

Выпуск 04

## УЗКОПОЛОСНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОСЕТЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ УКВ ДИАПАЗОНА И ЗАКОНЫ МЕРФИ

*В шутку о серьезном, очень серьезном и жизненно важном в стиле мыльной оперы. Улыбайтесь, ибо завтра будет хуже. Но все же, использование радиотехнической платформы Viper-SC+ позволит облегчить создание и эксплуатацию технологических беспроводных сетей обмена данными даже в труднодоступных районах и при худом кошельке.*

*(По результатам создания и практической эксплуатации технологических радиосетей специалистами ООО Независимый исследовательский центр перспективных разработок «НЦПР»).*

### 1. Увертюра

Времена Интернета вещей и сотовой связи очередного поколения не отменяют действие основополагающих законов в радиотехнике и теории информации, а лишь в очередной раз подтверждают их. Так ли это? Хорошо известный закон Мура<sup>1</sup>, которому в апреле 2020 года исполнилось 55 лет, отражает быстрый рост производительности современных вычислительных средств, связанные с ним ускорение обработки и рост потоков данных в информационных системах. В то же время пропускная способность обеспечивающих функционирование этих информационных систем каналов связи растет значительно медленнее. Рост последней сдерживается не только технологическими, но и природно-географическими факторами – средства связи и обмена данными должны функционировать на обширных, в том числе, труднодоступных территориях, часто с отсутствующей обеспечивающей инфраструктурой.

В связи с этим возможности по практическому внедрению технологических достижений в области повышения скорости обмена данными при передаче их на большие расстояния оказываются весьма ограниченными. Использование имеющих необходимую пропускную способность проводных каналов для решения данной задачи во многих случаях оказывается не только экономически нецелесообразным, но и технически невозможным. Увеличение же пропускной способности беспроводных каналов, согласно Теореме Шеннона-Хартли<sup>2</sup>, требует повышения мощности радиосигнала, а использование более высоких диапазонов частот и более широкой полосы пропускания приводит к уменьшению дальности работы беспроводного канала связи.

Возможности по организации обмена данными на большие расстояния формализованы в Российской Федерации разрешительными документами, регулирующими использование радиочастотного ресурса и устанавливающими строгие рамки для беспроводной связи и

---

<sup>1</sup> Закон Мура – эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца.

<sup>2</sup> Теорема Шеннона-Хартли – устанавливает шенноновскую емкость канала, верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных (т.е. информации), которое может быть передано по такому каналу с указанной полосой пропускания в присутствии шумового вмешательства, согласно предположению, что мощность сигнала ограничена, и гауссовский шум характеризуется известной мощностью или спектральной плотностью мощности. Закон назван в честь Клода Шеннона и Ральфа Хартли.

передачи данных. Масла в огонь противоречий между скоростью и дальностью обмена данными добавляют положения общеизвестных законов Мерфи<sup>3</sup>.



(Фото с сайта: [http://freeadvice.ru/view\\_advice.php?id=110](http://freeadvice.ru/view_advice.php?id=110))

В результате задача организации надежной радиосети обмена данными на большой территории зачастую превращается в серьезную головную боль, а ее эксплуатация ассоциируется у многих с непосильными затратами.

## 2. Интродукция

Однако, как поется в легендарной песне Владимира Высоцкого «Честь шахматной короны», все не так уж сумрачно вблизи. Свет в конце тоннеля в вопросе оптимизации беспроводных радиосетей обмена данными в части дальности, скорости, надежности и живучести ярко вспыхнул с появлением радиотехнической платформы Viper-SC+, предназначенной для работы по узкополосным каналам в диапазоне ультракоротких волн (УКВ).

Вышеуказанная платформа включает в себя радиомодемы с одним или двумя антенными входами, а так же базовые станции, в том числе, повышенной надежности и живучести с резервированием всех компонентов. Технические характеристики оборудования представлены в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+

| Общие характеристики | Viper-SC+ 100/200/400/900 |
|----------------------|---------------------------|
|----------------------|---------------------------|

<sup>3</sup> Закон Мерфи – шуточный философский принцип, который формулируется следующим образом: «Если есть вероятность того, что какая-нибудь неприятность может случиться, то она обязательно произойдет» (англ. Anything that can go wrong will go wrong). Популярный иностранный аналог русского «закона подлости», «закона падающего бутерброда» и «генеральского эффекта».

|   |   |                            |   |                    |
|---|---|----------------------------|---|--------------------|
|  | <b>ОВЧ</b>  | <b>200 МГц</b>             | <b>УВЧ</b>                                    | <b>900 МГц</b>     |
| Диапазон частот, МГц  | 136-174   | 215-240                    | 406-470<br>450-512                            | 880-902<br>928-960 |
| Шаг сетки частот, кГц<br>(настраивается программно)                               | 50; 25; 12,5;<br>6,25   | 100; 50; 25;<br>12,5; 6,25 | 50; 25; 12,5;<br>6,25                         | 100; 50; 25; 12,5  |
| Тип излучения   | 3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D                            |                            |   |                    |
| Потребляемый ток:   |   |                            |   |                    |
| - прием, мА   | 450 (10 В); 240 (20 В); 170 (30 В)  |                            |   |                    |
| - передача 40 дБм (10 Вт), А  | 4,6 (10 В); 2, 04 (20 В); 1,37 (30 В)   |                            |   |                    |
| - передача 30 дБм (1 Вт), А   | 1,2-3,6 (10 В); 0,6-1,8 (20 В); 0,4-1,2 (30 В)                                  |                            |   |                    |
| Номинальная задержка при<br>холодном старте, с                                    | 35  |                            |   |                    |
| Рабочее напряжение, В   | 10-30 (постоянный ток)  |                            |   |                    |
| Температура по специфика-<br>ции, град. С   | от -30 до +60   |                            |   |                    |
| Рабочая температура, град.<br>С   | от-40 до +70  |                            |   |                    |
| Температура хранения,<br>град. С  | от-45 до +85, без образования конденсата  |                            |   |                    |
| Влажность, %  | 5-95, без образования конденсата  |                            |   |                    |
| Габаритные размеры, см  | 13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)  |                            |   |                    |
| Масса (в упаковке), кг  | 1,1   |                            |   |                    |
| Рабочий режим   | симплекс/полудуплекс  |                            |   |                    |
| <b>Передатчик</b>   |   |                            |   |                    |
| Полоса пропускания без<br>подстройки, МГц   | 38  | 38                         | 64 (406,1-470<br>МГц); 62<br>(450-512<br>МГц) | 32                 |
| Выходная мощность при<br>напряжении 13,6 В, Вт                                    | 1-10  |                            |   | 1-8                |
| Время переключения с<br>передачи на прием, мс                                     | <1  |                            |   |                    |
| Время переключения между<br>каналами, мс  | <15   |                            |   |                    |
| Импеданс, Ом  | 50  |                            |   |                    |
| Цикл работы на передачу, %  | 100   |                            |   |                    |
| Стабильность частоты, ppm   | 1,0   | 0,5                        | 1,0   | 0,5                |
| Интерфейсы  | 2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45  |                            |   |                    |
| Антенна   | TNC (мама) - прием/передача;<br>SMA (мама) - прием (для двухпортовых устройств) |                            |   |                    |
| <b>Приемник</b>   |   |                            |   |                    |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ): |   |  |  |
| - 100 кГц, дБм   | - | -103 (64 кбит/с);<br>-96 дБм (192 кбит/с);<br>-89 дБм (256 кбит/с)       | -  |
| - 50 кГц, дБм  |   | -111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с);<br>-97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с) | -108 (32 кбит/с);<br>-101 (64 кбит/с);<br>-94 (96 кбит/с);<br>-85 (128 кбит/с) |
| - 25 кГц, дБм  |   | -114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с);<br>-100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с) | -111 (16 кбит/с);<br>-104 (32 кбит/с);<br>-97 (48 кбит/с);<br>-89 (64 кбит/с)  |
| - 12,5 кГц, дБм  |   | -116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с);<br>-102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)  | -112 (8 кбит/с);<br>-106 (16 кбит/с);<br>-99 (24 кбит/с);<br>-90 (32 кбит/с)   |
| - 6,25 кГц, дБм  |   | -115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с);<br>-100 (12 кбит/с)                    |  |
| Подавление помех по соседнем канале, дБ                    |   | 45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц;<br>75/50 кГц; 70/100 кГц            | 60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц;<br>70/100 кГц                              |
| Интермодуляция, дБ   |   | >75  |  |
| Избирательность, дБ  |   | >70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)                             |  |
| Время переключения с приема на передачу, мс                |   | <2   |  |
| Время переключения между каналами, мс                      |   | <15  |  |
| <b>Модем</b>   |   |  |  |
| Скорость, кбит/с   |   | 4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256                               |  |
| Индикация  |   | Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача        |  |
| Вид модуляции  |   | 2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK   |  |
| Адресация  |   | IP   |  |

Таблица 2. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+ base station

| Общие характеристики  | Viper-SC+ 100/200/400/900 base station |                |            |                |
|---|--|----------------|------------|----------------|
|  | <b>ОВЧ</b>                             | <b>200 МГц</b> | <b>УВЧ</b> | <b>900 МГц</b> |

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| Диапазон частот  | 136-174<br>МГц   | 215-240<br>МГц   | 406-470<br>450-512<br>МГц  | 928-960 МГц  |
| Шаг сетки частот   | 50; 25; 12,5 или 6,25 кГц<br>(настраивается программно)                  |  |  | 50, 25 или 12,5 кГц  |
| Тип излучения  | 6K00F1D, 9K30F1D, 15K3F1D  |  |  |  |
| Номинальная задержка при холодном старте                   | 60 с   |  |  |  |
| Рабочее напряжение   | 10-30 В постоянного тока   |  |  |  |
| Рабочая температура  | -30 град. С до +60 град. С   |  |  |  |
| Температура хранения                                       | -45 град. С до +85 град. С   |  |  |  |
| Влажность  | 5-95% без образования конденсата   |  |  |  |
| Габаритные размеры   | 41 (Ш) x 12 (Г) x 29 (В) см  |  |  |  |
| Масса (в упаковке)   | 5,2 кг   |  |  |  |
| Рабочий режим  | симплекс/полудуплекс   |  |  |  |
| <b>Передатчик</b>  |  |  |  |  |
| Полоса пропускания без подстройки, МГц                     | 38   | 38   | 64 (406,1-470<br>МГц); 62<br>(450-512<br>МГц)                                  | 32   |
| Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт                | 1-10   |  |  | 1-8  |
| Время переключения с передачи на прием, мс                 | <1   |  |  |  |
| Время переключения между каналами, мс                      | <15  |  |  |  |
| Импеданс, Ом   | 50   |  |  |  |
| Цикл работы на передачу, %                                 | 100  |  |  |  |
| Стабильность частоты, ppm                                  | 1,0  | 0,5  | 1,0  | 0,5  |
| Интерфейсы   | 2 x RS-232 (DE-9F), 2 x 10Base-T RJ-45                                   |  |  |  |
| Антенна  | N-типа (мама)  |  |  |  |
| <b>Приемник</b>  |  |  |  |  |
| Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ): |  |  |  |  |
| - 100 кГц, дБм   | -  | -103 (64 кбит/с);<br>-96 дБм (192 кбит/с);<br>-89 дБм (256 кбит/с) | -  | -100 (64 кбит/с);<br>-93 (192 кбит/с);<br>-86 дБм (256 кбит/с) |
| - 50 кГц, дБм  | -111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с);<br>-97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с) |  | -108 (32 кбит/с);<br>-101 (64 кбит/с);<br>-94 (96 кбит/с);<br>-85 (128 кбит/с) |  |
| - 25 кГц, дБм  | -114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с);<br>-100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с) |  | -111 (16 кбит/с);<br>-104 (32 кбит/с);<br>-97 (48 кбит/с);<br>-89 (64 кбит/с)  |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| - 12,5 кГц, дБм                             | -116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с);<br>-102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с) | -112 (8 кбит/с);<br>-106 (16 кбит/с);<br>-99 (24 кбит/с);<br>-90 (32 кбит/с) |
| - 6,25 кГц, дБм                             | -115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с);<br>-100 (12 кбит/с)                   |  |
| Подавление помех по соседнем канале, дБ     | 45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц;<br>75/50 кГц; 70/100 кГц           | 60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц;<br>70/100 кГц                            |
| Интермодуляция, дБ                          | >75   |  |
| Избирательность, дБ                         | >70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)                            |  |
| Время переключения с приема на передачу, мс | <2  |  |
| Время переключения между каналами, мс       | <15   |  |
| <b>Модем</b>                                |   |  |
| Скорость, кбит/с                            | 4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256                              |  |
| Индикация                                   | Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача       |  |
| Вид модуляции                               | 2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK  |  |
| Адресация                                   | IP  |  |

Появление платформы, ее развитие и результаты практической эксплуатации впервые поставили под сомнение действие отдельных следствий из закона Мерфи в отношении технологических радиосетей обмена данными.

Эти следствия, как известно, гласят:

### 3. Действие первое: «Все не так легко, как кажется...»

Одной из непростых задач, связанных с развертыванием и настройкой технологической радиосети обмена данными является организация сопряжения радиомодема с внешним устройством. Ранее оно выполнялось по последовательному порту RS-232, но с появлением современных контроллеров, имеющих интерфейс Ethernet, задача усложнилась в связи с необходимостью применения преобразователей. Наиболее широко с узкополосными радиомодемами использовались преобразователи производства компаний Мох (от одного до 16 портов, [www.moxa.ru](http://www.moxa.ru)) и Lantronix (от одного до 48 портов, [www.lantronix.com](http://www.lantronix.com)).

Простоту решению вернуло лишь появление встроенного в радиомодем Viper-SC+ сетевого интерфейса RJ45 Ethernet и функции автоматического преобразования RS-232 – Ethernet и обратно.

Теперь узкополосный радиомодем поддерживает обмен данными по IP-протоколу в радиоканале и обеспечивает автоматическое преобразование данных при подключении к нему внешнего устройства по последовательному протоколу. Точнее, сразу двух внешних устройств, поскольку настроечный последовательный порт радиомодема (Viper-SC+ имеет два порта RS-232 – настроечный и информационный) также может быть

сконфигурирован для обмена данными. Процедура настройки стала значительно проще, такой же простой, как кажется на первый взгляд.

#### **4. Действие второе: «Всякая работа требует больше времени, чем вы думаете»**

Значительное время при развертывании технологической радиосети занимает настройка отдельных радиомодемов и проверка правильности настройки. Время, необходимое для выполнения этих операций, действительно, иногда очень сложно спрогнозировать. Viper-SC+, как и некоторые другие современные устройства, относится к программно-определяемым системам, созданным с использованием технологии SDR (Software Defined Radio).<sup>4</sup>

Встроенное программное обеспечение позволяет устанавливать заданные номиналы рабочих частот (память модема рассчитана на одновременное хранение 32 номиналов), шага сетки радиочастот, выходной мощности и скорости обмена данными. Все эти параметры после настройки в одном радиомодеме могут быть перенесены в другой (функция клонирования настроечных данных). В результате настройка большого количества радиомодемов занимает на практике существенно меньше времени, чем вы думаете.

#### **5. Действие третье: «Из всех возможных неприятностей произойдет именно та, ущерб от которой больше»**

Наибольший ущерб при эксплуатации технологической радиосети возникает в результате выхода из строя базовой станции (БС). Типовая БС в реальных радиосетях поддерживает работу 12–15 удаленных объектов (технически возможно существенно больше), поэтому в результате прекращения ее работы теряется контроль над значительными ресурсами. Несмотря на высокую надежность современного оборудования (среднее время наработки на отказ радиомодемов Viper-SC+ по результатам первого года эксплуатации составило около 418 000 ч), поломки и сбои в работе неизбежны. Базовая станция повышенной надежности и живучести в случае сбоя в работе или выхода из строя одного комплекта оборудования автоматически переключает работу на резервный, исключая возникновение перерыва в работе. Использование такой БС позволяет на практике создать технологическую радиосеть, очень хорошо защищенную от наиболее опасных неприятностей – тех, ущерб от которых больше.

#### **6. Действие четвертое: «Если четыре причины возможных неприятностей заранее устранены, то всегда найдется пятая»**

Данное положение нам, признаюсь честно, опровергнуть пока не удалось, но и подтвердить тоже.

В настоящее время серийно выпускается третья модификация упомянутого радиомодема с версией встраиваемого программного обеспечения 3.14, в которой устранены все выявленные в процессе эксплуатации недостатки. Возможно, другие недостатки проявятся

---

<sup>4</sup> Программно-определяемая радиосистема (SDR) – радиопередатчик и/или радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность, за исключением изменения рабочих параметров, используемых в ходе обычной, заранее определенной работы с предварительными установками радиоустройства, согласно той или иной спецификации или системы.

позже, а пока значение параметра средней наработки на отказ достигло своего максимума (по состоянию на конец 2019 года оно составляло около 950 тыс. часов) и больше не изменяется, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

## **7. Действие пятое: «Предоставленные сами себе события имеют тенденцию развиваться от плохого к худшему»**

Техническое состояние технологической радиосети на радиотехнической платформе Viper-SC+ может оперативно контролироваться средствами разработанного нами программно-технического комплекса (ПТК) «Балтика», предназначенного для мониторинга рабочих параметров аппаратуры, включая идентификационный номер устройства, температуру внутри корпуса, напряжение питания, уровень сигнала, принимаемого БС радиосети от удаленного устройства, излучаемую мощность передатчика, мощность обратной волны.

ПТК позволяет следить за целостностью и качеством каналов технологической радиосети обмена данными, контролировать рабочие параметры радиотехнической аппаратуры, извещать оператора о нештатной работе каналов обмена данными, выявлять сбои в функционировании основной электросети и факт перехода на питание от резервной (аккумуляторов).

Программное обеспечение ПТК производит сбор, анализ, отображение и архивирование информации, обеспечивая:

- конфигурирование (описание структуры) ПТК мониторинга технологической радиосети обмена данными, установку пороговых значений для измеряемых параметров оперативной диагностики;
- слежение за поступлением данных оперативной диагностики от радиомодемов на основании их идентификаторов и выдачу сигнала «авария» при пропадании этих данных;
- анализ значений данных оперативной диагностики от радиомодемов относительно пороговых значений и формирование сигнала «авария» при их выходе за установленные пределы;
- анализ данных оперативной диагностики для косвенного определения исправности абонентских радиомодемов, работающих через удаленные ретрансляторы технологической радиосети, не подключенные непосредственно к комплексу мониторинга;
- ведение журнала аварий, формирование и представление отчетов по видам аварий и времени их возникновения;
- анализ изменений данных оперативной диагностики с целью предсказания возможных аварийных ситуаций и сбоев.

Таким образом, технологическая радиосеть обмена данными на радиотехнической платформе Viper-SC+ может быть поставлена под жесткий контроль, исключающий самопроизвольное развитие ситуации по принципу «от плохого к худшему».

## **8. Действие шестое: «Как только вы принимаетесь делать какую-то работу, находится другая, которую надо сделать еще раньше»**

Наш практический опыт неопровержимо доказывает, что задача организации сопровождения развернутой радиосети во многих случаях оказывается на порядок сложнее, чем ее первоначальное развертывание. Она представляет собой ежедневный

трудоемкий процесс, направленный на поддержание радиосети в работоспособном состоянии. Радиомодемы семейства Viper-SC+ представляют собой устройства, функционирующие в необслуживаемом режиме и не требующие периодической юстировки. При наличии комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) восстановление работоспособности радиосети обеспечивается заменой блока радиомодема, которая сводится к подключению трех кабелей: антенного, информационного и питания. Такие скромные требования позволяют без труда переключаться на выполнение другой работы, которую надо сделать еще раньше.

## 9. Действие седьмое: «Всякое решение плодит новые проблемы»

Проектирование технологической радиосети обмена данными на базе рассматриваемой платформы в настоящее время приобрело характер типовой задачи и не представляет серьезных трудностей для подготовленного персонала. Ее внедрение связано с решением ряда организационно-технических задач, включая получение радиочастотного присвоения, процедура которого в последнее время, на радость пользователей таких сетей, максимально упрощена. И после выполнения этих задач полностью теряется основа для возникновения новых проблем, поскольку радиомодем Viper-SC+ разработан по принципу «настроил – забыл».

## 10. Эпилог

Можно ли утверждать, что сам факт появления радиотехнической платформы Viper-SC+ отменил перечисленные выше положения закона Мерфи? Делать это прямо сейчас, наверное, будет преждевременно. Но у любого технического специалиста в области технологической связи, АСУ технологическими процессами (АСДУ, АСКРО, АСТУЭ, АИСКУЭ, АИИС КУЭ и далее по списку), систем управления телемеханикой или сбора телеметрической информации теперь есть возможность самостоятельно проверить это и сделать собственный вывод.

ООО «Независимый исследовательский центр  
перспективных разработок» (НЦТР)

**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](mailto:sm@flexlab.ru)

<http://www.flexlab.ru>