

## РАДИОМОДЕМЫ ДИАПАЗОНА УКВ для интеллектуального железнодорожного транспорта

С.Маргарян, заместитель генерального директора,  
главный конструктор ЗАО "НПП "Родник"

В статье рассматриваются технические вопросы, связанные с созданием и эксплуатацией на железнодорожном транспорте узкополосных технологических радиосетей обмена данными диапазона УКВ с использованием современных радиомодемов. Представлена краткая информация об отдельных задачах обмена данными в интересах организации и обеспечения безопасности движения и диспетчерского управления.

Обеспечение безопасности движения поездов требует создания альтернативных каналов поездной радиосвязи для организации высоконадежной структуры управления на железнодорожном транспорте. Наличие радиоканала обмена данными с локомотивами обеспечивает широкие возможности в разработке систем управления интеллектуальным железнодорожным транспортом (ИЖТ) [1].

В ОАО "РЖД" для управления соединенных и тяжеловесных поездов, станционных систем передачи данных на малодеятельных участках и в качестве резервирующих используются радиоканалы в диапазоне 160 МГц. Работа этих каналов обеспечивается так называемыми прозрачными\* радиомодемами ВЭБР, "Мост" и Dataradio T-96SR, позволяющими работать на максимальных скоростях 4800, 9600 и 19200 бит/с, соответственно. На промышленном железнодорожном транспорте Российской Федерации и за рубежом за последние

несколько десятков лет с задействованием радиомодемов хорошо отработаны следующие функциональные задачи:

- мониторинг состояния тормозной системы железнодорожного состава и контроль отрыва вагона;
- управление объектами электроснабжения железнодорожного транспорта;
- мониторинг окружающей среды и обеспечение безопасности;
- обеспечение функционирования средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ);
- дистанционное управление маневровыми работами на станциях;
- интервальное регулирование движения и диспетчерское управление на станциях и перегонах. Опыт эксплуатации и оперативно-технические возможности технологических радиосетей обмена данными, функционирующих с использованием узкополосных радиомодемов, позволяют рассматривать их в качестве основы для решения вновь возникающих задач, связанных с обеспечением работы перспективных систем и комплексов,

\* Прозрачный радиомодем – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования.

предназначенных для организации и обеспечения безопасности движения, а также диспетчерского управления на железнодорожном транспорте. Преимущества вышеуказанного диапазона радиоволн для надежной передачи данных на большие расстояния общеизвестны [2], поэтому представляется вполне логичным использовать его в интересах существующих и проектируемых автоматизированных систем управления и сбора данных различного назначения.

### Радиомодемы для системы АБЦТ-М

Одна из перспективных областей применения радиомодемов УКВ-диапазона – система АБЦТ-М (автоматическая блокировка с использованием тональных рельсовых цепей, с централизованным размещением аппаратуры, микропроцессорная) [3]. В качестве основного варианта реализации обмена данными между стационарными пунктами управления и подвижным составом разработчиками предлагается создание автономной радиосети для каждого перегона с разделением в пространстве, во времени и по радиочастоте перегонов индивидуально или в составе диспетчерского участка. Считается, что общий объем передаваемой информации в направлении "пункт управления – локомотив" в пределах каждого перегона диспетчерского участка может составлять до 240 байт, а в направлении "локомотив – пункт управления" – 400 байт (20 байт с каждого поезда, находящегося на каждом перегоне диспетчерского участка при числе поездов не более 20). Границы перегонов должны определяться по данным приемника спутниковой навигации.

Предложенная в [3] схема организации связи предусматривает работу радиомодемов на базовых станциях и локомотивах с непрерывным циклом три секунды. Для обеспечения надежности доведения информации базовые станции должны дублировать передаваемые на борт локомотивов данные. Первая секунда выделяется для передачи на борт локомотивов сообщения длиной 240 байт одной базовой станцией и повторения его другой. В течение секунды двумя базовыми станциями должно быть передано в общей сложности не менее 4800 бит (480 байт, где 1 байт это 8 бит информации и 2 служебных старт-стопных бита). Общеизвестно, что при работе радиомодема не все выделенное для работы время используется на передачу информации. Значительная его часть затрачивается на выполнение служебных процедур, включая установление связи (включение и выключение радиомодема, набор необходимой выходной мощности

для начала передачи и ее сброс после завершения). И чем больше выходная мощность, тем больше эти временные затраты. Например, в современных специализированных телеметрических радиомодемах время атаки передатчика может составлять до 10 мс, а в обычных радиостанциях – десятки и даже сотни миллисекунд. Освобождение радиоканала потребует вдвое меньше времени. В связи с этим, в рассматриваемом выше варианте двум базовым станциям не хватит выделенной для передачи одной секунды для трансляции и дублирования сообщения в направлении "пункт управления – локомотив" со скоростью 4800 бит/с. Скорость обмена данными в радиосети, обслуживающей работу АБЦТ-М, должна быть выше обеспечиваемой радиомодемом ВЭБР.

При создании систем обмена данными с жесткой синхронизацией кроме времени, необходимого для выполнения процедур связи, необходимо учитывать нестабильность (допуски) заявленных технических параметров работы для индивидуальных устройств. В лучших образцах радиомодемов время атаки отдельных устройств одинаковой модели может отличаться на  $\pm 10\%$ . Таким образом, при расчете радиосети необходимо устанавливать между сеансами связи так называемый защитный интервал. Обычно он составляет не менее 20% заявленного в технических характеристиках устройства времени установления связи.

Выполнение аналогичных приведенным выше расчетов с учетом реальных временных затрат для передачи данных в направлении "локомотив – пункт управления" дает следующий результат. Общее время для передачи данных от 20 локомотивов (максимально допустимое в АБЦТ-М количество) составляет 2000 мс, то есть каждому локомотиву выделяется для трансляции сообщения не более 100 мс. С учетом заявленных в [3] ограничений – 90 мс. Минимальное общее время передачи одного сообщения на скорости 9600 бит/с для радиомодема "Мост" составит 57 мс (установление связи – 22 мс; передача данных – 20 мс; освобождение канала – 11 мс; защитный интервал – 4 мс). Радиомодему "Мост" указанного времени не хватает для того, чтобы повторно передать сообщение в направлении "локомотив – пункт управления" в случае сбоя при доставке первого сообщения, что снижает надежность системы в целом.

Минимальное общее время передачи одного сообщения при работе на скорости 9600 бит/с через радиомодем Dataradio T-96SR составляет 33 мс (установление связи – 7 мс; передача данных – 20 мс; освобождение канала – 4 мс; защитный

интервал – 2 мс), у поступившего ему на замену радиомодема Guardian – 23 мс (установление связи – 1 мс; передача данных – 20 мс; освобождение канала – 1 мс; защитный интервал – 1 мс), что представляется вполне достаточным и обеспечивает адекватный резерв для дальнейшего развития системы с учетом имеющейся возможности наращивания скорости обмена данными без замены и модернизации технических средств.

Разработчики АБЦТ-М планируют повысить надежность системы за счет использования помехоустойчивого кодирования с применением кодов Рида-Соломона или Рида-Маллера. Такое решение потребует увеличения размера транслируемого с борта локомотива сообщения не менее чем на 50% и полностью исключит возможность повторной

трансляции рассматриваемых в [3] радиомодемов, существенно ограничив возможности по повышению надежности доставки данных за счет дублирования сообщения.

Радиомодем "Мост" позволяет работать в помехоустойчивом режиме, но этом случае обеспечивается передача пакетов данных длиной от 6 до 15 байт. Время от начала загрузки пакета передаваемой информации длиной 8 байт до окончания выдачи пакета информации на приемной стороне составляет до 115 мс, что не удовлетворяет требованиям АБЦТ-М.

Сравнительные технические характеристики прозрачных радиомодемов УКВ-диапазона, работающих на скоростях выше 4800 бит/с, приведены в табл.1.

**Таблица 1. Сравнительные характеристики радиомодемов УКВ-диапазона**

	МОСТ-Л	Guardian-100/200/400/900
Диапазон частот, МГц	146-174, 450-470	136-174, 215-240, 406-512, 928-960
Шаг сетки частот, кГц	25	25 или 12,5 (настраивается программно)
Тип излучения	16KF2D	9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D
Потребляемый ток в режиме приема, мА (напряжение питания, В)	350 (48)	360 (10); 200 (20); 150 (30)
Потребляемый ток при выходной мощности 10 Вт, А (напряжение питания, В)	1,75 (48)	4,6 (10); 2,04 (20); 1,37 (30)
Номинальная задержка при холодном старте, с	60	20
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс	Симплекс, полудуплекс, дуплекс
Чувствительность приемника°, дБм, (скорость, кбит/с):	-110 (9,6), -113 (4,8)	-100 (19,2), -107 (9,6), -110 (4,8)
Избирательность, дБ, (шаг сетки, кГц)	>73	>70 (25); >60 (12,5)
Выходная мощность передатчика, Вт	5, 10	1-10
Время атаки, мс (скорость, кбит/с)	<22 (9,6), <30 (4,8)	<1
Время переключения между каналами, мс	-	<15
Стабильность частоты, ppm	2,5	1
Скорость модема, кбит/с	4,8; 9,6	4,8; 9,6; 19,2
Вид модуляции	GMSK	2FSK

° Сетка частот 25 кГц, вероятность ошибки  $1 \times 10^{-6}$

Обеспечить дублирование при передаче данных в направлении "локомотив – пункт управления" с использованием помехоустойчивого кодирования в предлагаемой в [3] схеме организации обмена данными можно в случае кардинального увеличения пропускной способности аппаратуры радиосети за счет повышения скорости обмена данными и сокращения времени выполнения служебных процедур связи.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМОДЕМОВ В ИНТЕРЕСАХ АСУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В качестве одного из возможных вариантов для обслуживания работы АБЦТ-М и ряда других АСУ, разворачиваемых в рамках создания ИЖТ, целесообразно рассмотреть радиотехническую платформу Viper-SC, хорошо зарекомендовавшую себя в ряде проектов, реализованных в Российской Федерации, других государствах СНГ и в мире.

Вышеуказанная радиотехническая платформа включает в себя следующее оборудование:

- симплексный/полудуплексный радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+;
- симплексный/полудуплексный радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+ с двумя антеннами, обеспечивающими разносенный прием радиосигналов;
- симплексная, полудуплексная или дуплексная базовая станция Viper-SC+;
- симплексная, полудуплексная или дуплексная базовая станция Viper-SC+ повышенной надежности и живучести.

Технические характеристики оборудования радиотехнической платформы Viper-SC+ представлены в табл.2.

Радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+ представляет собой устройство нового поколения класса SDR (Software Defined Radio), обеспечивающее обмен данными в стационарной технологической радиосети по IP-протоколу на скоростях 4,8-256 кбит/с в канале с шагом сетки радиочастот 6,25; 12,5; 25; 50 или 100 кГц. Повышение пропускной способности радиосети обеспечивается применением улучшенной версии протокола с технологией исключения столкновений пакетов FAMA (Floor Acquisition Multiple Access), а также использованием алгоритма уплотнения данных, обеспечивающего эффективное сжатие (максимальная пропорция 1:10). Настройка радиомодема производится через Web-интерфейс.

Увеличение скорости обмена данными связано с необходимостью улучшения параметров принимаемого сигнала (соотношения сигнал/шум).

Поскольку возможности по увеличению выходной мощности передаваемого сигнала ограничены и не всегда эффективны, в составе радиотехнической платформы Viper-SC+ имеется модель радиомодема с двумя антеннами, обеспечивающая разносенный прием – одновременный прием радиосигналов на каждую из подключенных к радиомодему антенн. Реализованная в радиомодеме технология интеллектуального объединения сигналов позволяет применять различные алгоритмы обработки в зависимости от относительной мощности и тренда (тенденции изменения) параллельно принятых сигналов. Например, если более мощный сигнал имеет тенденцию к снижению, предпочтение отдается более слабому сигналу, который все же можно использовать.

Данные об эффективности описанной выше технологии представлены в табл.3. Они демонстрируют преимущества рассматриваемой технологии при сравнении с работой аналогичной радиоприемной системы, использующей одну антенну, в различных условиях приема. Сравнение производилось для условий успешного приема 99% сообщений длиной 800 бит каждое.

Анализ приведенных в табл.3 данных показывает, что реализованная в радиомодеме Viper-SC+ технология разносенного приема позволяет улучшить параметры принимаемого сигнала практически на 10 дБ, что соответствует увеличению мощности передатчика базовой станции в аналогичной по своим характеристикам радиосистеме в 10 раз. Это обеспечивает расширение зоны уверенного приема радиосигнала без использования дополнительных базовых станций. В случае, когда необходимость расширения зоны электромагнитной доступности отсутствует, рассматриваемая технология обеспечивает увеличение процента корректно принимаемых с первой попытки сообщений. Сокращение количества повторно передаваемых сообщений приводит к существенному росту пропускной способности и сокращению времени реакции системы.

Применение модели радиомодема Viper-SC+ с двумя антеннами позволяет существенно повысить надежность работы и дальность уверенного приема сигнала в стационарных радиосетях.

Базовая станция Viper-SC+ имеет встроенную функцию автоматической подстройки скорости обмена данными в радиосети в зависимости от уровня принимаемого сигнала. В территориально распределенных радиосетях базовая станция обеспечит более высокую скорость обмена данными с объектами, находящимися относительно близко,

**Таблица 2. Технические характеристики радиотехнической платформы Viper-SC+**

	Диапазон ОВЧ		Диапазон УВЧ	Диапазон 900 МГц
	136–174	215–240	406–512	880–902 928–960
Шаг сетки частот, кГц	6,25; 12,5; 25; 50 (настраивается программно)			12,5; 25; 50; 100 (настраивается программно)
Тип излучения (шаг сетки, кГц)	3K5F1D (6,25), 8K30F1D (12,5), 16K8F1D (25), 34K0F1D (50)			
Потребляемый ток в режиме приема, мА (напряжение питания, В)	600 (10); 300 (20); 225 (30)			
Потребляемый ток при выходной мощности 10 Вт, А (напряжение питания, В)	4,6 (10); 2,04 (20); 1,37 (30)			
Номинальная задержка при холодном старте, с	35			
Рабочий режим	Симплекс или полудуплекс			
Чувствительность приемника*, дБм, (скорость, кбит/с):	-114 (16), -106 (32), -100 (48), -92 (64)		-111 (16), -104 (32), -97 (48), -89 (64)	
Подавление помех по соседнему каналу, дБ (шаг сетки, кГц)	45 (6,25), 60 (12,5), 70 (25), 75 (50)		60 (12,5), 70 (25), 75 (50)	
Избирательность, дБ (шаг сетки, кГц)	>70 (25); >60 (12,5); >55 (6,25)			
Выходная мощность передатчика при напряжении 13,6 В, Вт	1–10		1–8	
Время атаки, мс	<1			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Время переключения с приема на передачу, мс	<2 (<4 для модели, сертифицированной по европейским стандартам)			
Стабильность частоты передатчика, ppm	1	0,5	1	0,5
Скорость модема, кбит/с (шаг сетки, кГц)	4, 8, 16, 32, 64, 128 (50) и 256 (100)			
Вид модуляции	2FSK, 4FSK, 8FSK, 16FSK			

\* Сетка частот 25 кГц, вероятность ошибки  $1 \times 10^{-6}$

**Таблица 3. Уровень сигнала, дБм, принимаемого платформой Viper-SC+ с одной и двумя антеннами**

Модель затухания	Одна антенна	Две антенны	Разница
Открытая местность	-110,7	-113,5	2,8
Сельская местность	-99,5	-109,5	10
Пересеченная местность	-99,3	-108,5	9,2
Городская застройка	-98,7	-108,2	9,5





и надежную работу на более низкой скорости с объектами, находящимися на максимальном удалении.

В варианте исполнения с повышенной надежностью и живучестью все составляющие базовую станцию компоненты резервируются, а примененная схема управления предусматривает автоматический переход на резервные компоненты в случае выхода из строя основных, обеспечивая тем самым непрерывность работы в аварийных ситуациях.

Радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+ может быть настроен для работы в качестве маршрутизатора или моста по протоколу Ethernet IEEE 802.3 (поддерживаются IP-протоколы ICMP, IGMP, TCP, UDP, IPSec, SNMP) в качестве DHCP клиента или сервера. Обеспечивается IP-фрагментация (IP-fragmentation), трансляция сетевых адресов NAT (Network Address Translation), динамическая маршрутизация RIPv2, использование протокола определения адресов ARP (Address Resolution Protocol).

В отличие от прозрачных радиомодемов, транслирующих данные в эфир без изменений, Viper-SC+ производит их предварительное пакетирование, после чего передает в радиосеть в адрес индивидуального, группы абонентов или циркулярно. При этом обеспечиваются:

- автоматическое определение основного и резервного маршрутов доставки сообщений;
- поддержка разнесенного приема на две антенны (приемо-передающая и приемная);
- режимы ручной и автоматической настройки;
- работа в симплексном режиме;
- использование в качестве маршрутизатора или моста;
- работа в качестве ретранслятора (прием-регистрация-передача);
- поддержка множественной ретрансляции (не менее четырех ретрансляций);
- поддержка ретрансляции по основному и резервному каналам;
- улучшенная пропускная способность;
- конфигурирование с использованием WEB-интерфейса и удаленная загрузка встроенного программного обеспечения по радиоканалу;
- автоматическая оптимизация скорости обмена данными в случае использования в радиосети с базовой станцией Viper-SC+.

Оборудование Viper-SC+ имеет встроенную диагностику и позволяет организовать автоматический сбор данных о текущем техническом состоянии в реальном масштабе

времени. Диагностическая информация передается с каждым отправляемым сообщением. Для ее получения не требуется отдельного запроса, поскольку данные поступают в режиме OOB (Out-of-Band), не загружая радиоканал, и могут сниматься с настроечного порта базовой станции по протоколу Telnet, не мешая работе системы управления и сбора данных, либо транслироваться вместе с другой информацией с использованием IP-протокола. Эти данные включают в себя следующую информацию:

- температура внутри корпуса;
- напряжение питания;
- сигналы RSSI;
- мощность прямой волны;
- мощность обратной волны;
- количество сбоев PER (Packet Error Rate).

Этих данных вполне достаточно для оценки текущего состояния радиосети средствами Единой системы мониторинга и администрирования технологической сети связи ОАО "РЖД" ЕСМА.

Таким образом, радиотехническая платформа Viper-SC+ позволяет эффективно решать функциональные задачи в интересах интеллектуального железнодорожного транспорта в специализированных автономных радиосетях для каждого перегона с разделением в пространстве, во времени и по радиочастоте перегонов индивидуально или в составе диспетчерского участка, как это предусмотрено в системе АБЦТ-М. Однако она не располагает всеми возможностями, необходимыми для обеспечения функционирования современных распределенных автоматизированных систем на транспорте и некоторыми важными атрибутами подвижной технологической радиосети обмена данными.

*Продолжение в следующем номере.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гапанович В.А., Розенберг Е.Н. Современные средства обеспечения комплексной безопасности движения поездов с применением спутниковых технологий. – Евразия вести, 2011, № 1.
2. Маргарян С.А. Радиосети для систем управления поездами. – Автоматика, связь, информатика, 2014, № 4.
3. Ваванов Ю.В. Радиосети системы АБЦТ-М. Подходы к проектированию. – Автоматика, связь, информатика, 2014, № 3.

