

РАДИОМОДЕМЫ УКВ-ДИАПАЗОНА на интеллектуальном железнодорожном транспорте

С.Маргарян, заместитель генерального директора,
главный конструктор ЗАО "НПП "Родник"/ serge@rodnik.ru

УДК 654.16

Представлена информация об отдельных задачах, связанных с организацией обмена данными в узкополосных технологических радиосетях УКВ-диапазона для организации и обеспечения безопасности движения, а также интервального регулирования (поддержания безопасного интервала между поездами) и диспетчерского управления на железнодорожном транспорте.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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

За последние несколько десятков лет с задействованием радиомодемов на промышленном железнодорожном транспорте Российской Федерации и за рубежом хорошо отработаны функциональные задачи мониторинга состояния тормозной системы железнодорожного состава и контроль отрыва вагона, управления объектами электроснабжения железнодорожного транспорта, мониторинга окружающей среды и обеспечения безопасности, функционирования средств железнодорожной автоматики и телемеханики, дистанционного управления маневровыми работами на станциях, интервального регулирования движения и диспетчерского управления на станциях и перегонах.

В настоящее время в ОАО "РЖД" для управления соединенными и тяжеловесными поездами, станционными системами передачи данных на малоделятельных 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 (устройствами, выполняющими побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования в том виде, в каком они поступают на порт ввода-вывода), позволяющими работать на максимальных скоростях 4800, 9600 и 19200 бит/с соответственно.

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, 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.

Содержащаяся в статье информация может представлять интерес для специалистов, занятых проектированием и развертыванием технологических радиосетей сбора данных и управления, необходимых для обеспечения работы и взаимодействия между собой автоматизированных информационно-управляющих систем, включая АБЦТ-М (автоматическая блокировка с использованием тональных рельсовых цепей, с централизованным размещением аппаратуры, микропроцессорная), КЛУБ (комплексное локомотивное устройство безопасности), КАСАНТ (комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств ОАО "РЖД" и анализа их надежности), КТСМ (комплекс технических средств мониторинга) и комплексной автоматизированной системы диагностики на железнодорожном транспорте.

Радиомодемы для системы АБЦТ-М

Одна из перспективных областей применения радиомодемов УКВ-диапазона – система АБЦТ-М [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 3 с. 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. Таким образом, 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 плюс два 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, в том числе на установление связи (включение и выключение радиомодема, набор необходимой выходной мощности для начала передачи и ее сброс после завершения). И чем больше выходная мощность, тем выше 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 на трансляцию и дублирование 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, нужно 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% времени установления связи, заявленного в технических характеристиках устройства.

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).

Указанного времени радиомодема "Мост" не хватает для того, чтобы произвести повторную передачу сообщения 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 ныне снятый с производства 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.

В настоящее время радиомодем "Мост" позволяет работать в помехоустойчивом режиме, но в этом случае обеспечивается передача пакетами данных длиной от шести 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.

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 ИЖТ

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 проектах, реализованных как в России, так и в других странах.

В настоящее время эта радиотехническая платформа включает в себя следующее оборудование: симплексный / полудуплексный радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+; симплексный / полудуплексный радиомодем-маршрутизатор Viper-SC+ с двумя антеннами, обеспечивающими разносанный 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 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 веб-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

Таблица 1. Сравнительные характеристики радиомодемов УКВ-диапазона

| Общие характеристики | Радиомодем "Мост" | | Радиомодем Guardian-100/200/400/900 | | | |
|--|--|---------|--|---------|--------------------------------|-----------------------|
| | ОВЧ | УВЧ | ОВЧ | | УВЧ | 900 МГц |
| 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 | | | | | | |
| – прием, мА | 350 (48 В) | | 360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В) | | | |
| – передача 40 дБм (10 Вт), А | 1,75 (48 В) | | 4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В) | | | |
| – передача 30 дБм (1 Вт), А | Не применимо | | 1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В) | | | |
| Номинальная задержка при холодном старте, с | 60 | | 20 | | | |
| Рабочее напряжение, В | 48 (постоянный ток) | | 10–30 (постоянный ток) | | | |
| Рабочая температура, °С | от –40 до 60 | | от –30 до 60 | | | |
| Температура хранения, °С | от –50 до 70 | | от –45 до 85 | | | |
| Влажность, % | Не более 80 (при температуре +25°С) | | 5–95 (без образования конденсата) | | | |
| Габаритные размеры, см | 22,0 (Ш) x 24,0 (Г) x 9,7 (В) | | 13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В) | | | |
| Масса (в упаковке), кг | 4,1 | | 1,1 | | | |
| Рабочий режим | Симплекс, полудуплекс | | Симплекс, полудуплекс, дуплекс | | | Симплекс, полудуплекс |
| Приемник | | | | | | |
| Чувствительность (вероятность ошибки $1 \cdot 10^{-6}$), дБм: | | | | | | |
| – 25 кГц | –110 (9,6 кбит/с), –113 (4,8 кбит/с) | | –100 (19,2 кбит/с), –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с) | | | |
| – 12,5 кГц | Не применимо | | –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с) | | | |
| Подавление помех по соседнему каналу, дБ | Нет данных | | 60/12,5 кГц; 70/25 кГц | | | |
| Интермодуляция, дБ | >70 | | >75 | | | |
| Избирательность, дБ | >73 | | >70/25 кГц; >60/12,5 кГц | | | |
| Передатчик | | | | | | |
| Полоса пропускания без подстройки, МГц | 28 | | 38 | 25 | 64 (406,1–470) 62 (450–512) | 32 |
| Выходная мощность, Вт | 5, 10 | | 1–10 | | | 1–8 |
| Время атаки, мс | <22 (9,6 кбит/с), <30мс (4,8 кбит/с) | | <1 | | | |
| Время переключения между каналами, мс | Нет данных | | <15 | | | |
| Импеданс, Ом | 50 | | 50 | | | |
| Цикл работы на передачу, % | 50% (продолжительность непрерывной передачи 60 с) | | 100 | | | |
| Стабильность частоты, ppm | 2,5 | | 1 | | | |
| Модем | | | | | | |
| Скорость, кбит/с | 4,8; 9,6 | | 4,8; 9,6; 19,2 | | | |
| Интерфейсы | Последовательный RS-232 (DB9), RS-485 | | Последовательный RS-232 (DB9)/422 RS-485 | | | |
| Антенна | PL-259 | | TNC (мама) – прием/передача, SMA (мама) – прием (для дуплексных моделей) | | | |
| Индикация | Питание, перегрузка I, перегрузка U, прием / передача, RSSI, подключение к антенне | | Питание, состояние, подключение к сети, работа сети, прием / передача, RSSI, температура | | | |
| Вид модуляции | GMSK | | 2FSK | | | |

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

| Общие характеристики | Радиотехническая платформа Dataradio Viper-SC+ | | | |
|--|--|---------|--|--|
| | ОВЧ | | УВЧ | |
| Диапазон частот, МГц | 136–174 | 215–240 | 406–512 | 900 МГц |
| Шаг сетки частот, кГц | 6,25; 12,5; 25; 50 (настраивается программно) | | | 12,5; 25; 50; 100 (настраивается программно) |
| Тип излучения | 3K5F1D (6,25 кГц), 8K30F1D (12,5 кГц), 16K8F1D (25 кГц), 34K0F1D (50 кГц) | | | |
| Номинальный потребляемый ток | | | | |
| - прием, мА | 600 мА (10 В); 300 мА (20 В); 225 мА (30 В) | | | |
| - передача 40 дБм (10 Вт), А | 4,6 А (10 В); 2,04 А (20 В); 1,37 А (30 В) | | | |
| - передача 30 дБм (1 Вт), А | 1,4 А (10 В); 800 мА (20 В); 600 мА (30 В) | | | |
| Номинальная задержка при холодном старте, с | 35 | | | |
| Рабочее напряжение, В | 10–30, постоянный ток | | | |
| Рабочая температура, °С | –40 до +70 | | | |
| Температура хранения, °С | от –45 до 85 | | | |
| 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 или полудуплекс | | | |
| Приемник | | | | |
| Чувствительность (вероятность ошибки $1 \cdot 10^{-6}$), дБм: | | | | |
| – 25 кГц | –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 | –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) | |
| Подавление помех по соседнему каналу, дБ | 45 (6,25 кГц), 60 (12,5 кГц), 70 (25 кГц), 75 (50 кГц) | | 60 (12,5 кГц), 70 (25 кГц), 75 (50 кГц) | |
| Интермодуляция, дБ | >75 дБ | | | |
| Избирательность, дБ | >70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц) | | | |
| Передатчик | | | | |
| Полоса пропускания без подстройки, МГц | 38 | 25 | 64 (406,1–470) 62 (450–512) | 22; 32 |
| Выходная мощность 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) | | | |
| Импеданс, Ом | 50 | | | |
| Цикл работы на передачу, % | 100 | | | |
| Стабильность частоты, ppm | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 |
| Модем | | | | |
| Скорость, кбит/с | 4, 8, 16, 32, 64, 128 (при работе с шагом сетки радиочастот 50 кГц) и 256 (при работе с шагом сетки радиочастот 100 кГц) | | | |
| Интерфейсы | Последовательный RS-232 (DB9), Ethernet 10Base-T | | | |
| Антенна | TNC (мама) – прием / передача, SMA (мама) – прием (для дуплексных моделей) | | | |
| Индикация | Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием / передача, RSSI, температура | | | |
| Вид модуляции | 2FSK, 4FSK, 8FSK, 16FSK | | | |

разнесенный 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 разнесенного 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, 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 на адрес индивидуального абонента, 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

Таблица 3. Сравнительные технические характеристики оборудования радиотехнической платформы Viper-SC+ с одной и двумя приемными антеннами (разнесенный прием)

| Модель затухания | Один приемник | Два приемника (разнесенный прием) | Разница |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|---------|
| Открытая местность | -110,7 дБм | -113,5 дБм | 2,8 дБ |
| Сельская местность | -99,5 дБм | -109,5 дБм | 10 дБ |
| Пересеченная местность | -99,3 дБм | -108,5 дБм | 9,2 дБ |
| Городская застройка | -98,7 дБм | -108,2 дБм | 9,5 дБ |

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 ООВ (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. Это данные о температуре внутри корпуса, напряжении питания, сигналах RSSI, мощности прямой волны, мощности обратной волны, количестве сбоев (PER – Packet Error Rate). Их вполне достаточно для оценки текущего состояния радиосети средствами ЕСМА – Единой системы мониторинга и администрирования технологической сети связи ОАО "РЖД".

Таким образом, радиотехническая платформа Viper-SC+ позволяет эффективно решать функциональные задачи в интересах ИЖТ 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.

Перспективная подвижная радиосеть ИЖТ

Главным стратегическим направлением развития системы связи ОАО "РЖД" является передача служебной информации с целью реализации интервального регулирования движения поездов и обеспечения перехода к интеллектуальному железнодорожному транспорту. Движение в этом направлении связано с увеличением объема данных, циркулирующих в технологических радиосетях между стационарными пунктами управления, локомотивами

и устройствами ЖАТ. Такая радиосеть должна гарантированно обеспечить своевременное доведение данных до всех заинтересованных пользователей на всей дорожной сети и в любой штатной ситуации (ситуации со сбоями в работе и выходом из строя комплектов оборудования в такой радиосети должны обрабатываться как штатные, не приводящие к срыву работы АСУ).

В связи с этим формирование архитектуры радиосети для каждого перегона с ограничением объемов передаваемых данных и строгим расписанием трансляции представляется нецелесообразным: любой пользователь системы должен иметь возможность передачи требуемого в данный момент объема информации с гарантированным ее доведением в установленные сроки в любое время. Естественно, что пропускная способность такой радиосети определяется на этапе проектирования исходя из имеющихся максимальных потребностей, но архитектура радиосети должна предусматривать возможность гибкого ее наращивания без замены ранее развернутых комплектов оборудования и изменения базовых первоначальных настроек.

Такие возможности в полной мере обеспечиваются специализированной радиотехнической платформой Paragon/Gemini, включающей в себя оборудование для базовых станций, в том числе многочастотных с повышенной надежностью и живучестью Paragon и подвижных объектов Gemini.

Оборудование данной радиотехнической платформы разработано специально для создания распределенных подвижных радиосетей обмена данными с практически неограниченным количеством базовых станций, работающих с использованием IP-протокола и формирующих единую зону электромагнитной доступности (ЭМД) для всех пользователей, которые могут свободно перемещаться в данной зоне без перерывов в связи. Оно позволяет организовать хэндовер (англ. Handover – процесс автоматической передачи сеанса связи подвижного абонента от одной базовой станции к другой без нарушения и потери обслуживания) между соседними базовыми станциями с автоматическим распределением нагрузки между ними в общих зонах ЭМД. Надежность доставки данных обеспечивается встроенной функцией коррекции ошибок при передаче.

Базовый радиотехнический комплекс Paragon представляет собой приемопередающее устройство с открытой архитектурой, предназначенное для организации радиосети обмена данными с удаленными бортовыми радиомодемами Gemini. Он имеет в своем составе

Таблица 4. Технические характеристики радиомодема ParagonG4

| Технические характеристики | ParagonG4 | | |
|--|--|----------------------|----------------------|
| Общие | | | |
| Диапазон рабочих частот | 403–512 МГц | Передача: 762–773 | Передача: 851–869 |
| | | Прием: 792–803 МГц | Прием: 806–824 МГц |
| Шаг сетки радиочастот | 25 или 50 кГц | | |
| Габаритные размеры | 192,6 (Ш) x 56,0 (В) x 81,3 (Г) мм | | |
| Потребление тока в режиме передачи | 20 А/13,8 В (ном.) | 24 А/13,8 В (ном.) | 28 А/13,8 В (ном.) |
| Рабочая температура | от –30 до 60°C | | |
| Температура хранения | от –40 до 70°C | | |
| Режим работы | Дуплекс, 100%-ный цикл | | |
| Избирательность | 75 дБ (50 кГц), 85 дБ (25 кГц) | | |
| Программная синхронизация | Поддерживается при затухании сигнала | | |
| Достоверность | 1 · 10 ⁻⁹ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно) | | |
| Защита данных | 128-битный ключ | | |
| Приемник | | | |
| Избирательность: | | | |
| – 50 кГц | | 75 | |
| – 25 кГц | 87 | | 85 |
| Интермодуляция: | | | |
| – 50 кГц | | 80 | |
| – 25 кГц | 85 | | 80 |
| Побочное излучение | –90 дБм до 4 ГГц | | |
| Чувствительность (1% поврежденных пакетов на несущей частоте с применением технологии параллельного декодирования) | –98 дБм (64 кбит/с) | –96 дБм (128 кбит/с) | –95 дБм (64 кбит/с) |
| | –104 дБм (48 кбит/с) | –102 дБм (96 кбит/с) | –101 дБм (48 кбит/с) |
| | –110 дБм (32 кбит/с) | –108 дБм (64 кбит/с) | –107 дБм (32 кбит/с) |
| Передатчик | | | |
| Выходная мощность | 20–100 Вт | 35–70 Вт | 20–70 Вт |
| Тип излучения: | | | |
| – 32,0 кбит/с | 16K0F1D | | 16K5F1D |
| – 48,0 кбит/с | 13K7F1D | | 16K5F1D |
| – 64,0 кбит/с | 13K7F1D | 30K0F1D | 16K5F1D |
| – 96,0 кбит/с | | 30K0F1D | |
| – 128,0 кбит/с | | 30K0F1D | |
| Вид модуляции | | | |
| – 32; 48 и 64 кбит/с (25 кГц) | SRRC16FSK | | |
| – 128,0 кбит/с | SRRC16FSK | | |
| – 96,0 кбит/с | SRRC8FSK | | |
| – 64,0 кбит/с | SRRC4FSK | | |

| Технические характеристики | ParagonG4 |
|----------------------------|---|
| Побочное излучение | |
| – в режиме передачи | –36 дБм до 1 ГГц / –30 дБм до 4 ГГц |
| – в режиме ожидания | –57 дБм до 1 ГГц / –47 дБм до 4 ГГц |
| Стабильность | 5 : 01 |
| Модем | |
| Коррекция ошибки | Hypercode10 |
| Программная синхронизация | Поддерживается при затухании сигнала |
| Достоверность | $1 \cdot 10^{-9}$ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно) |
| Частота появления ошибок | < 1% @ –107 с коррекцией ошибки на скорости 32,0 кбит/с; |
| | < 1% @ –110 с коррекцией ошибки на скорости 25,6 кбит/с; |
| | < 1% @ –112 с коррекцией ошибки на скорости 19,2 кбит/с |
| Защита данных | 128-битный ключ |
| Протокол обмена данными | TCP/IP |

мощный приемопередатчик, радиомодем нового поколения на цифровом сигнальном процессоре с двумя адресуемыми последовательными портами RS-232 – встроенным двухпортовым маршрутизатором Ethernet и портом USB, – а также блок питания. Обеспечивает обмен данными в пакетном режиме с поддержкой протокола TCP/IP. Технические характеристики радиомодема ParagonG4 представлены в табл.4.

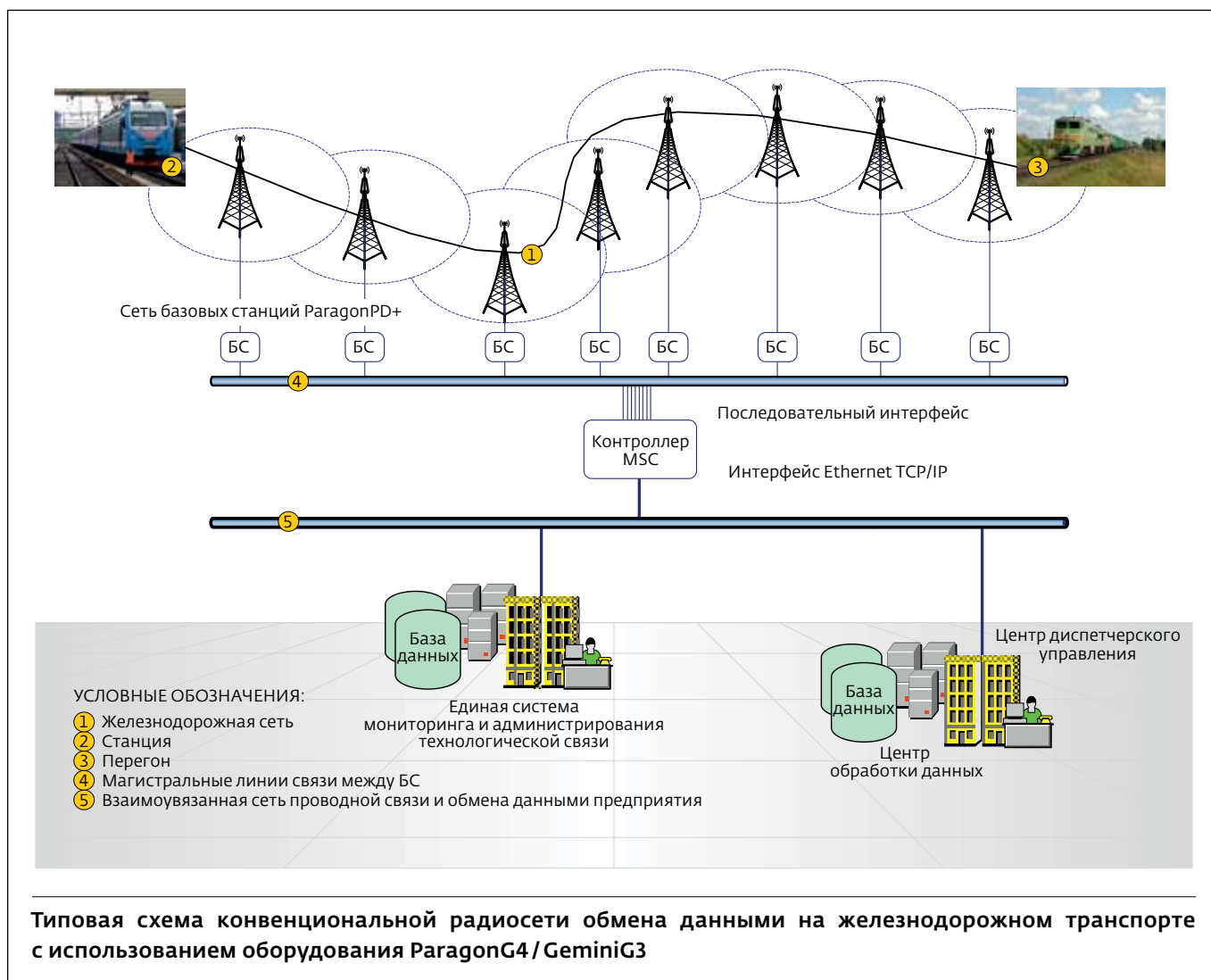
Бортовой навигационно-связной комплекс Gemini представляет собой радиотехническое устройство нового поколения, объединяющее 32-канальную радиостанцию с малым временем атаки, радиомодем на базе мощного цифрового сигнального процессора, спутниковый навигационный приемник, два последовательных порта RS-232, сконфигурированных для терминального сервера, порт 10/100Base-T Ethernet со встроенным маршрутизатором и порт USB, размещенные в едином корпусе. Работа обеспечивается через базовую станцию ParagonG4 с использованием двух антенн (разнесенный прием) и технологии параллельного декодирования и интеллектуального объединения принимаемых сигналов. Аппаратура радиотехнической платформы Paragon/Gemini позволяет существенно расширить функциональные возможности подвижных технологических радиосетей, обеспечив, наряду с оперативным обменом и трансляцией докладов о местоположении, передачу графической информации, файлов большого объема и видеоданных. Технические характеристики радиомодема GeminiG3 представлены в табл.5.

Работа в радиосети на оборудовании радиотехнической платформы Paragon/Gemini организуется по протоколам UDP или TCP/IP с автоматическим сжатием пакетов данных. Применение сигнализации ООВ для передачи навигационной информации и данных о техническом состоянии позволяет существенно увеличить количество работающих на одном радиоканале подвижных объектов за счет автоматической передачи навигационной и диагностической информации при каждом сеансе связи. В аппаратуре реализована функция встроенной диагностики, которая позволяет получать информацию о техническом состоянии оборудования в реальном масштабе времени.

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте включает в себя сеть базовых станций, устанавливаемых вдоль железнодорожного пути и соединенных каналами магистральной проводной или беспроводной связи с пунктами сбора данных и управления. Каждая БС обеспечивает связь с группой поездов, находящихся в ее оперативной зоне. Зоны соседних БС полностью перекрывают друг друга, в результате чего формируется единая оперативная зона с повышенной надежностью и живучестью, работу в которой обеспечивают не менее двух базовых станций, каждая из которых может быть в отказоустойчивом исполнении. Переключение поездов на работу с соседней станцией осуществляется автоматически с учетом текущей загруженности соседних БС и уровней сигнала. Таким образом, отпадает необходимость в жестком определении точки

Таблица 5. Технические характеристики радиомодема GeminiG3

| Технические характеристики | GeminiG3 | | |
|---------------------------------|---|--|---|
| Общие | | | |
| Диапазон рабочих частот, МГц | 403–460, 450–512 | Прием: 792–803 | Прием: 851–869 |
| | | Передача: 762–773 | Передача: 806–824 |
| Шаг сетки радиочастот, кГц | 25 или 50 | | |
| Скорость обмена данными, кбит/с | 32,0; 48,0 или 57,6 в канале с шагом сетки 25 кГц | 64,0; 96,0 или 128,0 в канале с шагом сетки 50 кГц | 32,0; 48,0 или 64,0 в канале с шагом сетки 25 кГц |
| Габаритные размеры, см | 15,4 (Ш) x 5,1 (В) x 18,2 (Г) | | |
| Количество каналов | 32 (программируемые, удаленная настройка) | | |
| Режим работы | Полудуплекс | | |
| Питающее напряжение, В | 13,6 (ном.); 10,9–16,3 | | |
| Рабочая температура, оС | от –30 до 60°С | | |
| Защита данных | AES 128-бит | | |
| Защита по питанию | 15 А (внешний предохранитель), защита от переплюсовки | | |
| Потребляемый ток: | | | |
| – передача при 13,3 В, А | <12 А | | |
| – прием при 13,3 В, мА | <750 (включая навигационный приемник) | | |
| Приемник | | | |
| Чувствительность, дБм | –98 (64 кбит/с) | –94 (128 кбит/с) | –95 (64 кбит/с) |
| | –104 (48 кбит/с) | –100 (96 кбит/с) | –101 (48 кбит/с) |
| | –108 (43,2 кбит/с) | –106 (64 кбит/с) | –105 (43,2 кбит/с) |
| | –110 (32 кбит/с) | | –107 (32 кбит/с) |
| Избирательность, дБ | 77, номинально | 68, номинально | 77, номинально |
| | >75 мин (25 кГц) | >65 мин (50 кГц) | >75 мин (25 кГц) |
| Интермодуляция, дБ | 80, номинально | 78, номинально | 80, номинально |
| | >75 мин | >75 мин | >75 мин |
| Передатчик | | | |
| Время атаки передатчика | < 10 мс (отклонение не более 1 мс) | | |
| Выходная мощность | 10–40 Вт | 10–35 Вт | |
| Модем | | | |
| Коррекция ошибки | Hypercode10 | | |
| Программная синхронизация | Поддерживается при затухании сигнала | | |
| Достоверность | $1 \cdot 10^{-9}$ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно) | | |
| Частота появления ошибок | < 1% @ –107 с коррекцией ошибки на скорости 32,0 кбит/с; | | |
| | < 1% @ –110 с коррекцией ошибки на скорости 25,6 кбит/с; | | |
| | < 1% @ –112 с коррекцией ошибки на скорости 19,2 кбит/с | | |
| Защита данных | 128-битный ключ | | |
| Протокол обмена данными | TCP/IP | | |



выполнения хэндовера и привязке ее к границам перегона. Учитывая, что рассматриваемое оборудование для конвенциональных радиосетей обмена данными использует открытый протокол TCP/IP, наращивание комплектов оборудования и создание многоканальных базовых станций в составе радиосети, равно как сопряжение с любой современной автоматизированной системой управления, не представляет трудностей. Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте представлена на рисунке.

Данная схема в полной мере удовлетворяет требованиям, установленным в "Белой Книге" ОАО "РЖД" и направленным на создание единого информационного пространства, интегрированного с информационными системами других видов транспорта и промышленности, а также иностранных железных дорог.

Таким образом, выпускаемые в настоящее время узкополосные радиомодемы УКВ-диапазона могут эффективно использоваться для создания радиосетей удаленного сбора данных и управления в интересах создания перспективных АСУ для интеллектуального железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гапанович В.А., Розенберг Е.Н. Современные средства обеспечения комплексной безопасности движения поездов с применением спутниковых технологий // Евразия вестн. 2011. № 1.
2. Маргарян С.А. Радиосети для систем управления поездами // Автоматика, связь, информатика. 2014. № 4.
3. Ваванов Ю.В. Радиосети системы АБТЦ-М. Подходы к проектированию // Автоматика, связь, информатика. 2014. № 6.