

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 Grid<sup>2</sup>). 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.<sup>1</sup>*

## 1. Повторение — мать учения

«Электроэнергетические гуру» могут смело пропустить этот раздел, обоснованно полагая, что не найдут в нем ничего нового для себя. Но могут и снизойти до его прочтения, поскольку изложенная в нем информация вреда точно не принесет.



*(Интеллектуальные энергетические системы городов с активно-адаптивной сетью (Smart Grid): настоящее и будущее — Энергетика и промышленность России — № 07 (339) апрель 2018 года — [www.eprussia.ru](http://www.eprussia.ru) — информационный портал энергетика)*

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р) в качестве приоритетных направлений развития определяет создание высоко интегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети электроснабжения Smart Grid). В рамках решения этой задачи предусмотрено создание мощного комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени. Функционирование такого комплекса должно обеспечиваться системой связи, включающей в себя высоконадежные магистральные каналы связи между различными уровнями диспетчерского управления и дублированные цифровые каналы обмена информацией между удаленными объектами (потребителями) и центрами управления.

Собственно, ничего нового с технической точки зрения, поскольку по определению давно применяемые в электроэнергетике Автоматизированные системы диспетчерского управления энергообъектами (АСДУ Э) как раз и являются территориально распределенными многоуровневыми информационно-измерительными централизованными системами реального времени и предназначены для контроля и управления технологическими процессами и оборудованием на объектах электроснабжения промышленных предприятий и городских электрических сетей.

АСДУ Э может решать задачу технического учёта электроэнергии, а ещё выполнять следующие функции<sup>3</sup>:

- определять текущее состояние коммутационных элементов (функция ТС);

- измерять текущие значения технологических параметров — токов, напряжений, активной и реактивной мощностей и др. (функция ТИТ);
- контролировать интегральные значения технологических параметров (функция ТИИ);
- включать и отключать контролируемые объекты (функция ТУ);
- контроль оперативного напряжения цепей ТУ;
- сбор информации с цифровых измерительных преобразователей;
- сбор информации с устройств МП РЗА;
- сбор информации с интеллектуальных счетчиков электроэнергии;
- ретрансляция информации от других источников и систем;
- предварительная обработка информации в контроллерах с целью масштабирования, фильтрации, подавления помех и искажений измерительных сигналов;
- выявление изменений контролируемых параметров (выход за уставки или резкие изменения измеряемых параметров, срабатывание коммутационных элементов и т.п.) и оповещение об этом диспетчера;
- представление информации по измеряемым параметрам в табличной и графической формах, формирование и печать отчетов;
- ведение протокола текущих и аварийных событий, происходящих как на контролируемом пункте (КП), так и в пункте управления (ПУ);
- архивирование всех событий и измерений, ведение базы данных;
- контроль работоспособности каналов связи;
- технический и коммерческий учёт электроэнергии.

Следует добавить, что выполнение большинства вышеуказанных функций требует организации работы в режиме реального времени, а для их надежной работы необходима точная синхронизация аппаратно-программных средств по сигналам системы единого времени (СЕВ).

## 2. От общего к частному

Настоящая статья касается только средств обмена данными, позволяющих обеспечить надёжное функционирование современной интеллектуальной сети электроснабжения. Каким могут быть эти средства?

При их выборе можно исходить только из требований, которые предъявляются к ним со стороны основного пользователя – интеллектуальной сети электроснабжения — и технических возможностей собственно средств обмена данными.

Несомненно, основным средством управления сетью энергоснабжения и сбора данных о ее работе останутся проводные. Но надёжность работы системы управления предполагает резервирование, и резервирование сети обмена данными должно производиться за счет включения в состав АСДУ Э средств, использующих различные среды передачи данных, то есть, кроме проводных, ещё и

беспроводные. При этом в отдельных случаях беспроводные средства могут являться основными, поскольку далеко не всегда и не везде имеется возможность или целесообразность для прокладки проводов (кабелей). Так что давайте отдадим честь первым и перейдем к их братьям меньшим, которым не досталось для работы проводов и кабелей.

По сравнению с кабелями, номенклатура которых сводится к медным и волоконно-оптическим, «семейство беспроводных» представлено большим количеством видов, некоторые из которых вполне подходят для решения рассматриваемой задачи — обеспечения функционирования интеллектуальной сети энергоснабжения. К ним очень смело относят следующие виды сетей обмена данными:

- спутниковые;
- наземные общего пользования (сети сотовой связи);
- любительские малой дальности (сети, работающие в общедоступных диапазонах радиочастот);
- широкополосные сети общего пользования;
- профессиональные технологические<sup>4</sup> (использующие специально выделенный радиочастотный ресурс, контролируемый Регулятором — Государственной комиссией по радиочастотам<sup>5</sup>).

Сюда можно было бы добавить беспроводные оптические сети, работающие в инфракрасном диапазоне, но их технические характеристики слабо подходят к решению задач АСДУ Э и обеспечения функционирования интеллектуальных сетей энергоснабжения, поэтому предлагается оставить их в стороне.

Не последнюю роль в реализации любого проекта играет господин-товарищ рубль. И он давно доказал, что преимущества спутниковой связи наиболее полно проявляются при работе на удаление, как правило, более 1000 км. Поскольку основная масса АСДУ Э функционирует в относительно ограниченном районе, размеры которого обычно составляют десятки километров, использование спутниковой связи, по мнению рубля, оказывается неэффективным. Посудите сами. Любой спутник в радиосети выступает как обычный ретранслятор<sup>6</sup>, размещенный на удалении порядка 400-500<sup>7</sup> км (высота полета спутников связи на низких орбитах), что на порядок больше удаления аналогичного наземного ретранслятора. Отсюда и более высокие технические требования к абонентскому оборудованию и более высокие энергетические затраты при обмене данными. Кроме того, услуги спутниковой связи всегда предоставляются компаниями-операторами за соответствующую плату.

Следует добавить, что пропускная способность спутниковой сети вдвое ниже аналогичной наземной. Последняя обычно строится с применением базовых станций (БС)<sup>8</sup>, которые имеют более высокие характеристики в части пропускной способности. В отличие от ретранслятора, БС подключается к информационной системе по специально выделенным каналам, проводным или беспроводным, поэтому у нее нет необходимости принимать и передавать одну и ту же информацию на выделенной для работы собственно радиосети частоте, вдвое снижая ее пропускную способность. И увеличивая, соответственно, затраты на передачу информации.

Наземные сети общего пользования прекрасно зарекомендовали себя в электроэнергетике. Но только при работе с данными, время доставки которых не является критичным. Наиболее ярким представителем, использующим такие данные, являются АСКУЭ<sup>9</sup> и АИИСКУЭ<sup>10</sup>. Даже очень серьезная

задержка в доставке данных в таких автоматизированных системах не приводит к фатальным последствиям. Поэтому те энергетические задачи, которым не требуется работа в реальном масштабе времени — добро пожаловать в сотовые сети связи.

Любительская сеть малого радиуса действия имеет свои «вкусняшки» – использовать ее можно в любом месте, в любое время и, главное, совершенно бесплатно, то есть даром. Но при этом всегда нужно помнить о том, что бесплатный сыр бывает только в мышеловке, и поэтому сразу забыть о надёжности и своевременности доставки данных. Определением «любительские» сказано все — любой человек может получить неограниченный доступ к общему радиочастотному ресурсу и использовать его, где и когда ему вздумается по собственному плану. Или совсем без плана, как карта ляжет. Как правило, такая сеть организуется на ограниченный по времени период времени, а нагрузка в сети может колебаться в широких пределах — сейчас в сети неспешно работают два устройства, а через минуту уже двадцать два и очень интенсивно. Или ещё больше, в общем, как та самая вышеупомянутая карта ляжет.

С малым радиусом действия ещё можно было бы как-то жить, но закон и Регулятор запрещают использовать в их составе базовые станции, то есть радиосеть может строиться только как одноранговая<sup>11</sup>. Так что забудьте о «централизованной системе реального времени, предназначенной для контроля и управления технологическими процессами». Радиосети малого радиуса действия — это не про АСДУ Э и не об интеллектуальной сети энергоснабжения. Можно добавить, что это и не о «промышленном Интернете вещей», но тут появляется уже другая тема, поэтому не будем отвлекаться.

Может быть, нашу задачу помогут решить прекрасно зарекомендовавшие себя в быту широкополосные радиосети обмена данными, такие, например, как радиосети ставшего уже повсеместным стандарта IEEE802.11 WiFi? Лично я двумя руками за! Поскольку имею положительный опыт использования этой технологии в многочисленных проектах.

Но мое мнение здесь мало что значит, решающим фактором являются возможности радиосети WiFi. А они сильно избыточны в части передаваемых объёмов и настолько же сильно недостаточны в части дальности работы. По стандарту IEEE 802.11 дальность работы радиосети на открытой местности составляет не более 300 метров. На таком удалении стандартом гарантируется надёжный обмен данными на максимальной скорости. Можно существенно снизить ту самую избыточную скорость обмена данными и увеличить дальность работы, но такой компромисс с родни перекачке небольших объёмов воды с использованием трубы большого диаметра: через более тонкую трубу при том же давлении одинаковый объём воды можно перекачать значительно дальше. И опять же проблема с детерминированным временем доставки данных — количество работающих в радиосети WiFi абонентов может колебаться, равно как и объём передаваемых каждым из них данных. Так что забудьте о строго установленном времени доставки информации и настраивайте свою автоматизированную систему для работы с учетом задержек в доставке информации в «широких пределах».

Следует отметить, что недетерминированные задержки в доставке информации, а отсюда и снижение технических параметров автоматизированной системы или невозможность ее построения вообще, являются системной ахиллесовой пятой любой системы связи общего пользования, в которой не контролируется количество подключаемых абонентов и, соответственно, объём передаваемых данных. Более того, эти задержки во многих случаях оказываются ещё и неприемлемыми для АСДУ Э. Информация о типовых задержках в сетях связи общего пользования представлена в Таблице 1:

*Технические нормы на показатели функционирования сетей передачи данных<sup>12</sup>.*

№ п/п	Наименование показателя	Интерактивный	Интерактивный при использовании спутниковой линии связи	Сигнальный	Потоковый	Трафик передачи данных, за исключением интерактивного, сигнального и потокового трафика
1.	Средняя задержка передачи пакетов информации, (мс)	не более 100	не более 400	не более 100	не более 400	не более 1000
2.	Отклонение от среднего значения задержки передачи пакетов информации, (мс)	не более 50	не более 50	-	не более 50	-
3.	Коэффициент потери пакетов информации	не более $10^{-3}$	не более $10^{-3}$	не более $10^{-3}$	не более $10^{-3}$	не более $10^{-3}$
4.	Коэффициент ошибок в пакетах информации	не более $10^{-4}$	не более $10^{-4}$	не более $10^{-4}$	не более $10^{-4}$	не более $10^{-4}$

**Примечание:** среднее значение задержки передачи пакетов информации для узкополосных технологических радиосетей обмена данными составляет 45 мс (не более 70 мс при использовании протокола обмена данными TCP/IP), а значение типового коэффициента потери пакетов информации — не более  $10^{-6}$ .

Так как же быть тем, кому требуются гарантированные сроки в доставке данных? Куда деваться бедной АСОДУ Э с ее высокими требованиями в части надежности<sup>13</sup> и оперативности<sup>14</sup> связи?

Практика и отраслевые специалисты утверждают, что выход есть, и находится он в области применения узкополосных технологических радиосетей обмена данными.

Область применения технологических радиосетей обмена данными определяется ее следующими основными оперативно-техническими возможностями и преимуществами:

- надёжность среды передачи (линия передачи не подвергается механическим повреждениям и разрушающему влиянию окружающей среды, а ее состояние контролируется соответствующими государственными органами);
- обширная оперативная зона с возможностью ретрансляции сигнала (реально построенные радиосети имеют сплошную оперативную зону более миллиона кв. км);

- применение детерминированных протоколов обмена данными, поддерживающих работу в близком к реальному режиму времени и обеспечивающих гарантированную доставку данных в установленные регламентом работы радиосети сроки;
- относительно небольшое время доступа к каналу передачи данных, обеспечивающее незначительные и приемлемые для большинства автоматизированных систем задержки в доставке данных;
- высокая безопасность данных, функционирующих в технологической радиосети (применяемые технологии обеспечивают защиту от подавления, перехвата или несанкционированного доступа к работе в составе технологической радиосети);
- относительно низкая стоимость эксплуатации;
- независимость от «чужой» инфраструктуры связи и возможность развивать ее исходя из реальных требований (радиосеть принадлежит собственно пользователю, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться им самостоятельно);
- совместимость с разнородным оборудованием сбора и обработки данных по широко применяемым и детально отработанным интерфейсам;
- простота перемещения и оперативность развертывания в новом районе;
- возможность эксплуатации в жестких условиях.

Основными пользователями узкополосных стационарных средств обмена данными являются промышленность, сельское хозяйство и транспорт. В России наиболее широко узкополосные технологические радиосети обмена данными применяются в топливной и энергетике, так что любая ваша попытка построения новой АСДУ Э ляжет на твердую основу практического опыта создания и эксплуатации таких систем в нашей стране.

(Продолжение следует).

---

## 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. По материалам представительства компании «Инбрест» в информационной сети интернет: [www.inbres.ru](http://www.inbres.ru). ↩
4. Технологические сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организаций, управления технологическими процессами в производстве. Технологии и средства связи, применяемые для создания технологических сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются собственниками или иными владельцами этих сетей ([Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ \(ред. от 26.12.2024\) «О связи»](#)). ↩

5. Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) — межведомственный координационный орган, действующий при Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. ↩
6. **Ретранслятор** – оборудование [связи](#), которое соединяет два или более [радиопередатчика](#), удалённых друг от друга на большие расстояния. Приём и передача сообщений производятся последовательно на выделенных для работы ретранслятора радиочастотах. В случае использования космических средств связи говорят о [спутниках связи](#) или о [спутниках](#)-ретрансляторах. ↩
7. Вариант применения спутников, находящихся на геостационарной орбите высотой около 36 тыс. километров не рассматривается. ↩
8. Базовая станция в радиосвязи – системный комплекс приёмопередающей аппаратуры, осуществляющей централизованное обслуживание группы оконечных абонентских устройств. ↩
9. **Автоматизированная система коммерческого учёта 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. ↩
10. **Автоматизированная информационно-измерительная система учёта 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. ↩
11. **Одноранговые сети** – это бессерверная сетевая технология, которая позволяет нескольким сетевым устройствам совместно использовать ресурсы и взаимодействовать друг с другом напрямую. ↩
12. [Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 25.11.2021 № 1229 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».](#)  
↩
13. **Надёжность** – [свойство системы](#) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортирования. ↩
14. **Оперативность связи** – показатель, который характеризуется вероятностью того, что информация от отправителя к получателю будет передана за время не более заданного. ↩