

Технический бюллетень 33 часть 2 (из цикла «Дедушка¹ топит за технологическую радиосеть»).

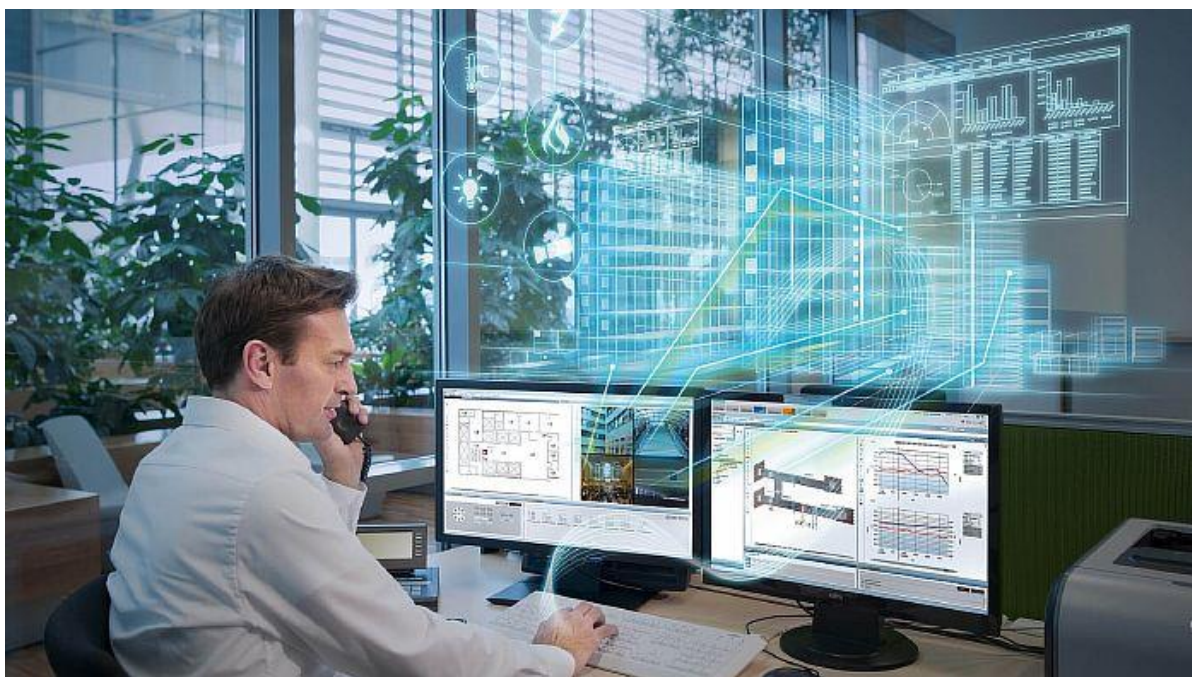
УЗКОПОЛОСНЫЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ, КТО ОНИ?

В настоящем выпуске нашего технического бюллетеня представлена краткая информация о современных узкополосных беспроводных сетях обмена данными. Дедушка российской радиосвязи со своей колокольни рассуждает о явлении «узкополосного промышленного Интернета вещей» народу и предлагает собственное решение для быстрого и достаточно безопасного внедрения этой технологии в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте, не забывая о других сферах человеческой деятельности. Изложено частное мнение, с которым можно легко не согласиться, но очень трудно опровергнуть.

(Продолжение)

1 Никогда не говори «никогда»²...

Но ведь кому-то же удалось скрестить ужа и ежа и получить в результате два метра колючей проволоки?! Значит компромиссы и здесь возможны.



Автоматизированная система управления технологическим процессом
(<https://hsbi.hse.ru/articles/inzhener-asu-tp/>).

¹ Дедушке посчастливилось многому научиться у канадских специалистов, которые создали и испытали первую в мире узкополосную технологическую радиосеть обмена данными, а потом на протяжении почти тридцати лет организовывать и направлять практическую работу проектировщиков, инженеров и программистов по развертыванию таких радиосетей у нас в стране и за рубежом.

² «Никогда не говори «никогда», потому что дни бегут так быстро и ничто не остается неизменным» Лао-цзы, древнекитайский философ.

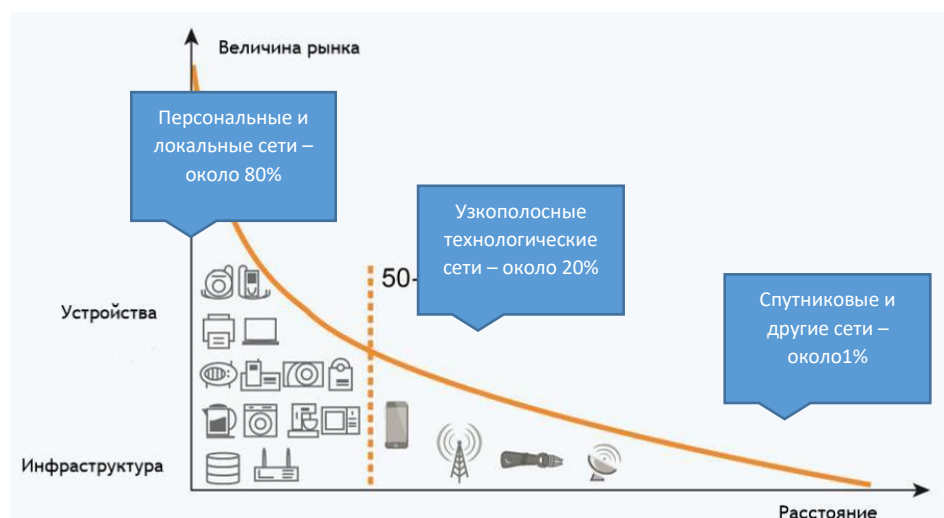
В соответствии с концепцией построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации, выделение узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» в отдельный объект рассмотрения определяется технологическими, экономическими и организационными особенностями, требующими создания условий для развития. При этом строить его предполагается в открытом («любительском») диапазоне частот 863-876 МГц.

В концепции определено, что ключевыми особенностями узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» являются:

- низкая стоимость услуг в пересчете на одно устройство;
- низкие потребности в пропускной способности на одно устройство;
- низкое энергопотребление устройств;
- необходимость обеспечения высокой надежности и достоверности доставки сообщений управления процессами и устройствами
- требования к безопасности связи, сохранению персональных данных и пр.

Весьма расплывчато и немного противоречиво, поскольку у одних суп жидкий, а у других жемчуг мелкий. Например, такая характеристика, как «низкая стоимость услуг в пересчете на одно устройство» может относиться только к сетям общего пользования, в которых связь действительно представляет собой «платную услугу» – в технологической радиосети такого понятия в принципе не существует (здесь можно говорить о совокупной стоимости владения для радиосети), а «необходимость обеспечения высокой надежности и достоверности доставки сообщений управления процессами и устройствами» требует применения отдельных технических решений и мер, которые вступают в прямое противоречие с требованиями к низкой стоимости. Кроме того, энергопотребление «промышленных вещей» несопоставимо выше, чем аналогичный параметр устройств связи, поэтому требование в части низкого энергопотребления в большинстве случаев можно смело исключить. Тем не менее, в мире все относительно, поэтому «общие требования» принципиальных теоретических возражений не вызывают. А как все же на практике?

Концепция следующим образом определяет место «Интернета вещей» при использовании различных технологий связи и обмена данными:



Применительно к «промышленному Интернету вещей» доли различных технологий связи будут распределяться несколько иначе. И многое здесь определяется именно целями создания радиосетей и их техническими характеристиками. Но совершенно очевидно (и это пока подтверждается практикой), что в промышленных системах основная тяжесть в части обмена данными ляжет на хрупкие плечи технологических радиосетей обмена данными. Собственно, уже давно лежит на этих плечах. Впрочем, почему «хрупкие»? Типовое устройство технологической радиосети обмена данными может выглядеть вот так:

Рабочий диапазон	выделенный
Дальность связи, км	единицы - десятки
Скорость обмена данными, кбит/с	десятки
Задержки при передаче данных, мс	единицы - десятки
Количество объектов в сети	единицы-сотни
Интерфейсы	сетевой, последовательный

Почему такие характеристики представляются наиболее актуальными для управления «промышленными вещами»?

Рабочий диапазон. Представляет собой среду передачи радиосигналов, которая должна быть свободна от помех и обеспечивать беспрепятственный доступ к работе подключенных к ней устройств. Такие условия обеспечиваются только при организации работы в специально выделенных диапазонах радиоволн, которые контролируются государственным регулятором. В настоящее время радиочастоты для создания и работы радиоэлектронных средств фиксированной и сухопутной подвижной радиосвязи гражданского назначения на территории Российской Федерации выделены в диапазонах ОВЧ³ и УВЧ. Для работы узкополосного «Интернета вещей» на территории Российской Федерации выделены следующие полосы частот 301,125-305,825; 337,125-341,825; 343-344 и 390-393 МГц.

В задействующих свободные для использования и имеющие минимальное регулирование диапазоны радиочастот радиосетях, а также в радиосетях общего пользования, к которым подключена масса других абонентов, выполнение этого условия оказывается невозможным.

Дальность связи. Определяется площадью, на котором функционирует предприятие промышленности, транспорта или сельского хозяйства. Как правило, отдельное предприятие размещается на территории в несколько квадратных километров, а его коммуникации растягиваются на несколько десятков километров.

Скорость обмена данными. В требованиях к устройствам «Интернета вещей» она определяется как «низкая» и, соответственно, может составлять единицы килобит или даже десятки бит, но в данном случае параметр установлен с учетом работы радиосети, в том числе, по IP-протоколу⁴, который является основным в информационной системе «Интернет» и оказывается весьма «прожорливым» (попробуйте поработать с этим

³ **Очень высокие частоты (ОВЧ)** – диапазон от 30 до 300 мегагерц (МГц).

⁴ **IP (Internet Protocol)** – протокол сетевого уровня стека TCP/IP. Протокол был создан в 1981 году и описан в RFC 791. Основной задачей протокола является доставка датаграмм между хостами сетей TCP/IP через произвольное число промежуточных узлов (маршрутизаторов).

протоколом в сети на скорости, например, 9,6 кбит/с, которая является типовой для действующих АСУ ТП).

Задержки при передаче данных. Очень важный параметр, не требующий пояснений. Достаточно будет одного примера. Установленное время на экстренное закрытие задвижки на магистральном трубопроводе составляет не более двух секунд с момента обнаружения аварии (по опыту практической работы по созданию радиосети управления телемеханикой трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан общей протяженностью около 5500 км). То есть за это время необходимо передать сообщение об аварии с объекта, обработать его, выработать команду по реагированию, довести ее до одного или нескольких удаленных исполнительных устройств и получить подтверждение о выполнении.

Количество объектов в сети (емкость радиосети сети). Параметр определен исходя из многолетнего практического опыта создания и развертывания технологических радиосетей обмена данными. В настоящее время к отдельным технологическим радиосетям обмена данными подключено несколько тысяч удаленных объектов. Например, в составе интеллектуальной сети распределения электроэнергии Королевства Таиланд, принадлежащей государственной энергетической компании Provincial Electricity Authority (PEA, <https://www.pea.co.th/en>), функционируют более 5000 удаленных объектов, подключенных по каналам технологической радиосети обмена данными, а одна из крупнейших таких радиосетей на территории Российской Федерации имеет в своем составе более 700 объектов.

Интерфейсы. Определяются наиболее часто применяемыми на практике интерфейсами подключаемых в радиосети устройств. В последних в большинстве случаев используется Ethernet с портом RJ45, но значительная часть продолжает подключаться по последовательным портам RS-232/422/485.

Выполнение этих требований позволяет развертывать современные технологические радиосети обмена данными, позволяющие обеспечить работу большинства промышленных приложений, связанных с удаленным управлением и сбором данных, читай: «АСУ ТП».

В связи с этим предлагается рассматривать «промышленный Интернет вещей» как современную АСУ ТП с элементами (использованием технологий) Интернета, основными из которых являются обмен данными по протоколу IP и обработка больших данных⁵ с применением технологии облачных вычислений⁶. Такая технология предполагает организацию хранения данных в Интернете и организацию доступа к ним со стороны любого заинтересованного пользователя. Хранятся данные также в сети Интернет в так

⁵ **Большие данные** ([англ. big data](#)) – обозначение структурированных и неструктурированных данных огромных объемов и значительного многообразия, эффективно обрабатываемых горизонтально масштабируемыми программными инструментами, появившимися в конце 2000-х годов и альтернативных традиционным системам управления базами данных и решениям класса Business Intelligence.

⁶ **Облачные вычисления** ([англ. cloud computing](#)) – модель обеспечения удобного сетевого доступа по требованию к некоторому общему фонду конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам – как вместе, так и по отдельности), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру.

называемых и публичных облаках⁷. Можно ли, а главное нужно ли использовать эти технологии в современных АСУ ТП?

Смею предположить, что положительный ответ на этот вопрос в настоящее время уже ни у кого не вызывает сомнений. Но, как всегда, *Il diavolo sta nei dettagli* – Дьявол кроется в деталях.

И давайте начнем с конца, то есть, с облачных вычислений и больших данных. Обе технологии изначально разрабатывались для или с учетом использования в составе информационной сети Интернет, которая уже сейчас имеет весьма развитую облачную инфраструктуру. Как и сети связи общего пользования, Интернет представляет собой информационную структуру, сформированную на средствах компании-провайдера, предоставляющей услуги с целью получения финансовой (коммерческой) выгоды. В этом нет ничего страшного, нового или необычного, но такая «доступная всем» инфраструктура используется далеко не только законопослушными гражданами и организациями с миролюбивыми намерениями. И это системный недостаток, с которым организации-провайдеры услуг так же системно борются, хотя и с переменным успехом.

А сводки «с мест боев» приходят практически ежедневно. Вот одна из свеженьких: «Исследователи по ИБ из компании PCAutomotive обнаружили 12 новых уязвимостей в работе системы связи и передачи данных информационной системы автомобилей Škoda по Bluetooth. Эксперты смогли удаленно активировать некоторые элементы управления автомобилями Škoda Superb III через штатное мобильное приложение, следить за водителем и подслушивать, что происходит в салоне, а также в реальном времени отслеживать местоположение автомобиля. Ранее эти же специалисты раскрыли информацию о девяти уязвимостях, которые некоторое время назад автопроизводитель закрыл через обновление прошивки»⁸. Впечатляет? А если эту ситуацию трансформировать с отдельно взятого «личного» автомобиля на, например, ту же «общественную» насосную станцию, обеспечивающую водой пусть даже небольшой населенный пункт?

Одним из решений, позволяющих снизить возникающие при использовании публичных облаков угрозы, является организация вычислений на базе частных облаков⁹ при доставке данных с использованием инфраструктуры технологических радиосетей обмена данными. И, похоже, что это очень неплохое решение для современной АСУ ТП.

В части подсистемы связи для сбора данных могут использоваться проводные и беспроводные решения. Первые не относятся к содержанию настоящей статьи, поэтому оставим их в стороне. А вот на последних стоит остановиться поподробнее.

По оценке разработчиков концепции, в настоящее время на рынке инфокоммуникационных технологий наблюдаются следующие тенденции: увеличение объема устройств и сервисов

⁷ **Публичное облако** ([англ. public cloud](#)) – инфраструктура, предназначенная для свободного использования широкой публикой. Публичное облако может находиться в собственности, управлении и эксплуатации коммерческих, научных и правительственных организаций (или какой-либо их комбинации). Публичное облако физически существует в юрисдикции владельца – поставщика услуг.

⁸ <https://habr.com/ru/news/866792/>

⁹ **Частное облако** ([англ. private cloud](#)) — инфраструктура, предназначенная для использования одной организацией, включающей несколько потребителей (например, подразделений одной организации), возможно также клиентами и подрядчиками данной организации. Частное облако может находиться в собственности, управлении и эксплуатации как самой организации, так и третьей стороны (или какой-либо их комбинации), и оно может физически существовать как внутри, так и вне юрисдикции владельца.

IoT, рост числа неуправляемых пользователем информационных процессов, увеличение влияния этих процессов на повседневную жизнь государства и пользователей, снижение маржинальности рынка телекоммуникационных услуг и другие требуют создания и развития рынка «Интернета вещей» в Российской Федерации за счет определения состава и правил поведения его участников. Существующее состояние нормативно-правовой базы отрасли не позволяет определить состав и правила поведения участников появляющегося рынка услуг Интернета вещей на инфраструктуре узкополосных беспроводных сетей.

Но в «промышленном Интернете вещей»/АСУ ТП «состав и правила поведения участников» давно определены и проверены на практике. Давайте рассмотрим три технологические задачи, решаемые в составе современной АСУ ТП.

Сбор данных. Наиболее полно эта задача реализуется, например, в Автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ)¹⁰ и Автоматизированных информационно-измерительных системах учета энергоресурсов (АИИС КУЭ)¹¹, которые характеризуются отсутствием необходимости работы в реальном масштабе времени и нечувствительностью к задержкам в доставке информации. В настоящее время оборудование большинства таких систем подключается по проводным каналам связи, но внедрение беспроводных каналов и использование их преимуществ будет для таких приложений как нельзя кстати. При этом, например, в случае высотной жилой застройки сбор данных в пределах отдельного дома может полностью производиться с использованием применяемых в составе «Интернета вещей» маломощных радиотехнических средств, объединяя их на одном устройстве, а далее передаваться в облачную базу данных по проводным каналам, каналам обмена данными общего пользования (сотовой связи) или технологической радиосети обмена данными. При этом реализация третьего варианта будет дешевле, чем первого и надежнее, чем второго¹².

Распределение данных. Наиболее яркими представителями такого приложения являются системы дифференциальной коррекции, обеспечивающие трансляцию через базовые станции поправок в интересах повышения точности спутниковой навигации¹³, а также радиосети распределения, например, гидрометеорологической информации¹⁴, которые характеризуются отсутствием «обратной связи» (необходимости передачи данных от удаленных объектов в сторону базовых станций). Но в таких приложениях рассматриваемые технологии «узкополосного Интернета вещей» слабо применимы. Прежде всего это связано с относительно большой дальностью действия, которая составляет единицы и даже десятки километров. Кроме того, существенные ограничения

¹⁰ Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) – комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку информации об энергетических потоках в электросетях. Относится к розничному рынку электрической энергии.

¹¹ Автоматизированная информационно-измерительная система учета энергоресурсов (АИИС КУЭ) – комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку информации от заданных датчиков и устройств по лимитам энергопотребления. Относится к оптовому рынку электрической энергии.

¹² Технический бюллетень «Технологические радиосети обмена данными», выпуск 19: «Радиосеть для АСУ ТП в ЖКХ на узкополосных радиомодемах», <https://flexlab.ru/technical-bulletin/135-vypusk-19-radioset-dlya-zhkhk/file>.

¹³ Сеть опорных базовых станций CORS (<https://eft-cors.ru/>).

¹⁴ Технический бюллетень «Технологические радиосети обмена данными», извещение 12: «Применение радиомодемов в системе распределения гидрометеорологической информации», <https://flexlab.ru/technical-bulletin/152-izveshchenie-12-raspredelenie-girometeorologicheskij-informatsii/file>.

накладываются задержками в доступе к каналу связи и, соответственно, доставке данных, информация о которых представлена ниже¹⁵.

№	Система связи	Разработчик/представитель в России	Задержка
1.	LoRaWAN	Semtech Corporation (США)	секунды
2.	Sigfox	Sigfox 0G (Франция)	секунды
3.	Weightless	Neul (Великобритания)	секунды
4.	«Стриж»	ООО «СРТ» (Россия)	секунды
5.	XNB	ООО «ГЛОНАСС-ТМ» (Россия)	секунды
6.	NB-Fi	ООО «Телематические решения» (Россия)	секунды
7.	GoodWAN	ООО «РадиоТех» (Россия)	секунды

Следует отметить, что частота обновления данных дифференциальной поправки и их трансляции в эфир составляет не реже раза в секунду. Предназначенные для создания «узкополосного Интернета вещей» технические средства, имеющие секундную задержку, справиться с такой интенсивностью передачи просто не в состоянии. А вот оборудование, предназначенное для построения узкополосных технологических радиосетей обмена данными, имеет задержку, которая составляет десятки миллисекунд, что позволяет решать рассматриваемую задачу без ограничений.

Управление и сбор данных. Или «сбор данных и управление», но ключевой задачей в данном случае все равно является именно управление, и именно эта функция определяет основные требования к системе связи в целом. Это как раз и есть основная задача любой АСУ ТП – получить данные о текущем состоянии и произвести воздействие с целью его поддержания или изменения. Чаще всего для этого используется протокол опроса, при котором «начальник» (ведущий контроллер) спрашивает своего «подчиненного» (ведомый контроллер): «Как там у тебя дела, сынок?» и в ответ дает указание, типа: «Молодец, продолжай в том же духе».

Обмен данными в рассматриваемой типовой технологической радиосети, которая состоит из базовой станции (БС) или даже группы базовых станций и удаленных контролируемых объектов (КП), складывается из набора нижеперечисленных последовательных микроопераций, формирующих транзакцию «запрос – ответ»:

- генерация и передача запроса ведущим контроллером АСУ ТП на порт БС;
- получение БС запроса от АСУ ТП;
- установление связи между БС и КП;
- передача запроса от БС к КП;
- обработка запроса на КП и генерация ответа;
- установление связи между КП и БС;
- передача ответа от КП к БС;
- передача ответа от БС в адрес АСУ ТП.

¹⁵ Приведены данные для моделей оборудования беспроводной низкоскоростной связи устройств в сетях с низким потреблением энергии, предназначенных, в том числе, для использования при построении узкополосного «Интернета вещей» в диапазоне 863-876 МГц, поскольку аппаратура для работы в выделенных диапазонах 301,125-305,825; 337,125-341,825; 343-344 и 390-393 МГц в настоящее время не производится.

Обычно БС подключается к контроллеру АСУ ТП по проводному соединению и возникающие при таком соединении задержки незначительны, поэтому в приведенном ниже расчете они не учитываются.

Информация о типовых задержках, возникающих при обмене данными непосредственно в технологической радиосети, представлена ниже¹⁶.

Наименование микрооперации	Время выполнения, с	Время выполнения, %	Примечание
Установление связи между БС и КП	0,016	0,77%	Складывается из времени атаки передатчика радиомодема – 1 мс, и времени синхронизации – 15 мс в режиме DOX (25 мс в режиме RTS/CTS)
Передача запроса от БС к КП	0,00104	0,05%	
Обработка запроса контроллером и генерация ответа	2	96,40%	
Установление связи между КП и БС	0,016	0,77%	
Передача ответа от КП к БС	0,04167	2,01%	
ИТОГО:	2,07471	100,00%	

Таким образом, продолжительность транзакции в технологической радиосети обмена данными может составлять 2,07 с, а в течение минуты может быть выполнено до 29 таких транзакций. Учитывая, что в типовой радиосети в случае ухудшения условий приема может потребоваться повторная передача до 10% всех сообщений, одна базовая станция такой радиосети способна обслужить до 25 контролируемых пунктов в минуту.

Как видно из представленных выше данных, основные задержки возникают на этапе обработки запроса и генерации ответа ведомыми контроллерами, но последовательное совершенствование и увеличение производительности последних позволяет улучшить этот параметр и существенно их сократить. Попытка использования в составе промышленной радиосети маломощных устройств, входящих в пул «Интернета вещей», полностью сводит эти усилия на нет.

Поскольку к технологическим радиосетям обмена данными подключены только «допущенные» абоненты, вышеуказанные задержки являются неизменными, и по данному параметру они удовлетворяют требованиям большинства приложений, реализуемых в АСУ

¹⁶ Не учитываются задержки при передаче данных по магистральным каналам связи от пункта диспетчерского управления до БС, поскольку эти задержки зависят от выбранной среды передачи и моделей магистрального оборудования. Оценка задержек производится с момента получения БС запроса от пункта диспетчерского управления до момента готовности к передаче ответа от КП в адрес пункта диспетчерского управления.

ТП различного назначения, а расчет пропускной способности таких радиосетей выполняется относительно просто.

Но даже не увеличение задержек в маломощных радиосетях «узкополосного Интернета вещей» (с которыми напрямую связаны пропускная способность радиосети и время реакции АСУ) являются основным ограничением. Главной проблемой остается низкая безопасность такой радиосети особенно, если сравнивать ее с технологической радиосетью обмена данными. А этот недостаток является системным и не может быть устранен, поскольку для работы маломощных устройств используется «открытый» (читай: «доступный всем») радиочастотный диапазон. Это сродни непредсказуемой жизни на проходном дворе в отличие от спокойной жизни на закрытой охраняемой территории.

Специалисты определяют следующие три основные области угроз для «промышленного Интернета вещей», со стороны:

- периферийных устройств, датчиков и промышленных контроллеров;
- протоколов передачи данных и IoT-шлюзов;
- аналитических систем и конечного ПО.¹⁷

К «зоне ответственности» узкополосной радиосети обмена данными относится только первая из них, представляющая собой нижний уровень системы. Поскольку этот уровень является наиболее разветвленным, именно его защита вызывает наибольшую головную боль и связана с наибольшими материально-финансовыми затратами.

И именно эта угроза практически полностью снимается внедрением технологической радиосети обмена данными. Посудите сами.

Радиосети малого радиуса действия, которые предлагается рассматривать в качестве основного средства обмена данными для «промышленного Интернета вещей», то есть, перспективных АСУ ТП, как и хорошо всем знакомые сети WiFi, используют открытый и доступный всем радиочастотный ресурс. Любой желающий может совсем недорого приобрести такое устройство в ближайшем магазине и, при наличии определенных знаний и навыков, подключиться к такой радиосети, все пользователи которой размещаются по соседству. И беспрепятственно работать на частотах, как раз и предназначенных для коллективного использования всеми желающими. Выходная мощность для работы на этих частотах серьезно ограничена, что позволяет разрабатывать и производить недорогое оборудование, которое и делает его не только привлекательным, но и общедоступным. «Дешево – это хорошо!» - но я не соглашусь с этим утверждением, по-моему: «Дешево – это прекрасно!».

Однако, к глубокому сожалению и к безграничному счастью, не всегда и не везде. Выделенный для работы технологических радиосетей обмена данными частотный ресурс – среда обмена данными – является защищенным. Он полностью (пока не всегда и не везде, но все к тому идет) контролируется соответствующими службами Регулятора¹⁸, который

¹⁷ По данным компании Positive Technologies, www.ptsecurity.com.

¹⁸ Регулирование использования радиочастотного спектра является исключительным правом государства и обеспечивается в соответствии с международными договорами Российской Федерации и законодательством Российской Федерации посредством проведения экономических, организационных и технических мероприятий, связанных с конверсией радиочастотного спектра и направленных на ускорение внедрения перспективных технологий, обеспечение эффективного использования радиочастотного спектра в

контролирует доступ к нему и обеспечивает безопасную эксплуатацию. Появление в работе на выделенных радиочастотах «незарегистрированных» абонентов является нарушением действующего законодательства, поэтому такие абоненты оперативно выявляются и «получают по рукам». Так что владельцы технологических радиосетей обмена данными находятся под защитой не только собственной службы безопасности, но и государства.

Технологическая радиосеть обмена данными развертывается на существенно большей по сравнению с радиосетью малого радиуса действия территории и для этого строится по архитектуре «точка – много точек» с работой через базовую станцию или группу таких станций. Такая структура позволяет получать удаленный доступ к сети всем ее пользователям только с позиции БС, которая размещается в точке, обеспечивающей радиовидимость. И это дополнительный «системный» уровень защиты. «Взломать» технологическую радиосеть обмена данными значительно сложнее, нежели радиосеть малого радиуса действия¹⁹.

Результаты сбоя или отказа в работе промышленной системы, вызванные, в том числе, в связи с отказом работы радиосвязного оборудования, как правило, оказываются более дорогими, нежели стоимость самой радиосети. В связи с этим не только к периферийному оборудованию, датчикам и промышленным контроллерам, но и к беспроводным средствам обмена данными предъявляются повышенные требования в части надежности и живучести, а это вступает в серьезное прямое противоречие требованию о низкой стоимости программно-технических средств «промышленного Интернета вещей». Поэтому в нашем случае «лучше перебдеть, чем недобдеть», чтобы не просто не отвечать за серьезные последствия аварий и сбоев в работе АСУ ТП, а максимально снизить саму вероятность возникновения таких событий.

Так что во всех трех описанных выше приложениях допускается и настоятельно рекомендуется использование узкополосных технологических радиосетей обмена данными, а не радиосетей малого радиуса действия, работающих в доступных всем и каждому диапазонах радиочастот. Целесообразность такого решения даже привлекла внимание крупных производителей оборудования сотовой связи, которые попытались адаптировать выпускаемое оборудование общего назначения к задачам удаленного управления и сбора данных. В результате появились такие решения как, например, private LTE²⁰, очень мощная современная технология в области обмена данными.

По своему определению, радиосеть private LTE фактически является одним из вариантов реализации технологической радиосети связи (далее рассматриваем ее только применительно к решению задачи обмена данными, поскольку требования к сети, предъявляемые «голосовым обменом», существенно отличаются) и представляет собой попытку создания таких радиосетей на радиочастотном ресурсе оператора сотовой связи.

Однако, не следует забывать, что технология, заложенная в радиосети LTE, изначально разрабатывалась для обмена голосовыми сообщениями и мультимедийной информацией, имеющей значительные объемы, то есть существенно более широкого круга задач, нежели

социальной сфере и экономике, а также для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. (в ред. Федерального закона от 05.04.2016 № 104-ФЗ).

¹⁹ Более подробно информация о безопасности технологических радиосетей обмена данными представлена в Техническом бюллетене ООО «НЦПР», выпуск 03, <https://flexlab.ru/technical-bulletin/98-vypusk-03-sob/file>.

²⁰ **Private LTE** – это выделенная радиосеть, предназначенная для решения технологических задач предприятия. Сеть Private LTE построена в рамках конкретного предприятия и изолирована от публичных сетей мобильной связи.

промышленная радиосеть удаленного управления и сбора данных, обслуживающая работу типовой АСУ ТП. Так что в отношении этой технологии применительно к промышленности в целом и АСУ ТП в частности как нельзя лучше подходит фраза М. Жванецкого из монолога «Прекрасное настроение»: «Если других туфлей не видел, наши вот такие! Если других машин не видел, «Запорожец» вот такой! И все!». И ее продолжение от бабушки: «Если не работал с технологической радиосетью обмена данными, то и сеть общего пользования может показаться верхом совершенства».

Поэтому выход есть! Технические решения в области технологических радиосетей обмена данными не являются закрытыми, они доступны специалистам. Равно как и многолетний теоретический и практический опыт развертывания и эксплуатации таких радиосетей. И эти технические решения однозначно более эффективны при использовании в промышленных приложениях (прим. равно как и в приложениях для сельскохозяйственного производства и ряда других областей человеческой деятельности). В данном случае можно с уверенностью поставить диагноз и заодно определить правильный вектор дальнейшего развития: «Лучшее - враг хорошего» (Ф. Вольтер).

И это полностью укладывается в принятые для промышленности (а еще и для медицины, и не только) консервативные подходы, которые, как показывает опыт, позволяют уйти из зоны поиска приключений, избежать ненужных неприятностей и добиться надежной работы технически сложной системы, каковой, несомненно, является АСУ ТП.

Так почему бы мощным и успешным компания сотовой связи не взять под свое крыло создание на всей территории России инфраструктуры «отраслевой» связи для промышленных предприятий в части обеспечения надежного функционирования АСУ ТП, используя для этого не «инородные» для промышленности технологии типа private LTE, а родные, проверенные и близкие сердцу технические решения для технологических радиосетей обмена данными? И это в равной степени относится к сельскохозяйственному производству, которое постепенно становится одним из ключевых сегментов российской экономики. Особенно, учитывая современный взрывной рост перспективных технологий в области земледелия в целом и орошаемого земледелия в частности.

Поэтому предлагаю рассмотреть и оценить целесообразность такого решения в сельском хозяйстве, которое также входит в сферу влияния «промышленного Интернета вещей», на примере точного земледелия²¹.

Основными частными задачами при внедрении и использовании принципов точного земледелия в сельскохозяйственном производстве являются передача и прием:

– дифференциальной поправки (коррекции)²² с целью повышения точности позиционирования сельскохозяйственной техники в поле;

²¹ **Точное земледелие** – комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологию переменного нормирования (Variable Rate Technology), технологии дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и решения технологии «интернет вещей» (IoT).

²² **Дифференциальная коррекция** – система повышения точности сигналов ГНСС, заключающаяся в исправлении измеренных приемником псевдодальностей до спутников поправками к ним, полученными извне, от достоверного измерителя (базовая или опорная станция). При этом компенсируются как атмосферные искажения, так и эфемеридные ошибки.

- телеметрической информации (данных о местоположении, оперативном и техническом состоянии оборудования и агрегатов в поле);
- данных от инструментальных средств контроля, включая подвижные (например, беспилотные летательные аппараты) и стационарно устанавливаемые в поле датчики;
- сигналов управления, оповещения и единого времени;
- метеорологической информации.

С выходом в поле современной техники и, особенно, появлением автономных роботизированных комплексов дополнительно появляется задача оперативно-диспетчерского управления их работой: удаленный ввод и корректировка рабочих программ и заданий.

По оценке отечественных и зарубежных специалистов, наиболее эффективно решение вышеупомянутых задач обеспечивается средствами технологической радиосети обмена данными на базе узкополосных радиомодемов ОВЧ диапазона, позволяющей решать их практически без ограничений. При использовании вышеуказанного диапазона обеспечивается надежная работа на достаточно большую дальность (номинально – несколько десятков километров против нескольких километров у базовой станции сотовой связи). Такая дальность позволяет существенно упростить инфраструктуру радиосети и снизить не только стоимость ее развертывания, но и, что более важно, длительной эксплуатации и поддержания работоспособности.

Следует отметить, что высота современных серийно выпускаемых радиомачт составляет 16-90 метров (при этом более низкие используются чаще). В этом случае дальность прямой радиовидимости составляет 16-37,9 км. Для уверенного приема на максимальную дальность с вероятностью 0,999 в технологической радиосети обмена данными, функционирующей в диапазоне ОВЧ достаточно выходной мощности в 10 Вт (при чувствительности приемника, составляющей -100 дБм – в образцах современной аппаратуры это значение применимо для работы на скорости 48 кбит/с, что представляется даже избыточным для большинства промышленных приложений). При этом как на базовой станции, так и на удаленном объекте используется оборудование с одинаковой выходной мощностью и чувствительностью.

Дальность прямой радиовидимости для сети стандарта LTE при использовании радиомачт вышеуказанной высоты не изменится (законы физики не обманешь). Но в составе данных радиосетей допускается применение аппаратуры с выходной мощностью до 40 Вт на базовой станции и до 0,316 Вт на удаленном объекте. Дальность связи в этом случае рассчитывается по наименее мощному устройству в составе радиосети и применительно к рассматриваемому случаю для сопоставимой чувствительности она составит менее 500 метров при вероятности приема сигнала 0,999 в диапазоне 2500-2570 МГц²³.

То есть какими будут затраты на развертывание инфраструктуры связи по стандарту LTE для варианта обслуживания полевых работ, например, на трех полях площадью в пару квадратных километров каждое, удаленных одно от другого на несколько километров? А если держать в уме информацию Минсельхоза России о том, что в 2024 году общая

²³ Приложение № 1 к решению ГКРЧ от 2 октября 2012 года N 12-15-02 «Основные тактико-технические характеристики РЭС стандарта LTE и последующих модификаций в полосах радиочастот 791-862 МГц, 2500-2570 МГц и 2620-2690 МГц».

посевная площадь в стране должна была увеличиться на 300 тыс. га, а плановый показатель по сельхозугодьям составляет 84,5 млн га...

Как оказывается, информация, необходимая для использования в ходе полевых работ, может быть весьма разнообразной, хотя ее общий объем относительно невелик, а отдельные потоки данных носят ярко выраженный сезонный характер: сеть максимально загружена в период проведения полевых работ и практически бездействует зимой. А вот абонентов, использующих в поле голосовую связь, явно недостаточно для обоснования развертывания в таких районах сотовой сети с полноценным мультимедийным сервисом.

Один из видов используемой при проведении полевых работ информации представляет собой дифференциальные поправки, предназначенные для повышения точности позиционирования подвижных объектов (сельскохозяйственной техники и оборудования). В настоящее время на территории страны развернуто более 1000 опорных станций²⁴ ГНСС²⁵ в составе нескольких десятков сетей, что позволяет получать услуги по высокоточному позиционированию, в первую очередь, в интересах геодезических и кадастровых работ, а также в интересах реализации методов точного земледелия в сельском хозяйстве на относительно незначительной части территории страны. Эти опорные станции могут стать основой для единой сети в масштабах всей Российской Федерации. И для создания такой сети лучше всего подходят бизнес-процессы, проверенные и отработанные при развертывании федеральных сетей сотовой связи, а в качестве технической основы – программно-технические средства, предназначенные для развертывания узкополосных технологических радиосетей обмена данными.

Трансляция дифференциальной поправки производится циркулярно для всех абонентов сети (в так называемом широковещательном²⁶ режиме) с периодичностью не чаще раза в секунду без подтверждения получения. Продолжительность передачи такой поправки в типовой технологической радиосети обмена данными составляет не более 100 мс, как правило, на скорости 9,6 кбит/с, то есть занимает всего 10% ее пропускной способности. А это значит, что остальные 90% могут быть использованы с не меньшей пользой как для компании-оператора, так и для абонентов радиосети.

Каким образом? Обращайтесь, по этому поводу у нас имеются интересные технические решения, которыми мы готовы поделиться как с компаниями-операторами сотовой связи, так и с ведущими компаниями-интеграторами, имеющими соответствующий опыт создания и эксплуатации подвижных автоматизированных систем управления различного назначения или твердое намерение продуктивно поработать в этом направлении.

Первый пример и положительный опыт использования стационарной технологической радиосети обмена данными, техническое сопровождение которой производится

²⁴ **Опорная (базовая станция) ГНСС** – стационарное устройство для непрерывного обеспечения ГНСС-приемников измерительной и корректирующей информации для постобработки и высокоточного позиционирования в реальном времени.

²⁵ **Глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigation Satellite System - GNSS)** – это спутниковые системы, используемые для определения местоположения в любой точке земной поверхности с применением специальных навигационных или геодезических приемников.

²⁶ **Широковещательный канал, широковещание** ([англ. broadcasting](#)) – метод передачи данных в компьютерных сетях, при котором поток данных (каждый переданный пакет в случае пакетной передачи) предназначен для приема всеми участниками сети.

специалистами «внешней организации» – интегрированного провайдера цифровых услуг и решений – уже «имеет место быть». И получен он в топливно-энергетическом комплексе.

ООО «Информ» (ранее ООО «ЛУКОЙЛ-информ», дочерняя компания ПАО «Ростелеком»²⁷) на протяжении достаточно длительного периода времени обеспечивает эксплуатацию и развитие радиосети управления телемеханикой и автоматизированного учета электроэнергии в системе обустройства месторождений и транспортировки нефти в интересах подразделений ПАО «ЛУКОЙЛ»²⁸ (как сейчас это модно называть «на условиях аутсорсинга»). Только в филиале ООО «Информ» в г. Усинск (зона ответственности - Республика Коми) в составе радиосети используется более 500 узкополосных радиомодемов, работающих в ОВЧ (управление телемеханикой) и УВЧ (Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии) диапазонах.

Формирование сети стартовало в начале века с проведения натуральных испытаний. В качестве основного подопытного была выбрана АСКУЭ, как наименее чувствительный к проблемам и сбоям объект. Но результаты испытаний продемонстрировали высокие показатели радиосети в части надежности, скорости реакции и пропускной способности, поэтому проверенное «на голове» АСКУЭ техническое решение было распространено и на другие объекты. В системе управления телемеханикой одна базовая станция позволила производить опрос до 100 кустовых площадок, находившихся на значительном удалении (типовое удаление контролируемого объекта от точки установки базовой станции составляет 15 км).

Первоначально эксплуатацию радиосети выполняли профильные специалисты ООО «ЛУКОЙЛ-информ», а с 2020 года начался перевод управления сетью в ООО «Информ», который полностью завершился в середине 2023 года, что обеспечило завершение формирования отраслевого центра компетенций и позволило ПАО «Ростелеком» продолжить развитие перспективных проектов в нефтегазовой сфере.

Добавим немного «официоза», поскольку это важно. Валерий Ермаков, старший вице-президент по работе с корпоративным и государственным сегментом «Ростелекома» по этому поводу заявил следующее: «Приобретаемый телекоммуникационный бизнес – привлекательный для «Ростелекома» актив, поскольку дает возможность эффективнее обслуживать подразделения группы «ЛУКОЙЛ» и дополнительно предлагать заказчику весь спектр цифровых продуктов. Кроме того, синергия, которая возникает от объединения отраслевой экспертизы партнера с нашей мощной инфраструктурой, открывает новые возможности для заказчиков «Ростелекома» в нефтегазовой отрасли. Мы готовы предложить самые востребованные технологии и комплексные решения для бизнеса, в том числе используя сервисную модель оказания услуг».

Лучше и не скажешь. И это уже хороший пример (и руководство к действию) для наших любимых операторов сотовой связи, имеющих весь необходимый набор компетенций, позволяющих активно использовать аппаратно-программные решения, применяемые при

²⁷ ПАО «Ростелеком» – крупнейший в России провайдер цифровых услуг и решений.

²⁸ ПАО «ЛУКОЙЛ» – одна из крупнейших вертикально интегрированных нефтегазовых компаний в мире, на долю которой приходится более 2% мировой добычи нефти и около 1% доказанных запасов углеводородов. Обладая полным производственным циклом, Компания полностью контролирует всю производственную цепочку – от добычи нефти и газа до сбыта нефтепродуктов. Более 110 тысяч человек объединяют свои усилия и талант, чтобы обеспечить Компании передовые позиции на рынке.

создании технологических радиосетей обмена данными. Так что в перспективе этот самый аутсорсинг может стать ключевым направлением развития беспроводных сетей связи в промышленности, которое можно будет назвать и «промышленным Интернетом вещей», если это поможет делу.

А развиваться здесь есть куда. Даже в филиале ООО «Информ» в г. Усинск до сих пор продолжается эксплуатация технологических радиосетей на морально устаревшем радиотехническом оборудовании (аналоговых радиостанциях производства компании «Моторола») на не менее чем трех действующих месторождениях.

2 И Опыт, сын ошибок трудных²⁹ (послесловие)

А вот практическая задачка на засыпку (будьте уверены, она все еще актуальна на момент Вашего ознакомления с материалами данного выпуска технического бюллетеня). Сможете предложить решение?

В горячем цеху металлургического предприятия используется балочный/козловой кран, система управления которым организована на контроллерах производства компании Siemens по протоколу TCP/IP. При этом каждые 50 мс контроллер транслирует проверочное сообщение, при отсутствии подтверждения которого работа крана блокируется. Удаленное управление каждым краном в настоящее время производится по беспроводной сети обмена данными на основе технологии IEEE 802.11 (WiFi). До определенного момента все работало как часы.

Однако, в связи с увеличением интенсивности применения в цехе различных «гаджетов», использующих WiFi, в системе управления стали происходить недопустимые задержки и сбои. Кроме того, служба безопасности предприятия выдала предписание на прекращение использования сети WiFi в интересах производства (и надо отметить, что для этого она нашла достаточно веские основания, так что аналогичный процесс «запрета» происходит и на других предприятиях и не только металлургических). В связи с этим возникла необходимость модернизации беспроводной сети управления и сбора данных.

Готовы предложить свое решение для такой задачки?

Ну и пришло время подбить бабки³⁰

1. Технологии «промышленного Интернета вещей» могут эффективно использоваться при создании современных Автоматизированных систем управления технологическими процессами. Наиболее перспективными из них следует считать технологии больших данных и облачных вычислений. При этом последние целесообразно организовывать на базе не публичных, а частных облаков.
2. В части беспроводной связи в промышленности более целесообразно, в том числе, по причине обеспечения необходимого уровня безопасности, использовать узкополосные технологические радиосети обмена данными, как наиболее полно

²⁹ А. С. Пушкин, 1829 год.

³⁰ Подбивать бабки ([разг.](#)) – подводить итоги, подытоживать что-либо.

- удовлетворяющие техническим требованиям и имеющие необходимый положительный опыт практического применения в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве.
3. Аутсорсинг в узкополосных технологических радиосетях обмена данными может стать эффективным и весьма перспективным для всех потенциальных участников – операторов связи, системных интеграторов и корпоративных пользователей – вариантом реализации технологических радиосетей обмена данными в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте, равно как и в других приложениях, в первую очередь, связанных с необходимостью высокоточного позиционирования подвижных и стационарных средств.
 4. Предложения по решению задачи, изложенной в п. 4, можно представлять по адресу sm@flexlab.ru. Огромное спасибо за отклик и Ваше мнение по теме.

ООО «Независимый исследовательский центр
перспективных разработок» (НИЦПР)

Flexlab
с 1991 года

115583, Москва, ул. Генерала Белова 26, офис 519

Тел. +7 (499) 113 26 98

Факс. +7 (499) 113 26 98

Моб. +7 (915) 465 72 89

E-mail: sm@flexlab.ru

<https://www.flexlab.ru>