

Из цикла «Дедушка топит за технологическую радиосеть»

Интеллектуальная энергосеть и технологическая радиосеть удаленного управления и сбора данных

две стороны одной медали

Сергей Маргарян

В настоящей статье изложены некоторые подходы к эффективному применению современной узкополосной технологической радиосети обмена данными в интересах создания и обеспечения функционирования перспективной интеллектуальной сети электроснабжения (Smart Grid²). Ее основную идею можно выразить как официальную рекомендацию от дедушки: «Люди, не забывайте, что профессиональные радиосети были созданы вами и для вас. Они позволяют сделать вашу интеллектуальную сеть электроснабжения лучше, а вас освободить от ненужной головной боли при ее эксплуатации». Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с созданием и эксплуатацией автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями различного уровня.¹

3. Безопасность — наше все

Техническое управление электроэнергетическими объектами представляет собой довольно чувствительную к авариям и сбоям сферу деятельности, а живет и развивается она на основе технологий, создаваемых не только для нее любимой.



Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (<https://old.rkn.gov.ru/news/rsoc/news53030.htm>).

Одно из ключевых направлений развития средств промышленной автоматизации связано с внедрением и более широким применением стека протоколов обмена данными TCP/IP³. Преимущества от использования этого протокола неоспоримы, и это уже не требует доказательств, поскольку неоднократно проверено и подтверждено практикой, которая, как известно, является критерием истины⁴.

Поддержка данного протокола обеспечивается фактически во всех вышеперечисленных видах сетей обмена данными, кроме любительских сетей малого радиуса действия. Большинство моделей современного оконечного оборудования для промышленной автоматизации ориентировано на возможность работы по этому протоколу. Так что это уже данность, с которой нужно приспособиться жить в мире и найти не только эффективные, но и правильные, читай: «безопасные» варианты ее использования.

Рождение и развитие протокола TCP/IP происходило в борьбе «брони-снаряда»: хорошие парни старались соорудить мощную защиту, а плохие — найти в этой защите «лазейки» и использовать их в своих корыстных интересах. Поэтому вопрос безопасности работы в сетях с использованием вышеуказанного протокола до сих пор не потерял своей актуальности. Более того, события января 2025 года в сетях российских сотовых операторов и ПАО «Ростелеком» говорят о том, что хорошие парни иногда проигрывают отдельные схватки в этой непримиримой борьбе. Ущерб от таких проигрышей оказывается немалым, а в электроэнергетике он может стать и катастрофическим.

Поэтому разработчикам необходимо семь раз подумать прежде, чем решиться на подключение ответственной автоматизированной системы к каналам сетей общего пользования. Это все равно, что распахнуть двери собственного дома и сказать злоумышленникам: «Входите, пожалуйста, мы будем с вами активно и бескомпромиссно бороться на нашей территории». По мне так лучше остановить их перед наглухо закрытой дверью. А вы как думаете?

В современных технологических радиосетях обмена данными также используется протокол TCP/IP. Но сама по себе технологическая радиосеть, в отличие от любой сети общего пользования, является «закрытой зоной» — чужие здесь не ходят.

Почему? Да потому, что хлопотно это.

Во-первых, получить в свое распоряжение оборудование, приспособленное для работы на узкополосных каналах диапазона ультракоротких волн (УКВ) не так просто, оно не продается в любом магазине. Да и приобрести его может позволить себе далеко не каждый злоумышленник, не по карману будет (мы не говорим здесь о профессиональных командах, поддерживаемых иностранными государствами). А уж разработать самостоятельно, тем более. Так что это тот самый редкий случай, когда относительно высокая цена (в отличие от завышенной и необоснованно высокой) — это благо.

Во-вторых, получить доступ к технологической радиосети обмена данными не так просто, как это может показаться специалисту, далекому от радиосвязи. Обычно технологическая радиосеть работает на достаточно большой территории (номинально диаметром 50 км) и имеет архитектуру «точка — много точек». Чтобы обеспечить надежную связь на такую дальность, используются базовые станции,

устанавливаемые на возвышенных участках местности и работающие через антенны, подвешенные на высоких мачтах. Таким образом, чтобы получить физический доступ ко всем узлам, необходимо работать с позиции БС, что практически невозможно.

В-третьих, работа в эфире на выделенных радиочастотах жестко контролируется не только технической службой ее владельца, но и Регулятором, а значит государством, то есть, Российской Федерацией. Есть желающие добровольно попробовать «пободаться» с государственной машиной и ее техническими возможностями (существующими и перспективными, поскольку средства и методы контроля радиоспектра, который является «охраняемым» государственным ресурсом, постоянно совершенствуются)⁵?

4. Живы будем, не помер

Любая автоматизированная система должна стремиться к идеалу в части надежности⁶ и живучести⁷. Особенно актуально это утверждение для ответственных систем и их компонентов, связанных с работой в реальном масштабе времени, каковой, однозначно, является автоматизированная система диспетчерского управления энергообъектами.

Параметры надёжности и живучести радиосети закладываются на этапе ее проектирования и развертывания. Сети связи общего пользования создаются в соответствии со стандартами, рассчитанными на своих основных пользователей — частных абонентов. Эти стандарты достаточно высоки, но все равно, в большинстве случаев не дотягивают до требований, предъявляемых АСДУ Э.

В настоящее время имеются широкие возможности организации спутниковых линий связи практически на всей территории Российской Федерации, за исключением районов, расположенных в полярных широтах. Однако, по результатам оценки, произведенной отраслевыми специалистами, при использовании спутниковых каналов связи для организации технологических сетей связи следует помнить, что надёжность одиночного спутникового канала не всегда удовлетворяет требованиям к сетям технологической связи. Так, коэффициент готовности отдельно взятой спутниковой линии связи, по оценкам различных источников, колеблется от 0,985 до 0,998, что в большинстве случаев недостаточно для организации связи ответственных технологических процессов.

Чтобы дедушка не забыл, давайте запишем формулу расчета того коэффициента готовности (для пущей убедительности в англоязычном исполнении):

$$K = MTBF / (MTBF + MTTR),$$

где:

- MTBF (Mean Time Between Failure) — среднее время наработки на отказ (средняя наработка; между отказами);
- MTTR (Mean Time To Repair) — среднее время восстановления работоспособности (среднее время до восстановления).

Следует отметить, что коэффициент готовности для сотовых сетей общего пользования не сильно отличается от аналогичного параметра для сетей телефонной связи, данные о которых представлены в Таблице 2.

Технические нормы на показатели надёжности сетей связи (Приложение № 2 к Требованиям к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования).

№ п/п	Тип сети электросвязи	Коэффициент готовности (КГ), норма
1.	Сеть междугородной и международной телефонной связи	не менее 0,999
2.	Сеть зонавой телефонной связи	не менее 0,9995
3.	Сеть местной телефонной связи	не менее 0,9999
4.	Телеграфная сеть связи и сеть «Телекс»	не менее 0,9999
5.	Сеть передачи данных	не менее 0,99

Для сетей связи малого радиуса действия, равно как и для широкополосных радиосетей обмена данными данный параметр вообще не нормируется.

Как видите, в части обмена данными показатель находится далеко от минимально требуемых трех девяток.

В настоящее время технологические радиосети обмена данными строятся с использованием «прозрачных»⁸ и «пакетирующих»⁹ радиомодемов, использующих последовательный в первом случае либо последовательный и сетевой во втором интерфейсы. Первая группа оптимизирована для обмена телеметрической информацией и имеет ограниченные возможности по дополнительному сервису (например, не позволяет удаленно производить настройку радиомодема). Вторая – поддерживает полноценную работу протокола TCP/IP и все предоставляемые этим протоколом сервисы. В связи с этим, по мнению дедушки, вторая группа радиомодемов представляется более предпочтительной для обслуживания интеллектуальных радиосетей.

Следует отметить, что среднее время наработки на отказ современного радиотехнического оборудования для узкополосных технологических радиосетей обмена данными составляет не менее 400 тысяч часов для «пакетирующих» радиомодемов (более 960 тысяч часов для «прозрачных») при среднем времени до восстановления 0,3 часа (естественно, если на объекте присутствует ЗИП, что обязательно учитывается при проектировании радиосети, и технический специалист, способный переключить три кабеля: антенный, информационный и питания). Цифры в приведенную выше расчетную таблицу можно подставить самостоятельно, результат будет очень сильно стремиться к единице.

Но это то, что касается технологических радиосетей обмена данными, которые изначально создавались для решения ответственных задач. А вот в радиосетях, адаптируемых к таким задачам, все выглядит достаточно бледненько. Ниже оценка, сделанная ведущими отраслевыми специалистами¹⁰, для радиосетей управления телемеханикой, требования к которым очень близки к требованиям, предъявляемым к технологическим радиосетям для АСДУ Э. К примеру, для организации канала связи систем телемеханики газотранспортных систем величина коэффициента готовности в зависимости от значимости трубопровода должна составлять от 0,999 до 0,99993¹¹.

Так вот, в целях обеспечения правильности проектных решений при организации технологической связи вдоль магистрального газопровода был проведен сравнительный анализ вариантов использования спутниковой связи для задач телекоммуникационного взаимодействия совместно с различными наземными линиями связи (ВОЛС¹², ЦРРЛ¹³) на примере типового участка магистрального газопровода.

Одним из аспектов сравнения вариантов стала надёжность информационного обмена для линейной телемеханики как наиболее требовательного звена в обеспечении надёжности информационного обмена. Проведенный анализ позволил сделать следующие выводы:

- спутниковые системы связи по своим показателям (времени доставки информации, автономности работы, климатическим нормам, сравнительно малому времени развертывания) отвечают требованиям, предъявляемым к каналам связи систем линейной телемеханики магистральных газопроводов;
- по показателю надёжности спутниковая система связи не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к каналам связи систем линейной телемеханики магистральных газопроводов, кроме случая с двумя разнесенными земными станциями, работающими на разные космические аппараты;
- принимать решение о необходимости установки двух станций спутниковой связи в одном месте, работающих на разные космические аппараты (прим. если такая возможность вообще имеется), целесообразно после проведения натурных испытаний такого варианта организации связи, руководствуясь экономической целесообразностью, поскольку затраты на связь увеличиваются минимум в два раза (и это только в случае, когда имеется возможность такого подключения);
- спутниковые системы связи могут быть использованы для организации «пионерной» связи на начальном периоде эксплуатации магистральных газопроводов, а также для резервирования наземных систем связи после завершения строительства наземных линий связи (ВОЛС или ЦРРЛ);
- наиболее предпочтительным с точки зрения надёжности обеспечения связи для комплексного решения задач связи и телемеханики представляется вариант сочетания наземных линий связи (ВОЛС или ЦРРЛ) и системы спутниковой связи с размещением малых станций спутниковой связи на каждом контрольном пункте телемеханики (КП ТМ) и на производственных площадках (ПП).

В исключительных случаях при полном отсутствии наземных линий связи и при необходимости повысить надёжность доставки телеметрической информации рекомендуется применять вариант с использованием систем спутниковой связи на КП ТМ и ПП, работающих через два КА:

- при сжатых сроках строительства магистральных трубопроводов как временное решение;
- при ограничениях по финансированию на период до развертывания наземных линий связи;
- при наличии каких-либо ограничений на применение наземных телекоммуникационных технологий (особенности рельефа, удаленность и т. п.).

Типовое расстояние от КП ТМ до ПП составляет около 15 км. Вы уже посчитали во что вам или вашему заказчику обойдется обеспечение надёжности передачи данных на такое расстояние от каждого контролируемого пункта с использованием двух комплектов оборудования, работающих через две системы спутниковой связи?

Принцип дублирования (резервирования) с целью повышения надёжности обмена данными широко применяется и в сетях сотовой связи: например, в программируемых контроллерах или внешних радиомодемах для таких радиосетей, выпускаемых некоторыми отечественными предприятиями, предусмотрена установка двух SIM-карт различных операторов связи. Учитывая относительно невысокую стоимость специальных тарифов для передачи телеметрических данных, такое решение может выглядеть вполне обоснованным. Однако, как все мы хорошо знаем, Дьявол кроется в деталях. В этом случае эксплуатирующей организации приходится платить вдвойне, при этом 50% – за воздух, поскольку одновременно используется сеть только одного оператора связи. И, самое главное, в большинстве случаев оба оператора связи используют единые антенно-мачтовые сооружения, размещенные в одной точке, имеющие единую систему электропитания и магистральной связи. Так что такое решение для повышения надёжности, что мертвому припарка.

Об использовании дублирования в любительских сетях малой дальности и широкополосных сетях общего пользования можно и нужно забыть, от слова «совсем».

А что с технологическими радиосетями обмена данными в части выполнения необходимых требований по надёжности? Тут все как раз в шоколаде.

Оборудование базовых станций для технологических радиосетей выпускается, как правило, в нескольких вариантах, один из которых — с повышенной надёжностью. То есть в составе серийно выпускаемой модели имеется два приемопередатчика, переключение между которыми в случае выхода из строя одного из них производится автоматически. Можно не упоминать о том, что и электропитание таких устройств организовано по двум линиям, а в работе могут использоваться два антенно-фидерных устройства. То есть, в построении БС отсутствует единая точка отказа.

Кроме того, в некоторых моделях базовых станций реализована схема адаптации скорости обмена данными к условиям приёма. То есть, в случае изменения условий приёма БС автоматически снижает или повышает скорость обмена данными, обеспечивая увеличение вероятности/надёжности их доставки или повышение пропускной способности радиосети. При работе в такой радиосети на базовой станции могут использоваться различные скорости обмена данными, оптимизированные для подключенных к ней индивидуальных удаленных радиомодемов.

Живучесть технологической радиосети обмена данными обеспечивается ее архитектурой, позволяющей полностью или частично взаимно перекрывать оперативные зоны с позиций нескольких (обычно двух) соседних базовых станций. Такие решения прекрасно зарекомендовали себя в распределенных технологических радиосетях для подвижных объектов, которые дедушка будет рад обсудить «в другой раз и в другом месте» с теми, у кого эта тема вызовет живой интерес, обращайтесь.

Оказывающие серьезное влияние на надёжность параметры безотказности и ремонтпригодности, являются «частной собственностью» и индивидуальной характеристикой конкретного технического средства, поэтому их необходимые значения, в принципе, могут быть достигнуты в «железке» для любых видов радиосетей. Хотя и при этом следует понимать, что оборудование для сетей связи общего пользования изначально разрабатывается и выпускается с учетом «требований большинства», то есть обычных «физических лиц», большая часть которых о коэффициентах надёжности никогда и слыхом не слыхивала.

И ещё одним важным элементом любой радиосети является полный контроль за ее функционированием, который обеспечивается подсистемой мониторинга технического состояния, позволяющей дополнительно повысить надёжность работы. В сетях общего пользования такой элемент обязательно присутствует, но его действие распространяется только на ключевые компоненты сети — спутники-ретрансляторы, а также наземные базовые станции и ретрансляторы. В отличие от последних в технологической радиосети контролю подлежат не только базовые станции, но и оборудование подключенных к ним удаленных объектов, что позволяет в близком к реальному масштабе времени мониторить «здоровье» всех ее участников. Такие подсистемы уже доказали свою эффективность, но тут имеется очень хороший потенциал для развития, в том числе с использованием нейросети (такой модной в настоящее время технологии «искусственного интеллекта»).

Ну вот, на этой жизнеутверждающей ноте можно и завершить настоящую статью о взаимной любви и крепкой дружбе интеллектуальной энергосети и технологической радиосети управления и сбора данных, но не собственно тему, по которой многое ещё не сказано. И остается только сделать

ВЫВОДЫ:

1. Современная интеллектуальная энергосеть не может существовать отдельно от технологической радиосети управления и сбора данных, обеспечивающей ее функционирование.
2. Обеспечивающая работу интеллектуальной энергосети подсистема обмена данными должна обладать характеристиками надежности, не уступающими аналогичным характеристикам других, используемых в ее составе программно-технических средств.
3. Дополнительная надёжность функционирования и живучесть технологической радиосети управления и сбора данных должна обеспечиваться применением соответствующих технических и организационных решений, а также специальными средствами мониторинга технического состояния, позволяющими в режиме времени, близком к реальному, контролировать ее работу и локализовать сбои.
4. Представляется целесообразным применение для обеспечения работы перспективной интеллектуальной сети энергоснабжения современных радиомодемов четвертого поколения, использующих для работы IP-протокол и позволяющих удаленно обновлять встраиваемое программное обеспечение.

Сноски

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. **Интеллектуальная сеть электроснабжения** ([англ. Smart grid](#)) – модернизированная [сеть электроснабжения](#), которая использует [информационные](#) и [коммуникационные](#) технологии для сбора данных об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяя автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии. ↩
3. **ТСР/IP** – набор протоколов, который задает стандарты связи между компьютерами и содержит подробные соглашения о маршрутизации и межсетевом взаимодействии. ↩

4. Карл Маркс, «Тезисы о Фейербахе». ↩
5. Более подробно вопросы обеспечения безопасности в узкополосных технологических радиосетях УКВ диапазона изложены в Техническом бюллетене «Узкополосные технологические радиосети управления и сбора данных УКВ-диапазона», выпуск 3: «Подвижные радиосети обмена данными для служб общественной безопасности». ↩
6. **Надёжность автоматизированной системы (надёжность АС)** – комплексное свойство АС сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность АС выполнять свои функции в заданных режимах и условиях эксплуатации. Примечание. Надёжность АС включает свойства безотказности и ремонтпригодности АС, а в некоторых случаях и долговечности технических средств АС (п.3.11 ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»). ↩
7. **Живучесть автоматизированной системы (живучесть АС)** – свойство АС, характеризуемое способностью выполнять установленный объём функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах (п.3.12 ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»). ↩
8. **«Прозрачный» радиомодем** – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа ещё называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации. ↩
9. **«Пакетирующий» радиомодем** – устройство, выполняющее передачу цифровых данных с их промежуточным преобразованием, разделением на пакеты (определённым образом оформленные блоки [данных](#)). Кроме передаваемых данных каждый пакет содержит служебную информацию, обеспечивающую поддержку соответствующего пакетного протокола. ↩
10. «Спутниковая связь как элемент единой сети технологической связи корпорации» Михаил Смычёр, главный специалист отдела связи ОАО «Гипрогазцентр», к.т.н. ↩
11. СТО Газпром 2-1.18-598-2011. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ПАО «Газпром». Типовые технические требования на технологическую связь. ↩
12. **ВОЛС (волоконно-оптическая линия связи)** – [волоконно-оптическая](#) система, состоящая из пассивных и активных элементов, предназначенная для передачи информации в оптическом (как правило, ближнем [инфракрасном](#)) диапазоне. ↩
13. **ЦРРЛ (цифровая радиорелейная линия)** – один из видов наземной [радиосвязи](#), основанный на многократной [ретрансляции](#) радиосигналов. Радиорелейная связь осуществляется, как правило, между стационарными объектами. ↩