36, e-mail: info@milandr.ru.

Поступила 13.10.2020; принята к публикации 29.10.2020; опубликована онлайн 04.12.2020  
Submitted 13.10.2020; revised 29.10.2020; published online 04.12.2020