

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДААННЫМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

С.Маргарян, заместитель генерального директора –  
главный конструктор ЗАО "НПП "Родник"  
В.Саруханов, генеральный директор ООО "НЦПР"  
А.Щелухин, начальник лаборатории АСУ ОАО "НИИП"  
sm@rodnik.ru

Конвенциональные (традиционные) радиомодемы УКВ-диапазона подвижных технологических радиосетей обмена данными обеспечивают функционирование автоматизированных систем управления (АСУ) различного назначения на железнодорожном транспорте. Эти радиосети рассматриваются как составная и неотъемлемая часть единой взаимоувязанной технологической системы связи ОАО "РЖД", уже использующей средства связи стандартов GSM-R и TETRA.

Сегодня в системах связи, обеспечивающих работу железнодорожного транспорта, широко распространены средства связи стандартов GSM-R (GSM-Railway – стандарт GSM для железной дороги) и TETRA (TErrestrial Trunked Radio). Оба стандарта обладают своими преимуществами и недостатками. Поэтому, например, в Европе в интересах железнодорожных перевозок продолжают эксплуатироваться более 30 других систем связи, а процесс интеграции предусматривает поддержку действующих национальных систем.

Для сравнительной оценки технических возможностей систем связи различных стандартов на железнодорожном транспорте в ОАО "РЖД" был создан опытный участок в районе Екатеринбург – Камышлов протяженностью 153 км, на котором были развернуты две сети: стандартов GSM-R и TETRA. По результатам проведенных испытаний российские технические эксперты пришли к выводу о том, что обе системы имеют право на жизнь, поэтому каждая из систем должна использоваться в приложениях, в которых ее преимущества проявляются наиболее полно.

Средства связи этих стандартов должны интегрироваться с существующими системами аналоговой и цифроаналоговой радиосвязи, работающими в диапазонах

частот 2 и 160 МГц, и иметь единую систему мониторинга и администрирования радиосетей, что накладывает дополнительные требования к стандартизации аппаратуры связи и применению в их составе типовых интерфейсов.

По оценке ведущих специалистов отрасли [1], в вопросах обеспечения безопасности движения поездов необходимо в максимальной степени ориентироваться на частотные ресурсы, выделенные непосредственно для нужд ОАО "РЖД". Выбор частотных ресурсов для каждой из систем определяется рядом требований, основные из них – электромагнитная совместимость (ЭМС) радиосвязи различных систем управления, высокий уровень надежности каналов передачи данных, а также необходимые системам управления объемы и скорости передачи данных. С учетом этих требований рекомендовано ориентироваться на следующее примерное распределение частотного ресурса для построения систем управления движением:

2 МГц – резервирующий радиоканал систем управления соединенных и тяжеловесных поездов;

160 МГц – радиоканалы систем управления соединенных и тяжеловесных поездов, станционных систем передачи данных на малодетальных участках, резерви-

рующий канал при использовании в системах управления радиосетей общего пользования;

460 МГц (система TETRA) – системы управления маневровыми локомотивами на станциях;

900/1800 МГц – система GSM-R, обеспечивающая поездную радиосвязь и системы интервального регулирования движения поездов на скоростных и высокоскоростных участках;

1800, 2400 МГц (системы DECT, Wi-Fi, WiMAX) – стационарные высокоскоростные сети передачи данных для информационно-управляющих систем, организации видеонаблюдения.

Таким образом, в составе системы связи ОАО "РЖД" используются и планируются к применению средства связи, функционирующие практически во всем доступном диапазоне радиоволн. Причем наиболее актуальны технические решения, обеспечивающие надежный обмен данными между стационарными пунктами управления и подвижным составом.

### ОГРАНИЧЕНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ СТАНДАРТОВ GSM-R И TETRA ПО ОБМЕНУ ДАННЫМИ

Одно из наиболее актуальных требований к современной системе связи – возможность эффективного обмена данными. GSM-R и TETRA изначально создавались как многоканальные голосовые системы связи для обмена речевыми сообщениями между значительным числом абонентов в географических зонах с высокой плотностью населения. И для решения подобной задачи это лучшее на сегодня решение. Однако обмен данными предъявляет несколько иные требования к средствам связи. Более того, эффективность адаптированной для передачи данных системы голосовой связи серьезно зависит от характера передаваемых данных. Реализованные в современных голосовых средствах связи принципы работы, направленные на их оптимизацию в части голосовой связи, во многом являются серьезным ограничением при обмене данными.

Например, в транковой системе связи отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период сеанса связи. В такой системе запрос на доступ к информационному каналу, по которому происходит речевой обмен, передается по служебному каналу связи. При получении запроса от абонента система автоматически находит свободный информационный канал и предоставляет доступ к нему. Относительно быстрая смена каналов связи для одних и тех же абонентов в процессе сеанса связи позволяет использовать паузы в переговорах одной группы абонентов для обеспечения связью другой. В настройках транковых систем предусмотрена дополнительная задержка до нескольких секунд после завершения передачи очередного голосового сообщения. Это позволяет удерживать активных абонентов на одном канале и снизить нагрузку на служебный канал, связанную с переводом абонентов между информационными каналами. В результате при прочих равных условиях пропускная способность у транковой системы при обмене голосовыми сообщениями оказывается в несколько раз выше, чем у обычной (конвенциональной) системы голосовой связи.

Такие прекрасные технические решения для голосовой связи оказываются абсолютно неэффективными при обмене данными. Голосовые сообщения имеют существенно большую длину (продолжительность при пе-

редаче) по сравнению с данными. И если задержки при выделении абоненту информационного канала практически незаметны при переговорах, то для системы обмена данными\* они неприемлемы. Например, в транковых системах задержка в предоставлении доступа к каналу связи составляет не менее 300 мс (это лучший показатель), а в GSM-R – до нескольких секунд. За это время в конвенциональной системе может быть передано несколько десятков коротких сообщений.

Серьезным ограничением выступает и пропускная способность служебного канала. При голосовом обмене интенсивность поступления запросов в служебный канал относительно невысока – активность абонентов учитывается при проектировании радиосети и в повседневной обстановке поддерживается на низком уровне. Рост интенсивности работы в аварийных ситуациях может компенсироваться за счет предоставления более высоких приоритетов отдельным группам абонентов за счет других. При передаче данных интенсивность запросов оказывается как минимум на порядок выше и служебный канал объективно не в состоянии с ними справиться. Выделение дополнительного служебного канала за счет сокращения числа информационных каналов оказывается неэффективным. В аварийных ситуациях, как правило, отсутствует возможность предоставления приоритета одному элементу АСУ за счет другого, поскольку это приводит к срыву нормальной работы последнего. Таким образом, пропускная способность служебного канала оказывается критическим ограничением при использовании транковой системы для обмена данными.

Существенный недостаток сетей GSM-R (как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS\*\* и EDGE\*\*\*) – недетерминированная задержка в доставке данных. Работа значительной части АСУ настраивается с учетом времени, необходимого на передачу запросов и получение на них ответов. Чем меньше допустимые предельные значения задержек доставки сообщений, тем эффективнее работа АСУ. В сетях GSM-R этот параметр приходится увеличивать, снижая тем самым эффективность работы АСУ.

Возможность использования единой радиосети (а следовательно, и единого радиочастотного ресурса) для обмена голосовыми сообщениями и данными может рассматриваться как серьезное преимущество в радиосетях общего пользования. Действительно, многие на себе ощутили всю прелесть работы в Интернете и одновременного общения по телефону по одной линии. Однако в технологических радиосетях такое решение принципиально неприемлемо: работа АСУ требует строго детерминированного потока данных и задержек, а выполнить это требование при наличии голосового

\* Здесь и далее имеются в виду системы обмена данными, применяемые в ответственных приложениях, характерных для АСУ на железнодорожном транспорте. Все оценки даются применительно к характеру циркулирующих в технологической радиосети сообщений – короткие сообщения, передаваемые с высокой плотностью и требующие минимальных и полностью детерминированных задержек при доставке.

\*\* GPRS (General Packet Radio Service) — пакетная радиосвязь общего пользования, надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетный обмен данными.

\*\*\* EDGE (EGPRS) (Enhanced Data rates for GSM Evolution) – цифровая технология для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над GPRS-сетями.

потока невозможно – любой абонент будет говорить столько, сколько посчитает нужным, и тогда, когда ему это потребуется. Практический опыт показывает, что относительно высокая надежность передачи данных в радиосети может быть достигнута, если трафик данных не превышает 15% пропускной способности всей сети, и в ней отсутствуют резкие всплески интенсивности голосовых сообщений. Что в принципе невозможно в ответственных технологических радиосетях.

Таким образом, эффективные технические решения по оптимизации голосовой связи в современных радиосетях стандартов GSM-R и TETRA оказались серьезным ограничением для этих систем в части обмена данными. Практический опыт показывает, что возможности этих систем связи по обмену данными можно кардинально улучшить за счет интеграции в их состав специализированного конвенционального оборудования.

## ВОЗМОЖНОСТИ КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫХ РАДИОСЕТЕЙ ПО ОБМЕНУ ДАННЫМИ

Описанные проблемы полностью отсутствуют в конвенциональных технологических радиосетях. Доступ к радиоканалу в них происходит напрямую, без использования промежуточного служебного канала, поэтому задержки доступа к каналу передачи полностью отсутствуют. Сравним задержки при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях (табл.1). Здесь и далее рассматриваются подвижные конвенциональные радиосети, использующие радиомодемы Dataradio ParagonG3/GeminiG3 компании CalAmp ([www.calamp.com](http://www.calamp.com)). Необходимо отметить, что замеры параметров работы радиосети GSM, приведенных в табл.1, производились на конкретном сегменте сотовой сети связи конкретного оператора и в конкретный период времени. Поэтому они могут изменяться в

зависимости от текущей нагрузки на сеть сотовой связи. Обеспечить стабильность пропускной способности такой радиосети можно только за счет выделения для обмена данными отдельных канальных и частотных ресурсов.

- Анализ данных, представленных в табл.1, показывает:
- при работе в режиме CSD обеспечивается наиболее стабильный обмен данными, однако даже в этом случае разница между минимальным и максимальным значениями пропускной способности составляет около 12%, а собственно скорость обмена данными относительно мала;
  - разница между минимальным и максимальным значением пропускной способности при использовании GPRS составляет около 94% и 280% для режимов "виртуального COM-порта" и "клиент-сервер", соответственно. Низкая стабильность этих показателей связана с одновременной передачей по радиосети речевых сообщений, поток которых нельзя детерминировать;
  - поскольку предусматривается применение технологической радиосети TETRA для мобильного приложения, в ней должны быть реализованы функции помехозащищенности. Номинальная скорость обмена данными в такой радиосети при обеспечении высокой помехозащищенности может составлять от 2,4 (один тайм-слот) до 4,8 кбит/с (два тайм-слота). Использование для обмена данными большего количества тайм-слотов делает радиосеть TETRA неэффективной для голосового обмена, что является ее основной задачей;
  - в конвенциональной технологической радиосети предусматривается только высокая помехозащищенность. Пропускная способность такой радиосети будет в значительной степени зависеть от применяемого метода встроенного сжатия данных.

Таблица 1. **Задержки при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 компании CalAmp ([www.calamp.com](http://www.calamp.com))**

Параметр	Радиосеть GSM-R [2] <sup>1</sup>			Радиосеть TETRA <sup>1</sup>	Конвенциональная радиосеть
	CSD <sup>2</sup>	GPRS "виртуальный COM-порт"	GPRS "клиент-сервер"		
Средняя задержка в канале <sup>3</sup> , мс	600	500	1300	>300	25
Минимальная/максимальная задержка в канале, с	500/900	300/1500	100/3900	>500	22,5/27,5
Заявленная скорость обмена данными, кбит/с	9,6	171,2	171,2	28,8	64
Средняя пропускная способность канала, кбит/с	8,168	5,152	4,904	–	–
Минимальная/максимальная пропускная способность канала, кбит/с	7,520/8,960	1,520/14,296	0,336/9,520	2,4/4,8 <sup>4</sup>	23,46/114,27 <sup>5</sup>

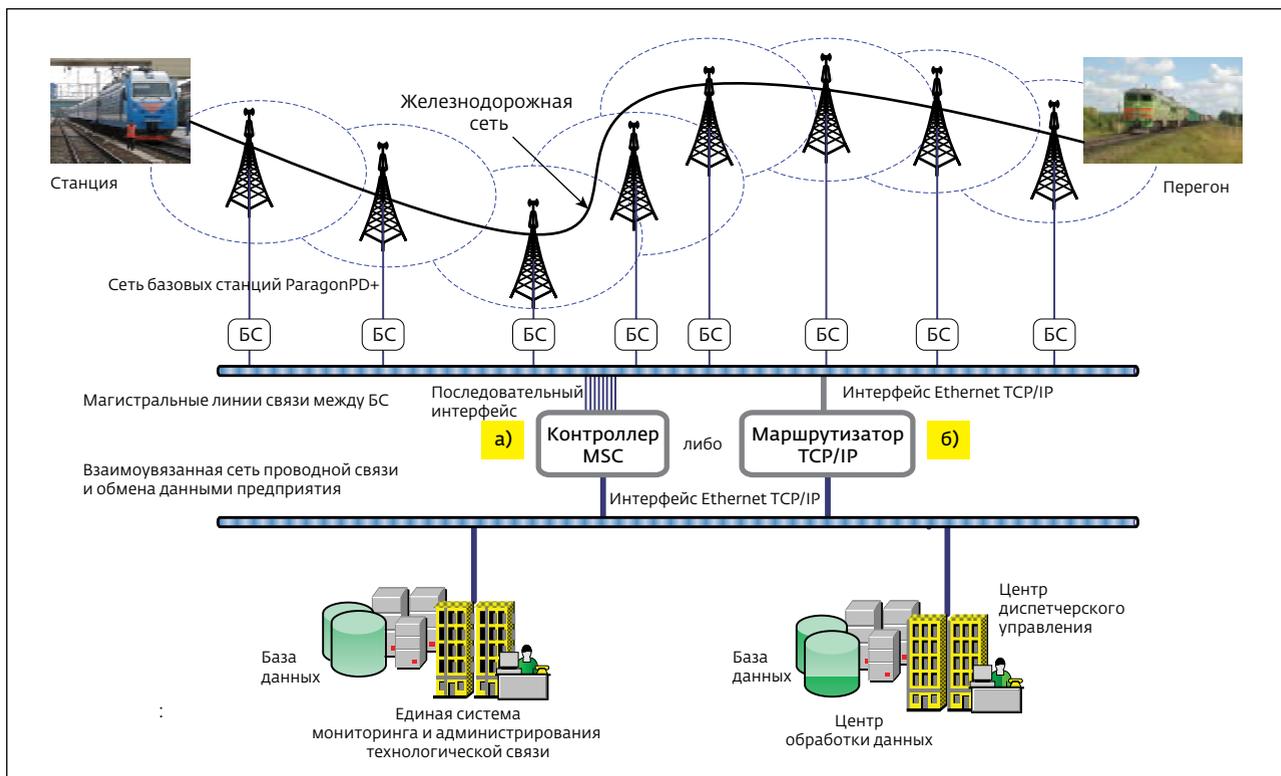
<sup>1</sup> Для сетей GSM-R и TETRA указаны максимальные теоретические скорости обмена данными при использовании всех тайм-слотов, без передачи голоса (8 тайм-слотов в полосе 200 кГц для GSM-R и 4 тайм-слота в полосе 25 кГц для TETRA).

<sup>2</sup> CSD (Circuit Switched Data) – технология передачи данных, разработанная для мобильных телефонов стандарта GSM. CSD использует один временной интервал для передачи данных на скорости 9,6 Кбит/с в подсистему сети и коммутации, где они могут быть переданы через эквивалент нормальной модемной связи в телефонную сеть.

<sup>3</sup> Время от передачи запроса до получения доступа к каналу связи и готовности к передаче сообщения.

<sup>4</sup> Скорость при обеспечении высокой/средней помехоустойчивости.

<sup>5</sup> Без сжатия / при максимальном использовании встроенной функции сжатия данных для обеспечения высокой помехоустойчивости.



**Рис.1. Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте: а – с БС Paragon<sup>PD+</sup>, б – с БС ParagonG3**

Однако для одинаковых потоков данных и выбранных методов сжатия пропускная способность останется неизменной;

- даже при использовании всех радиочастотных ресурсов (тайм-слотов), пропускная способность данных в радиосетях GSM-R и TETRA оказывается ниже по сравнению со специализированными конвенциональными радиосетями. Это отставание является системным и сохранится в перспективе.

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте включает в себя сеть базовых станций (БС), 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. В современной радиосети для железной дороги зоны соседних БС полностью перекрывают друг друга, в результате чего формируется единая оперативная зона с повышенной надежностью и живучестью. Переключение связи поезда от одной БС к другой (хэндовер) происходит автоматически. Учитывая, что рассматриваемое оборудование для конвенциональных радиосетей обмена данными использует открытый протокол TCP/IP, не представляет трудностей наращивание комплектов оборудования и создание многоканальных базовых станций в составе радиосети, равно как и сопряжение с любой современной автоматизированной системой управления.

Возможны две типовые схемы конвенциональной радиосети (рис.1). Принципиальное различие между ними – в первой используются последовательные интерфейсы, по которым каждая базовая станция Paragon подключается к многобазовому контроллеру MSC

(Multi-site controller), выполняющему функции централизованного технического управления и сопряжения с взаимодействующей сетью проводной связи и обмена данными ОАО "РЖД". Во втором случае все БС связаны Ethernet-сетью и используется стандартное сетевое оборудование. Обе схемы в полной мере удовлетворяют 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.

Надежность любой системы определяется, в том числе, количеством входящих в ее состав компонентов и отдельных узлов – чем их меньше, тем проще, при прочих равных, обеспечить необходимый уровень надежности и живучести системы в целом. Это в полной мере относится к числу базовых станций в составе технологической радиосети обмена данными: чем их меньше, тем проще система управления и обеспечения их работоспособности.

Сегодня серийно выпускается оборудование для создания конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными в диапазонах 132–174, 215–240, 403–512, 700, 800 и 900 МГц (табл.2–4). В отличие от радиосетей GSM-R и TETRA, предусматривающих использование не только мобильных, но и носимых связных терминалов с невысокой выходной мощностью (обычно от 0,9 до 3 Вт), в конвенциональных технологических радиосетях применяются терминалы с выходной мощностью 20–45 Вт (табл.5). Они обеспечивают существенно большую зону покрытия БС, которая определяется, в том числе, мощностью абонентских передатчиков.

**Таблица 2. Технические характеристики базовых радиомодемов Dataradio ParagonG3 для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными**

Диапазон рабочих частот, МГц	403–512	Передача: 762–773 Прием: 792–803	Передача: 851–869 Прием: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Габаритные размеры, см	192,6 (Ш) × 56,0 (В) × 81,3 (Г)		
Ток потребления в режиме передачи, А, при номинальном напряжении 13,8 В	20	24	28
Рабочая температура, °С	От -30 до 60		
Температура хранения, °С	От -40 до 70		
Режим работы	Дуплекс, 100% цикл		
Избирательность, дБ	75 (50 кГц), 85 (25 кГц)		
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность	10 <sup>-9</sup> (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Защита данных	AES 128		
Выходная мощность передатчика, Вт	20–100	35–70	20–70
Приемник			
Избирательность, дБ:	50 кГц	75	
	25 кГц	87	85
Побочное излучение, дБм	-90 до 4 ГГц		
Чувствительность, дБм (1% поврежденных пакетов на несущей частоте с применением технологии параллельного декодирования)	-98 (64 кбит/с)	-96 (128 кбит/с)	-95 (64 кбит/с)
	-104 (48 кбит/с)	-102 (96 кбит/с)	-101 (48 кбит/с)
	-110 (32 кбит/с)	-108 (64 кбит/с)	-107 (32 кбит/с)

Все выпускаемое оборудование имеет встроенные средства диагностики, обеспечивающие удаленный контроль технического состояния устройств. Для этого используются открытые интерфейсы, включая протокол TCP/IP, что позволяет эффективно и просто интегрировать их в единую систему мониторинга и администрирования технологической связи ОАО "РЖД", а также в системы технологической связи промышленного железнодорожного транспорта и метро.

Все оборудование для конвенциональных радиосетей может быть эффективно применено в качестве дополнительного для обмена данными во всех диапазонах радиоволн УКВ-диапазона, предусмотренных к использованию в ОАО "РЖД". Учитывая протяженность российской сети железных дорог, для организации поездной радиосвязи и системы интервального регулирования движения поездов на всех участках, включая скоростные и высокоскоростные, наиболее целесообразно работать в более низких по сравнению с GSM-R диапазонах волн, например 450 МГц. При этом для покрытия заданной оперативной зоны потребуется существенно меньше БС по сравнению с диапазоном 900/1800 МГц. Отметим, что в качестве магистральных каналов связи для удаленного подключения БС конвенциональные технологические радиосети допускают применение любых каналов соответствующей пропускной способности, в то время как в радиосетях GSM-R и TETRA в качестве основных предусмотрены дорогостоящие каналы E1. В связи с этим развертывание инфраструктуры конвенциональных радиосетей оказывается в разы, а иногда и на порядок дешевле.

Нарастивать пропускную способность конвенциональной радиосети можно не только за счет наращивания комплектов оборудования для организации дополнительных каналов связи (как и в GSM-R и TETRA), но и применяя оборудование с более широкой полосой пропускания. Так, уже более четырех лет серийно выпускается комплект оборудования для работы в канале шириной 50 кГц (два соседних канала по 25 кГц) со скоростью обмена данными 128 кбит/с. Его эффективность оказывается несколько выше, чем у перспективной цифровой транковой системы связи и обмена данными TEDS (TETRA Enhanced Data System).

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕНЦИОНАЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДАМИ МЕТРО

Для обеспечения интервального регулирования движения поездов метрополитена комплекс технических средств каждого поезда на линии должен формировать и передавать команды для диспетчерского пункта и позади идущего поезда о своей фактической скорости и координатах собственных "головы" и "хвоста", а также об исправности поездных устройств. Система передачи информации по радиоканалу между поездами и диспетчерскими пунктами должна действовать непрерывно: отсутствие информации о параметрах впереди идущего поезда в течение заданного промежутка времени должно приводить к торможению следующего за ним поезда до полной остановки.

На поездах метро применяется АСУ технической диагностики и безопасности движения нового поколения "Витязь" [3], которая обеспечивает автоматизированное управление (с участием одного оператора) составом до

Таблица 3. **Технические характеристики бортовых радиомодемов Dataradio GeminiG3**

Диапазон рабочих частот, МГц	403–460 , 450–512		Прием: 792–803 Передача: 762–773	Прием: 851–869 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	
Габариты, см	15,4 (Ш)×5,1 (В)×18,2 (Г)			
Число каналов	32 (программируемые, удаленная настройка)			
Режим работы	Полудуплекс			
Питающее напряжение, В	13,6 (ном.); 10,9–16,3			
Рабочая температура, °С	От -30 до 60			
Защита данных	AES 128			
Защита по питанию	15 А (внешний предохранитель), защита от переплюсовки			
Потребляемый ток, А, при напряжении 13,3 В:				
- при передаче	<12			
- при приеме	<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 >75 (25 кГц)	68 номинально >65 (50 кГц)	77 номинально >75 (25 кГц)	
Передатчик				
Время атаки передатчика, мс	< 10 (отклонение не более 1 мс)			
Выходная мощность, Вт	10–40		10–35	
Модем				
Коррекция ошибки	Гиперкод			
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала			
Достоверность	10 <sup>-9</sup> (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			
Протокол обмена данными	TCP/IP			

10 вагонов метро. "Витязь" – принципиально новая система, интегрирующая в единую многопроцессорную сеть все локальные системы управления оборудования поездом метрополитена. Она работает в режиме реального времени и по принципу "многих единиц" обеспечивает управление всем вагонным оборудованием, безопасность движения, полную диагностику вагонного оборудования и выдачу рекомендаций машинисту по управлению поездом. Ее основные функции:

- автоматизированное управление оборудованием поезда метрополитена;
- автоматическое регулирование скорости, обеспечивающее безопасность движения на линии;
- диагностика и контроль устройств поезда и отдельных вагонов с отображением результатов и рекомендаций на цветном мониторе;
- противоюзовая защита колесных пар;

- автоматическая диагностика вагонного оборудования перед выездом на линию;
- резервирование основных функций управления составом для надежного соблюдения графика движения на линии;
- регистрация параметров движения поезда в защищенном накопителе (функции "черного ящика").

Благодаря открытой архитектуре система "Витязь" позволяет оперативно модернизировать вагоны и улучшать их эксплуатационные характеристики. Сегодня на базе системы "Витязь" разработана система определения местоположения поезда на линии методом радиочастотной идентификации, проведены испытания режима прицельной остановки состава на станции в автоматическом режиме. Подготовлена концепция создания комплексной системы управления движением поездов. Она реализует такие

**Таблица 4. Технические характеристики радиомодемов Dataradio Viper-SC для конвенциональных стационарных и подвижных технологических радиосетей обмена данными**

Диапазон частот, МГц		136–174	215–240	406–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц		6,25; 12,5; 25; 50 (настраивается программно)			12,5; 25; 50 (настраивается программно)
Потребляемый ток:					
– прием		480 мА (10 В); 250 мА (20 В); 180 мА (30 В)			
– передача 40 дБм (10 Вт)		4,6 А (10 В); 2,04 А (20 В); 1,37 А (30 В)			
– передача 30 дБм (1 Вт)		1,23 А (10 В); 630 мА (20 В); 440 мА (30 В)			
Номинальная задержка при холодном старте, с		20			
Рабочее напряжение, В		10–30, постоянный ток			
Рабочая температура, °С		от -30 до 60			
Допустимая 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 10 <sup>-6</sup> ), дБм	– 50 кГц	-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	-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)
	– 6,25 кГц	-115 (4 кбит/с), -106 (8 кбит/с), -100 (12 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)
Передатчик					
Полоса пропускания без подстройки, МГц		38	25	64 или 62	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт		1–10			1–8
Рабочий цикл, %		100			
Стабильность частоты, ppm		1,0			
Модем					
Скорость, кбит/с		4, 8, 16, 32, 64 или 128			
Интерфейс		Последовательный RS-232, Ethernet 10Base-T			
Индикация		Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача			

функции, как постоянный контроль фактической скорости поезда и ее автоматическое снижение при превышении допустимых значений на основе информации, передаваемой по радиосети. Кроме того, обеспечивается автоматическое управление движением поезда с соблюдением графика движения – роль машиниста при этом либо полностью отсутствует, либо ограничивается управлением дверями и отправлением поезда от станции.

С апреля 2009 по декабрь 2010 года в метрополитене были успешно проведены предварительные и демонстрационные испытания оборудования кон-

венциональной радиосети на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3. Цель испытаний – определить возможности его применения в составе комплексной системы управления метрополитена и обеспечения надежной работы системы "Витязь" в звене "поезд – диспетчер станции".

Испытания выполнялись в три этапа. На первом в депо производились измерения рабочих параметров устройств конвенциональной радиосети на совместимость с действующими техническими средствами метрополитена, отрабатывались варианты размещения радиооборудования в головном вагоне поезда, оно

**Таблица 5. Сравнительные характеристики оборудования для создания радиосетей GSM-R, TETRA и конвенциональных радиосетей**

Характеристики	GSM-R [1]	TETRA	ParagonG3/GeminiG3	Viper-SC
Диапазон рабочих частот, МГц	876–880/921–925	380–400; 410–430; 450–470 806–825; 851–870; 871–876; 915–921	403–512; 700; 800	136–174; 215–240; 406–470; 470–512; 928–960
Количество доступных рабочих частот/каналов	19/152	До 1200/4800 в каждом поддиапазоне	4360; 440; 720	1520; 1000; 2560; 1280
Шаг сетки радиочастот, кГц	200	25; 12,5	50; 25; 12,5; 6,25	50; 25; 12,5; 6,25
Выходная мощность базового оборудования, Вт	20–320	25	20–100; 35–70; 20-70	До 10
Дуплексный разнос частот, МГц	45	45	В УКВ-диапазоне – любой; 30 (700 МГц); 45 (800 МГц)	>5
Выходная мощность мобильного терминала, Вт	До 10	До 10	10–40; 10–35; 10–35	До 10
Выходная мощность носимого терминала, Вт	До 2	До 3	–	–
Номинальная дальность радиосвязи, км	8–10	12–15	25–30	25–30
Минимально допустимый уровень сигнала, дБм	-95	-115	-96 (128 кбит/с), (64 кбит/с), -110 (32 кбит/с)	-116
Время установления соединения, мс	3000–7000	>300	25	25
Время аварийного вызова, мс	2000	>300	25	25
Функциональные возможности	Динамическая адресация, индивидуальный вызов по номеру поезда, аварийный и приоритетный вызовы, связь в пределах поезда, аварийная остановка поезда, группирование абонентов	Индивидуальный и групповой вызовы	Динамическая адресация, использование индивидуальных, групповых и циркулярных адресов, вызов по номеру поезда или машиниста, гарантированное доведение информации, трансляция навигационных данных, точная остановка поезда	Динамическая адресация, использование индивидуальных, групповых и циркулярных адресов

стыковалось с поездной системой управления. Благодаря наличию у оборудования современных интерфейсов, его без дополнительной доработки удалось сопрячь с комплектами аппаратуры системы "Витязь".

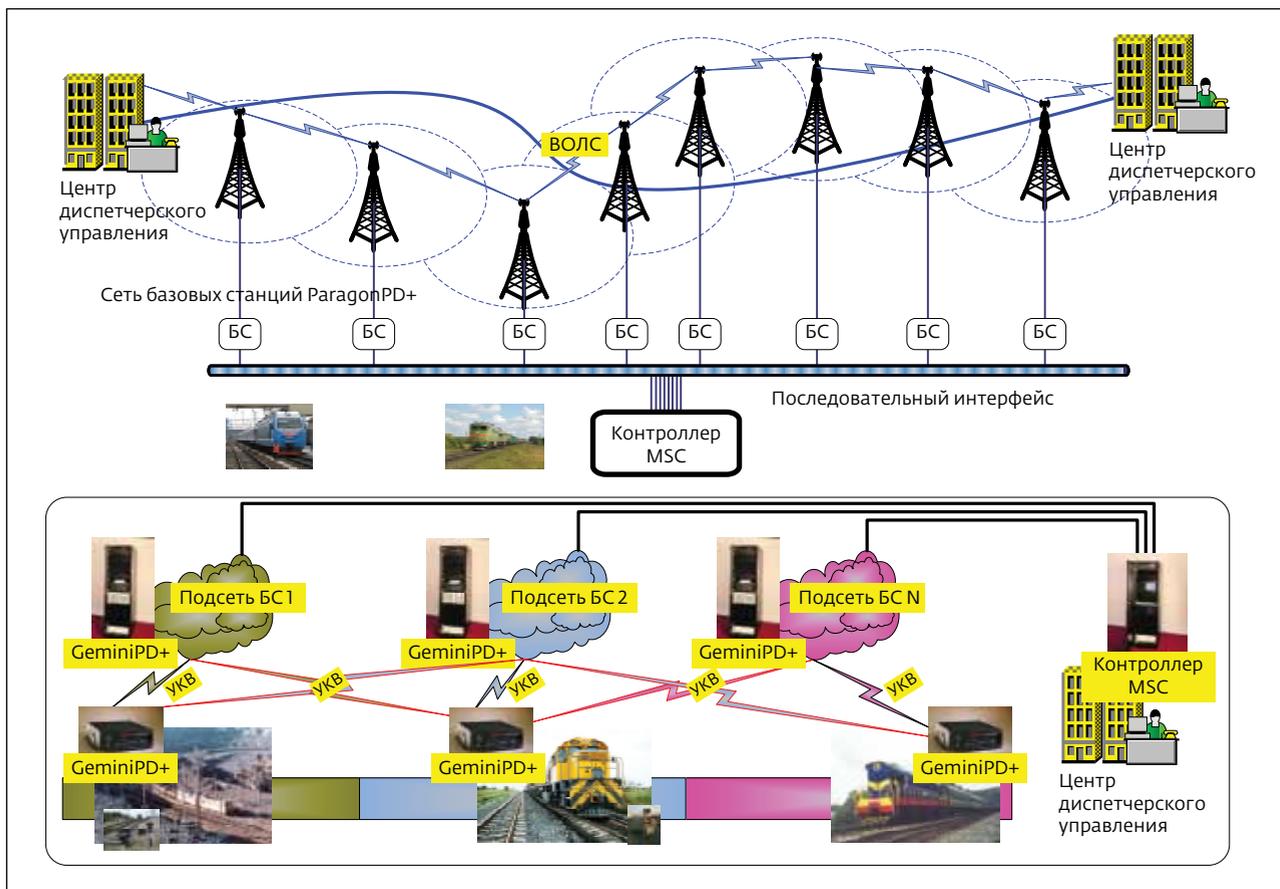
На втором этапе в тоннеле метрополитена в автономном режиме (без подключения к поездной системе управления) испытывалась передача информации средствами конвенциональной радиосети. Базовая станция устанавливалась на станции метрополитена, стационарные приемопередающие антенны – в портале тоннеля. Абонентский радиомодем размещался на дрезине и перемещался по тоннелю в направлении от БС. При этом измерялась дальность действия радиосвязи и уровни сигналов в зависимости от мощности передатчика, скорости обмена данными и типа приемопередающих антенн. Результаты показали возможность надежного обмена с одной базовой станцией по двум тоннелям метро на удаление до 1200 м без щелевого кабеля.

На третьем этапе абонентский радиомодем был подключен к системе управления поездом. Передавалась информация о фактических параметрах дви-

жения от поездной системы управления на базовую станцию радиосети при контрольных обкатках поезда. Передача данных контролировалась как на борту поезда, так и на станции метрополитена. Конвенциональная радиосеть обеспечила трансляцию телеметрической информации с борта поезда с заданной периодичностью (изменялась от двух до пяти сообщений в секунду в зависимости от удаления поезда от станции) и задержками. Наилучшие результаты были получены при использовании протокола UDP. Оценка пропускной способности радиосети показала, что каждая БС обслуживает не менее 12 поездов метро в двух параллельных тоннелях при заданной интенсивности трансляции сообщений с борта каждого из них.

Как показали испытания, оборудование конвенциональной радиосети не влияет на действующие технические средства метрополитена и обеспечивает гарантированный обмен информацией между поездной системой управления и стационарным оборудованием.

Работа железнодорожного транспорта связана с повышенной опасностью и ответственностью. В связи



**Рис.2. Схема конвенциональной технологической радиосети обмена данными повышенной надежности и живучести для АСУ на железнодорожном транспорте на базе радиомодемов Dataradio Paragon<sup>PD+</sup>/Gemini<sup>PD+</sup>**

с этим все системы управления движением и сбора данных об оперативном и техническом состоянии подвижного состава и напольной автоматики на контролируемой железнодорожной сети имеют полное (двойное или тройное) дублирование. Это требование полностью выполняется при создании конвенциональной технологической сети, обеспечивающей функционирование автоматизированной системы диспетчерского управления. Схема сети (рис.2) разработана и реально применяется в системе диспетчерского управления на одном из предприятий промышленного железнодорожного транспорта для управления железнодорожными составами увеличенной длины. Радиосеть работает на скорости 32 кбит/с. Система управления решает задачи мониторинга подвижных объектов и контроля работы напольной автоматики, включая выявление перегрева колесной пары, контроль состояния и управление стрелочными переводами, контроль местоположения локомотива по данным спутниковой навигации для интервального регулирования; автоматическое обнаружение схода вагона и дефектов колесной пары.

Оперативную зону радиосети формирует группа дуплексных БС, работающих на различных радиочастотах (использование радиочастот чередуется). Каждая БС подключена к центру диспетчерского управления по выделенному радиорелейному или проводному магистральному каналу связи. Каждый

магистральный канал связи дублируется. Оперативные зоны соседних БС перекрываются на 100%, что позволяет любому из устройств напольной автоматики или локомотива подключаться к одной из двух базовых станций. В случае нарушения работы одной из БС радиомодемы автоматически переключаются на работу со второй БС. Функция автоматического перехода на резервный канал связи – стандартная для радиомодемов Gemini<sup>PD+</sup>.

Устройства напольной автоматики передают по радиосети сигналы тревог диспетчеру, автоматически ретранслируя их машинисту по каналам этой же (основной) радиосети. Кроме того, каждое устройство имеет собственный резервный канал связи с машинистом, который используется для передачи сигналов тревог в виде голосового сообщения.

Автоматическое управление радиосетью выполняет многобазовый контроллер в отказоустойчивом исполнении с полным дублированием. В его состав входят два блока, каждый из которых способен управлять 15 базовыми станциями (рис.3).

Таким образом, в системе управления предусмотрена не только возможность перехода на резервный комплект оборудования в случае аварии, но и подключение на резервный порт ввода-вывода данных на основном комплекте оборудования многобазового контроллера в случае выхода из строя одного из портов. Работа основной радиосети, обеспечивающей двойное

