

Технологическая радиосеть обмена данными УКВ-диапазона для ответственных систем на базе радиотехнической платформы Viper-SC+

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы, связанные с созданием узкополосных технологических радиосетей обмена данными УКВ-диапазона повышенной надёжности и живучести для ответственных систем. Описаны особенности построения и функциональные возможности таких радиосетей, и дано их краткое сравнение с проводными сетями аналогичного назначения. Статья предназначена для специалистов, связанных с организацией связи на объектах повышенной опасности, а также обеспечением функционирования автоматизированных систем управления на важных распределенных объектах.

1. Общие сведения

Надёжность¹ и живучесть² являются наиболее важными требованиями к средствам обмена данными, применяемым для обеспечения функционирования устройств автоматизации в ответственных системах, в том числе, разворачиваемых на критически важных объектах³, к которым относятся:

- ядерно-опасные (атомные электростанции, предприятия ядерно-оружейного комплекса);
- радиационно-опасные (спецкомбинаты «Радон», места хранения жидких радиоактивных отходов, отработанного ядерного топлива);
- химически-опасные (предприятия нефтехимического, металлургического, машиностроительного, радио- и электротехнического и оборонного производства, пищевой промышленности);
- биологически-опасные (крупные предприятия по производству, переработке и хранению сельхозпродукции, фармацевтические комплексы);
- техногенно-опасные (крупные железнодорожные узлы, морские порты, аэропорты в крупных городах, метрополитены, мосты и тоннели длиной более 500 м, крупные гидротехнические сооружения промышленного и водохозяйственного назначения, объекты топливно-энергетического комплекса, тепловые электростанции и магистральные линии электропередач);
- пожаро-взрывоопасные (магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы, газокompрессорные и нефтеперекачивающие станции, а также хранилища сжиженных газов и нефти, крупные предприятия по производству и переработке жидкофазных или твердых взрывоопасных материалов)

Принято считать, что эффективнее всего данные требования выполняются с использованием проводных средств связи и обмена данными. Такие средства позволяют быстро и надёжно передавать информацию на большие расстояния, а отработанные и освоенные современные технологии в области связи значительно упрощают этот процесс. В общем случае, волоконно-оптический или медный кабель,

который является средой передачи данных, обладает достаточно высокой защитой и может эксплуатироваться на протяжении длительного периода времени. А вот беспроводная связь между объектами на земной поверхности организуется с использованием в качестве среды передачи атмосферу, которую, в отличие от кабеля, нельзя «увидеть и пощупать», а потому и считать надежной. Но именно среда передачи является наиболее слабым звеном проводных систем технологической связи⁴ по сравнению с беспроводными.

Кабельная система является искусственным сооружением, предназначенным для длительной эксплуатации. В связи с этим она постоянно подвергается воздействию окружающей среды. А природа всегда берет свое: сезонные подтопления часто приводят к снижению характеристик кабеля или нарушениям связи, проложенные в потернах кабели подвергаются атакам грызунов и могут быть легко повреждены при проведении работ, воздушные линии связи рвутся в результате обледенения. Даже пожаробезопасные кабели поддерживают распространение огня между помещениями и закрытыми зонами. Использование кабельных средств связи в районах вечной мерзлоты, ставшая весьма актуальной в связи с промышленным и военным освоением Арктики, — это вообще отдельная тема. Со временем кабель теряет свои характеристики в результате старения материалов, из которых он изготовлен. Поиск и устранение неисправностей в распределенной кабельной сети связаны с серьезными трудностями и затратами усилий и времени, поскольку при этом недостаточно просто определить место аварии, но необходимо получить доступ к нему. В случае техногенных аварий или природных катастроф кабельные системы оказываются наиболее уязвимыми. Так во время землетрясения в Новой Зеландии в 2016 году первыми были полностью выведены из строя волоконно-оптические линии связи. Это обусловлено особенностями, связанными с требованиями к их прокладке, обеспечивающими минимальные потери при передаче информации. Кабельные линии связи на медных кабелях пострадали в меньшей степени, но нанесенный ущерб не позволил продолжить их дальнейшую эксплуатацию без серьезных ремонтно-восстановительных работ. В связи с этим ответственные объекты были переведены на работу через резервные беспроводные сети связи, а использовавшие технологические радиосети обмена данными в качестве основных продолжили их эксплуатацию, на отдельных объектах — после незначительных ремонтно-восстановительных работ.

Среда передачи данных узкополосных технологических радиосетей УКВ-диапазона является естественной и не требует усилий и затрат на поддержание ее характеристик. Природные явления практически не влияют на рабочие параметры такой радиосети, которые остаются стабильными на протяжении всего периода эксплуатации, как в обычной обстановке, так и в чрезвычайных ситуациях, а порядок ее использования контролируется государством, что позволяет применять технологическую радиосеть обмена данными в ответственных системах в качестве основной или резервной.

2. Особенности технологической радиосети для ответственных систем

Узкополосные технологические радиосети обмена данными широко применяются в проектах, в которых использование проводных сетей оказывается невозможным или нецелесообразным. Область применения технологических радиосетей обмена данными определяется их следующими основными оперативно-техническими возможностями и преимуществами:

- гарантированная надёжность работы (радиосеть создается и управляется ее владельцем с учетом его персональных требований к надёжности функционирования);

- высокая живучесть радиосети в различной обстановке (требование к живучести закладывается на этапе проектирования радиосети ее владельцем, и, как правило, оказывается выше, чем в радиосетях общего пользования);
- рабочая зона, полностью перекрывающая район использования подключенных к радиосети оконечных устройств, как правило, объединенных в автоматизированную систему управления (реально построенные технологические радиосети имеют 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 эксплуатирующей ее организации, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться ею 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 окружающей среды.

Учитывая высокую надёжность среды передачи, основной технической задачей применительно к ответственным системам является обеспечение необходимого уровня надёжности и живучести собственно радиосети и используемых в ее составе программно-технических средств.


3. Радиотехническая платформа Viper-SC+

Радиотехническая платформа Viper-SC+ представляет собой одну из наиболее современных и перспективных разработок американской компании CalAmp, де-факто ведущего мирового производителя радиомодемов. Вышеуказанная платформа (технические характеристики оборудования представлены в таблицах 1 и 2), использующая для работы IP-протокол, включает в себя:

- радиомодем Viper-SC+ (140-5018-502⁵) с одним антенным входом;
- радиомодем Viper-SC+ (140-5018-503) с двумя антенными входами;
- базовую станцию Viper-SC+ (140-5118-502);

- базовую станцию Viper-SC+ (140-5318-502) повышенной надёжности и живучести с резервированием всех компонентов;
- базовую станцию Viper-SC+ (140-5318-503) повышенной надёжности и живучести с резервированием всех компонентов с двумя антенными входами.


Технические характеристики радиомодема Viper-SC+

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
				
Диапазон частот, МГц	136-174	215-240	406-470 450-512	880-902 928-960
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5; 6,25	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5
Тип излучения	3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D			
Потребляемый ток:				
- приём, 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 холодном старте, с	35			
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)			
Температура по спецификации, град. С	от -30 до +60			
Рабочая температура, град. С	от-40 до +70			
Температура хранения, 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			
Передачик				

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1-470 МГц); 62 (450-512 МГц)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10			1-8
Время переключения с передачи на приём, 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), 10Base-T RJ-45			
Антенна	TNC (мама) - приём/передача; SMA (мама) - приём (для двухпортовых устройств)			
Приемник				
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):				
- 100 кГц, дБм	-	-103 (64 кбит/с); -96 дБм (192 кбит/с); -89 дБм (256 кбит/с)	-	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 дБм (256 кбит/с)
- 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
- 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900	
- 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)	-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
- 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)	
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц	60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц
Интермодуляция, дБ	>75	
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)	
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2	
Время переключения между каналами, мс	<15	
Модем		
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256	
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/ передача	
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK	
Адресация	IP	

Технические характеристики радиомодема Viper-SC+ base station

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
				
Диапазон частот	136-174 МГц	215-240 МГц	406-470 450-512 МГц	928-960 МГц

Общие характеристики		Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
Шаг сетки частот	50; 25; 12,5 или 6,25 кГц (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				
Передатчик					
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1-470 МГц); 62 (450-512 МГц)	32	
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10			1-8	
Время переключения с передачи на приём, 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)				
Приемник					
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):					

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
- 100 кГц, дБм	-	-103 (64 кбит/с); -96 дБм (192 кбит/с); -89 дБм (256 кбит/с)	-	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 дБм (256 кбит/с)
- 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
- 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)
- 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)			-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
- 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)			
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45/6,25 кГц; 60/12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц			60 /12,5 кГц; 70/25 кГц; 75/50 кГц; 70/100 кГц
Интермодуляция, дБ	>75			
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)			
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Модем				
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256			

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK
Адресация	IP

Совместно с техническими средствами радиотехнической платформы Viper-SC+ может использоваться получившая широкое распространение в странах СНГ российская программа мониторинга технического состояния радиосети «Балтика».

4. Технологическая радиосеть обмена данными УКВ-диапазона для ответственных систем на базе радиотехнической платформы Viper-SC+

Рассматриваемая радиосеть поддерживает все известные топологии, включая наиболее часто применяемую — «точка — много точек». Основу сети составляет базовая станция Viper-SC+ base station. Необходимый уровень надёжности и живучести достигается применением соответствующей конфигурации базовой станции, предполагающей использование одного или двух приемо-передающих блоков.

Типовая радиосеть на радиотехнической платформе Viper-SC+ обеспечивает обмен на заданной скорости, выполняя опрос удаленных объектов по установленному графику, либо приём информации базовой станцией по инициативе удаленных объектов (при подключении по порту Ethernet). Базовая (минимальная) надёжность функционирования такой радиосети достигается правильным проектированием, учитывающим баланс радиосигнала для каждого подключенного к радиосети объекта при наихудших условиях, а также высокими техническими характеристиками оборудования (среднее время наработки на отказ радиомодемов Viper-SC+ составляет около 418 000 часов⁶), эксплуатация которого допускается в жестких условиях окружающей среды.

Однако поломки и сбои в работе неизбежны, ведь среднее время эксплуатации технологической радиосети без ее модернизации составляет не менее 12 лет. В связи с этим при разработке радиотехнической платформы Viper-SC+ были предусмотрены дополнительные меры, обеспечивающие повышение надёжности и живучести радиосети за счет сокращения возможных простоев, обеспечения непрерывной работы при снижении уровня принимаемого сигнала и в условиях помех, «горячего» резервирования аппаратуры, превентивного выявления предпосылок к сбоям и выходам аппаратуры из строя и оперативной ликвидации аварий.

4. Программная настройка

Значительное время при развертывании технологической радиосети и восстановлении ее работоспособности занимает настройка отдельных радиомодемов и проверка правильности настройки. Время, необходимое для выполнения этих операций, иногда очень сложно спрогнозировать, а простой в работе связан с серьезными финансовыми потерями. Радиомодем Viper-SC+ относится к программно-определяемым системам, созданным с использованием технологии SDR (Software Defined Radio)⁷. Встроенное программное обеспечение позволяет устанавливать заданные номиналы рабочих частот (память радиомодема рассчитана на единовременное 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 практическая настройка большого количества радиомодемов занимает существенно меньше времени, чем раньше, а восстановление работоспособности в отдельных случаях может производиться удаленно.

2. Приём и передача по разнесенным портам

В состав платформы входит радиомодем с двумя портами — передающим и приемным. Разнесение приемного и передающего портов позволяет оптимизировать характеристики принимаемого сигнала за счет использования серийно выпускаемых радиочастотных фильтров и усилителей и добиться стабильной работы в условиях слабого сигнала и внешних помех. Выходная мощность радиомодема увеличена вдвое по сравнению с ранее выпускавшимися моделями, что позволяет получать необходимый уровень сигнала на входе приемного оборудования и упрощает проектирование антенно-фидерного устройства.

3. Одновременное подключение по нескольким портам

Повышение надёжности сопряжения с оконечным оборудованием обеспечивается возможностью его подключения одновременно по двум портам — последовательному порту RS-232 и сетевому RJ-45. В этом случае один из портов может настраиваться в качестве основного, а второй — резервного. Радиомодем Viper-SC+ имеет два последовательных порта RS-232 — настроечный и информационный. Настроечный порт используется для удаленной диагностики и мониторинга технического состояния в реальном масштабе времени. Данный порт также может быть сконфигурирован для обмена данными, поэтому потенциально третий интерфейс также может быть использован для подключения оконечного устройства. Наличие трех каналов подключения удовлетворяет самым высоким требованиям по обеспечению надёжности и живучести, предъявляемым, например, на авиационном и железнодорожном транспорте, а также в системах военного назначения.

4. Автоматическая коррекция скорости обмена данными

Условия приёма радиосигнала могут изменяться в широких пределах в процессе эксплуатации радиосети, что влияет на надёжность ее работы. Общеизвестно, что при равных условиях приёма более надёжно обеспечивается работа на более низкой скорости. В связи с этим в базовой станции Viper-SC+ base station реализована функция автоматического выбора оптимальной скорости обмена для каждого подключенного к радиосети оконечного устройства. То есть, в случае ухудшения условий приёма для конкретного удаленного радиомодема, базовая станция автоматически выбирает максимальную скорость обмена данными, обеспечивающую надежную работу. В результате, даже в случае падения уровня приемного сигнала или появления помех, связь с удаленными объектами не прерывается. Использование данной функции позволяет автоматически поддерживать наибольшую пропускную способность радиосети, организуя связь с наиболее удаленными объектами на более низкой, а с приближенными — на более высокой скорости.

Сноски

1. **Надёжность** ([англ. reliability](#)) – [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 [ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»]. ↩
2. **Живучесть** ([англ. survivability](#)) – свойство системы, характеризующееся способностью выполнять установленный объём функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах [ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»]. ↩
3. **Критически важный объект** - объект, нарушение или прекращение функционирования которого приведет к потере управления экономикой Российской Федерации, субъекта Российской Федерации или административно-территориальной единицы субъекта Российской Федерации, ее необратимому негативному изменению (разрушению) либо существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения [ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения»]. ↩
4. **Технологическая сеть связи** ([англ. private network](#), прежнее название – *ведомственная или корпоративная*) – предназначена 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 «О связи» от 07.07.2003 N 126-ФЗ]. ↩
5. Здесь и далее приведены номера моделей оборудования для диапазона 136-174 МГц. ↩
6. Данные результатов эксплуатации по состоянию на март 2014 года:
 - радиомодемов в эксплуатации – 19533;
 - проведено ремонтов – 618;
 - проработавших без поломок в течение четырех лет - 97%;
 - общее время наработки - 258 254 000 часов.↩
7. **Программно-определяемая радиосистема** ([англ. Software-defined radio, 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 предварительно определенной работы с предварительными установками [радиоустройства](#), согласно той или иной спецификации или системы. ↩