

# Технологические радиосети обмена данными

## на железнодорожном транспорте

**Сергей Маргарян  
Ваган Саруханов  
Андрей Щелухин**

**В** статье затронуты вопросы применения конвенциональных радиомодемов УКВ-диапазона для построения подвижных технологических радиосетей обмена данными, обеспечивающих функционирование автоматизированных систем управления (АСУ) различного назначения на железнодорожном транспорте. Указанные радиосети рассматриваются как составная и неотъемлемая часть единой взаимоувязанной технологической системы связи ОАО «РЖД», уже использующей средства связи стандартов GSM-R (GSM-Railway — стандарт GSM для железной дороги) и TETRA (Terrestrial Trunked Radio). Оперативно-технические характеристики рассматриваемых радиосетей позволяют существенно расширить возможности в части передачи информации о разрешенных параметрах движения поезда на локомотив, обеспечить надежность функционирования систем интервального регулирования с использованием радиоканала и средств спутниковой навигации, развернуть резервные каналы сбора данных и управления средствами железнодорожной автоматики и электроснабжения.

### Общие сведения

В настоящее время широкое распространение в системах связи, обеспечивающих работу железнодорожного транспорта, получили перспективные средства связи стандартов GSM-R и TETRA. Оба эти стандарта имеют свои неоспоримые преимущества и недостатки. Это является одной из причин того, что, например, на территории Европы в настоящее время в интересах обеспечения железнодорожных перевозок продолжают эксплуатироваться более 30 других систем связи, а процесс интеграции предусматривает поддержку действующих национальных систем.

С целью 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: GSM-R и TETRA. По результатам проведенных испытаний российские технические эксперты

пришли к выводу о том, что обе системы имеют право на жизнь и у каждой есть свои преимущества и недостатки, 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, касающихся 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 должен определяться с учетом ряда требований. Основные из них — электромагнитная совместимость (ЭМС) радиосвязи различных систем управления, высокий уровень надежности каналов передачи данных, а также требования систем управления по объемам 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 малодеятельных участках, резервирующий 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» применяются и планируются к дальнейшему использованию средства связи и обмена данными, функционирующие практически во всем доступном диапазоне радиоволн, а наиболее актуальными являются 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 обеспечения эффективного обмена данными. Системы связи GSM-R и TETRA изначально создавались как многоканальные «голосовые», предусматривающие обмен речевыми сообщениями между значительным количеством абонентов в географических зонах с высокой плотностью населения. Для решения этой задачи они на сегодня подходят больше всего.

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.

Принципы работы, направленные на оптимизацию голосовой связи в транковой системе, во многом являются серьезным ограничением при обмене данными. Например, в ней отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период установления связи<sup>1</sup>. С этой целью в такой системе используются служебный и группа информационных каналов. Запрос на доступ к информационному каналу, по которому производится речевой обмен, принимается по служебному каналу связи. При получении запроса от абонента система автоматически находит свободный информационный канал и предоставляет доступ к нему. Если один канал в системе уже занят, а другая группа абонентов пытается установить связь, то система автоматически предоставит второй канал в их распоряжение. 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 результате при прочих равных пропускная способность у транковой системы при обмене голосовыми сообщениями оказывается в разы выше, чем у обычной (конвенциональной) системы «голосовой» связи.

В настройках транковых систем предусмотрена дополнительная задержка после завершения передачи очередного «голосового» сообщения, длительность которой может составлять до нескольких секунд. Это позволяет удерживать активных абонентов на одном канале и сни-

зить нагрузку на служебный канал, связанную с переводом абонентов между информационными каналами.

Такие прекрасные технические решения для голосовой связи оказываются абсолютно неэффективными при обмене данными. «Голосовые» сообщения имеют существенно большую длину (продолжительность при передаче) по сравнению с данными. Если возникающие при выделении абоненту информационного канала задержки являются практически незаметными при переговорах, то для системы обмена данными<sup>2</sup> они оказываются неприемлемыми. 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 до нескольких десятков коротких сообщений.

Серьезным ограничением является и пропускная способность служебного канала. В случае с «голосовыми» сообщениями интенсивность поступления запросов в служебный канал относительно невысока — активность работы абонентов учитывается при проектировании радиосети и реально поддерживается на низком уровне в повседневной обстановке. Возрастание интенсивности работы в аварийных ситуациях может компенсироваться за счет предоставления более высоких приоритетов отдельным группам абонентов за счет других. В случае с передачей данных интенсивность поступления 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 оказывается также 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 в случае использования транковой системы для обмена данными оказывается критическим ограничением.

Существенный недостаток сетей GSM-R (как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS<sup>3</sup> и EDGE<sup>4</sup>) — недетерминированная задержка в доставке данных. Работа значительной части АСУ настраивается с учетом времени, необходимого на передачу запросов и получение ответов на эти запросы. Чем меньше допустимые предельные значения параметров доставки сообщений, тем эффективнее работа АСУ. В случае использования для обмена данными радиосетей GSM-R параметры предельно допустимых задержек при доставке сообщений 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 все удобства работы в информационной сети Интернет и одновременного общения по телефону в том же канале. Однако в технологических радиосетях такое решение оказывается принципиально неприемлемым: работа АСУ требует строго детерминированного потока данных и задержек, а обеспечить выполнение этого требования при наличии «голосового» потока невозможно: любой абонент будет говорить столько, сколько посчитает нужным, и тогда, когда ему это потребуется. Практический опыт показывает, что относительно высокая надежность такой радиосети может быть достигнута, если для передачи данных требуется не более 15% пропускной способности всей сети, и только при отсутствии резких «всплесков» в объеме «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 обеих этих систем связи по обмену данными могут быть кардинально улучшены за счет интеграции в их состав специализированного конвенционального оборудования.

### Возможности конвенциональных радиосетей по обмену данными

Перечисленные выше ограничения полностью отсутствуют в конвенциональных технологических радиосетях. Доступ к радиоканалу в таких радиосетях осуществляется напрямую, без использования промежуточного служебного канала, поэтому описанные выше задержки полностью отсутствуют. Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях представлены в таблице 1.

Для повышения объективности представленных в таблице 1 данных необходимо отметить, что замеры параметров работы радиосети GSM производились на конкретном сегменте сотовой сети связи конкретного оператора и в конкретный период времени. Эти данные могут отличаться в зависимости от текущей нагрузки на сеть сотовой связи. Стабильность параметров функционирования такой радиосети в части пропускной способности может быть обеспечена только за счет выделения для обмена данными отдельных канальных и частотных ресурсов.

<sup>1</sup> Порядок организации доступа к каналу в цифровых транковых системах связи и использования нескольких временных «слотов» (квантов) для обмена сообщениями между несколькими пользователями подробно описан в специальной литературе. В настоящей статье представлен упрощенный вариант, описывающий общий принцип работы, создающий ограничения для обмена данными.

<sup>2</sup> Здесь и далее имеются в виду системы обмена данными, применяемые в ответственных приложениях, характерных для АСУ на ж/д транспорте. Все оценки даются применительно к характеру циркулирующих в технологической радиосети сообщений — коротких сообщений, передаваемых с высокой плотностью и требующих минимальных и полностью детерминированных задержек при доставке.

<sup>3</sup> GPRS (General Packet Radio Service — «пакетная радиосвязь общего пользования») — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетный обмен данными.

<sup>4</sup> EDGE (EGPRS) (Enhanced Data rates for GSM Evolution) — цифровая технология для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над GPRS-сетями.

**Таблица 1.** Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях

Наименование параметра	Радиосеть GSM-R <sup>1</sup>			Радиосеть TETRA	Конвенциональная радиосеть <sup>2</sup>
	CSD <sup>3</sup>	GPRS real COM	GPRS «клиент-сервер»		
Средняя задержка в канале <sup>4</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 <sup>5</sup>	171,2	28,8 <sup>6</sup>	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	23,46/114,27

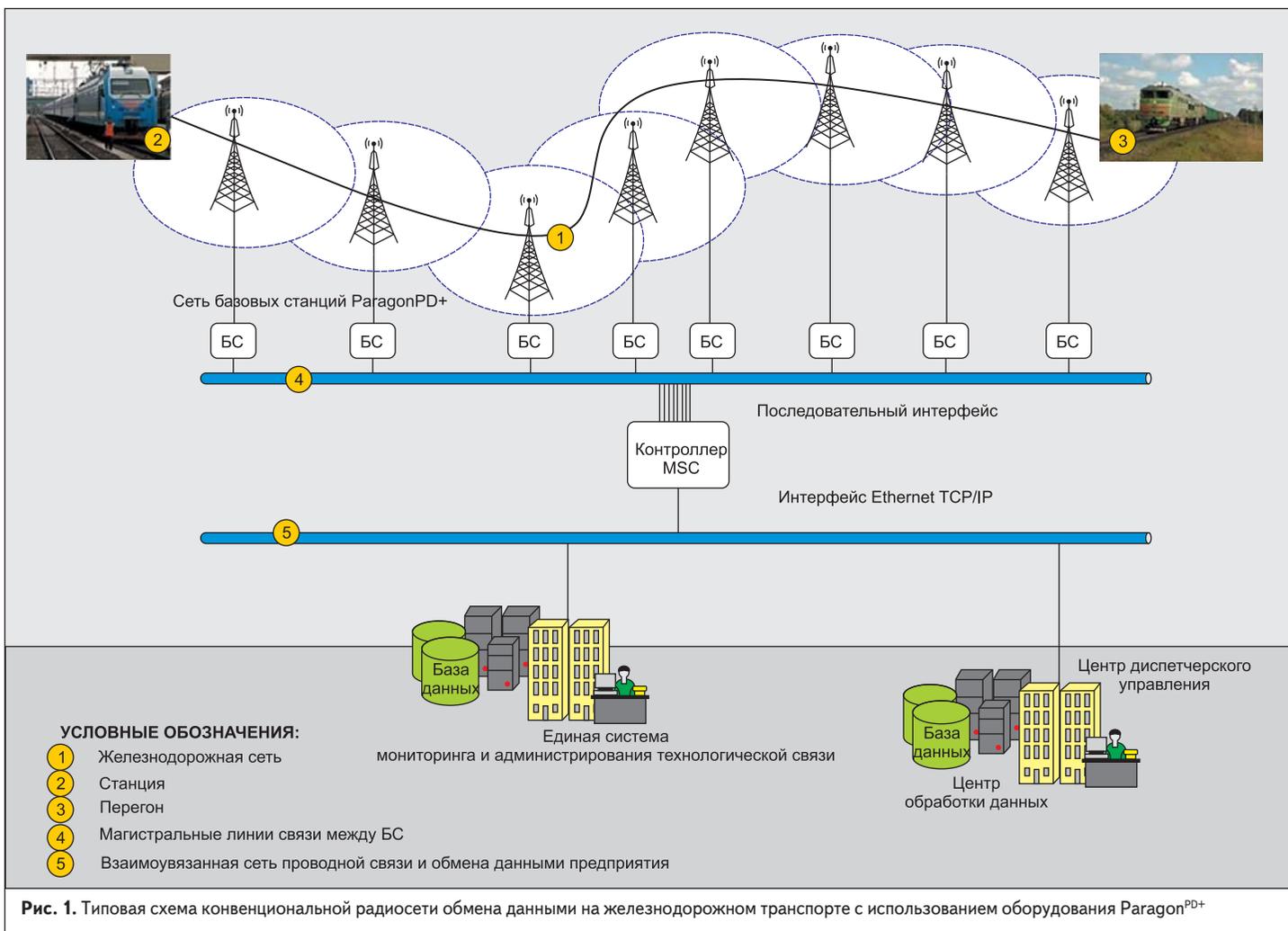
**Примечания:**

- <sup>1</sup> — данные приведены для реального сегмента сети сотовой связи стандарта GSM (GSM/GPRS технологии в системах промышленной автоматизации // *Control Engineering*, декабрь 2008 г.).
- <sup>2</sup> — здесь и далее рассматриваются подвижные конвенциональные радиосети на радиомодемах Dataradio ParagonG3/ GeminiG3 ([www.calamp.com](http://www.calamp.com)).
- <sup>3</sup> — 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>4</sup> — время от передачи запроса до получения доступа к каналу связи и готовности к передаче сообщения.
- <sup>5</sup> — максимальная теоретическая скорость обмена данными при использовании всех восьми тайм-слотов в полосе 200 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).
- <sup>6</sup> — максимальная скорость обмена данными при использовании всех четырех «тайм-слотов» в полосе 25 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).

Анализ представленных в таблице 1 данных показывает следующее:

- 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 работе с использованием GPRS составляет около 94 и 280% для GPRS real COM и GPRS «клиент-сервер» соответственно. Низкая стабильность данных показателей связана с одновременным использованием радиосети для обмена речевыми сообщениями, поток которых не может быть детерминирован.

- Поскольку использование технологической радиосети связи стандарта TETRA предусматривается для подвижного 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 неэффективной с точки зрения обмена «голосовыми» сообщениями, что является основной задачей такой радиосети.
- В конвенциональной технологической радиосети обмена данными предусматривается только высокая помехозащищенность. Пропускная способность такой радиосети будет в значительной степени зависеть от применяемого встроенного метода сжатия данных, однако для одинаковых потоков данных и выбранных методов сжатия параметры стабильности пропускной способности будут неизменными на протяжении всей эксплуатации.
- Даже при условии использования всех радиочастотных ресурсов («тайм-слотов») пропускная способность радиосетей GSM-R и TETRA в части обмена данными оказывается ниже по сравнению со специализированными конвенциональными радиосетями. Это отставание является системным и сохранится в перспективе.



**Рис. 1.** Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования Paragon<sup>PD+</sup>

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на ж/д 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 поездов на работу с соседней станцией («хэндовер») осуществляется автоматически. 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. Типовые схемы конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте представлены на рис. 1 и 2.

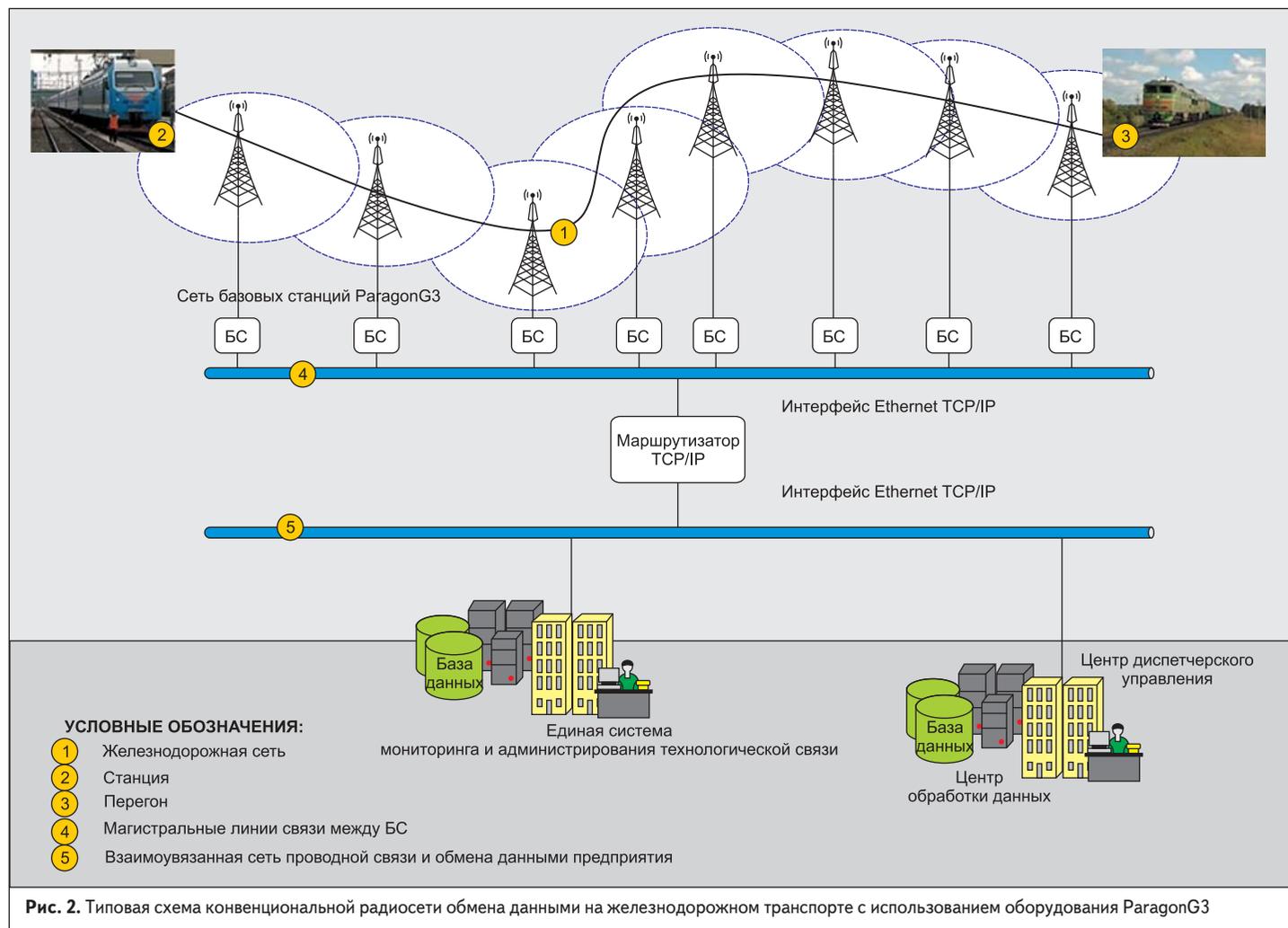
Принципиальным различием двух рассматриваемых схем является использование в первой из них последовательных интерфейсов, по которым каждая базовая станция Paragon<sup>PD+</sup> подключается к многобазовому контроллеру

MSC (Multi-site controller), выполняющему функции централизованного технического управления и сопряжения с взаимосвязанной сетью проводной связи и обмена данными ОАО

«РЖД». Во втором случае применяется единый для всей конвенциональной технологической радиосети обмена данными интерфейс Ethernet и используется стандартное сетевое оборудо-

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

Общие характеристики		ParagonG3		
Диапазон рабочих частот, МГц		403-512		Передача: 762-773 Прием: 792-803
Шаг сетки радиочастот, кГц		25 или 50		
Габаритные размеры (Ш×В×Г), см		192,6×56,0×81,3		
Потребление тока в режиме передачи, В		20 А/13,8 (ном.)	24 А/13,8 (ном.)	28 А/13,8 (ном.)
Рабочая температура, °С		-30...+60		
Температура хранения, °С		-40...+70		
Режим работы		Дуплекс, 100% цикл		
Избирательность, дБ		75 (50 кГц), 85 (25 кГц)		
Программная синхронизация		Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность		1×10 <sup>-9</sup> (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Защита данных		128-битный ключ		
<b>Приемник</b>				
Избирательность	50 кГц		75	
	25 кГц	87		85
Интермодуляция	50 кГц		80	
	25 кГц	85		80
Побочное излучение, дБм		-90-4 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)
<b>Передатчик</b>				
Выходная мощность, Вт		20-100	35-70	20-70



**Рис. 2.** Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования ParagonG3

вание. Однако обе рассматриваемые схемы в полной мере удовлетворяют требованиям, установленным в «Белой Книге»<sup>5</sup> ОАО «РЖД» и направленным на создание единого информационного пространства, интегрированного с информационными системами других видов транспорта и промышленности, а также иностранных железных дорог.

Следует помнить, что надежность любой системы определяется, в том числе, количеством входящих в ее состав компонентов и отдельных узлов: чем меньше их количество, тем проще, при прочих равных, обеспечить необходимый уровень надежности и живучести системы в целом. Это в полной мере относится к количеству базовых станций в составе технологической

радиосети обмена данными: чем их меньше, тем проще система управления и обеспечения их работоспособности.

В настоящее время серийно выпускается оборудование для создания конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными в диапазонах 132–174, 215–240, 403–512, 700, 800 и 900 МГц. Типовые технические характеристики радиомодемов для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными представлены в таблицах 2–4.

В отличие от радиосетей GSM-R и TETRA, предусматривающих использование в их составе не только мобильных, но и носимых связных терминалов с невысокой выходной мощно-

стью (обычно 0,9–3 Вт), в конвенциональных технологических радиосетях применяются терминалы с выходной мощностью 20–45 Вт. Это обеспечивает существенно большую, по сравнению с радиосетями GSM-R и TETRA, зону покрытия с позиции одной БС, поскольку размер оперативной зоны БС на практике будет определяться максимально возможной дальностью связи для самого маломощного оборудования, работающего в составе радиосети.

Все выпускаемое оборудование имеет встроенные средства диагностики, обеспечивающие удаленный доступ к текущим данным о техническом состоянии, и использует открытые интерфейсы, включая широко применяемый протокол обмена данными TCP/IP, что по-

**Таблица 3.** Технические характеристики бортовых радиомодемов Dataradio GeminiG3 для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными

Общие характеристики	GeminiG3		
	Диапазон рабочих частот, МГц	403–460, 450–512	
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 (Ш×В×Г), см	15,4×5,1×18,2		
Количество каналов	32 (программируемые, удаленная настройка)		
Режим работы	полудуплекс		
Питающее напряжение, В	13,6 (ном.); 10,9–16,3		
Рабочая температура, °С	–30...+60		
Защита данных	AES 128-бит		
Защита по питанию	15 А (внешний предохранитель), защита от переплюсовки		
<b>Потребляемый ток:</b>			
передача при 13,3 В, А	<12 А		
прием при 13,3 В, мА	<750 (включая навигационный приемник)		
<b>Приемник</b>			
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.
<b>Передатчик</b>			
Время атаки передатчика	<10 мс (отклонение не более 1 мс)		
Выходная мощность, Вт	10–40	10–35	
<b>Модем</b>			
Коррекция ошибки	Гиперкод		
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность	1×10 <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.		
Защита данных	128-битный ключ		
Протокол обмена данными	TCP/IP		

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

Общие характеристики	Dataradio Viper-SC			
	Диапазон частот, МГц	136–174	215–240	406–512
Шаг сетки частот, кГц	6,25; 12,5; 25; 50 (настраивается программно)			12,5; 25; 50 (настраивается программно)
	прием	480 мА (10 В); 250 мА (20 В); 180 мА (30 В)		
Потребляемый ток	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	–30...+60			
Допустимая влажность, %	5–95, без образования конденсата			
Габаритные размеры (Ш×Г×В), см	13,97×10,80×5,40			
Масса (в упаковке), кг	1,1			
Рабочий режим	симплекс или полудуплекс			
<b>Приемник</b>				
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10 <sup>-6</sup> ), дБм	50 кГц	–111 (32 кбит/с) –101 (64 кбит/с) –94 (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)	
	12,5 кГц		–116 (8 кбит/с) –109 (16 кбит/с) –102 (24 кбит/с) –95 (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)	
Интермодуляция, дБ	>75			
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)			
<b>Передатчик</b>				
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			
<b>Модем</b>				
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			

<sup>5</sup> Официальный документ, в котором представлены стратегические направления научно-технического развития ОАО «РЖД».

звоняет 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.

Некоторые сравнительные характеристики базового оборудования для создания радиосетей GSM-R, TETRA и конвенциональных радиосетей представлены в таблице 5.

Анализ представленных в таблице 5 данных показывает, что оборудование для создания конвенциональных радиосетей может быть эффективно применено в качестве дополнительного для обеспечения обмена данными во всех диапазонах радиоволн УКВ-диапазона, предусмотренных к использованию в ОАО «РЖД».

С точки зрения теории распространения радиоволн и учитывая протяженность российской сети железных дорог для организации регулярной радиосвязи и системы интервального регулирования движения поездов на всех участках, включая скоростные и высокоскоростные, наиболее целесообразно использовать средства обмена данными, работающие в более низких по сравнению с GSM-R диапазонах волн, например 450 МГц. Понятно, что в этом случае число базовых станций, необходимых для покрытия заданной оперативной зоны, будет существенно меньше по сравнению с количеством БС, работающих в диапазоне 900/1800 МГц.

Следует учитывать, что при построении конвенциональных технологических радиосетей обмена данными на рассматриваемом оборудовании в качестве магистральных каналов связи для удаленного подключения БС допускается применение любых каналов связи соответствующей пропускной способности, в то время как в радиосетях GSM-R и TETRA в качестве основных предусмотрено использование дорогостоящих каналов связи E1. В связи с этим развертывание

инфраструктуры конвенциональных радиосетей оказывается намного дешевле.

Увеличение скорости обмена данными и пропускной способности конвенциональной радиосети достигается не только за счет наращивания комплектов оборудования для обслуживания дополнительных каналов связи (как и в радиосетях GSM-R и TETRA), но и использованием оборудования с более широкой полосой пропускания. В настоящее время серийно выпускается комплект оборудования для работы в канале шириной 50 кГц (два соседних канала по 25 кГц) со скоростью обмена данными 128 кбит/с. Эффективность этого оборудования, производимого уже более четырех лет, 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 обеспечивать выработку и передачу команд для диспетчерского пункта и позади идущего поезда о своей фактической скорости и координатах собственных «головы» и «хвоста», а также об исправности поездных устройств.

Позади идущий поезд должен гарантированно получать от впереди идущего информацию для автоматического регулирования скорости с периодом следования, который определяется поездной ситуацией на линии и действующими нормативными документами.

По принципу действия система передачи информации между поездами и диспетчерскими

пунктами по радиоканалу должна быть непрерывной: отсутствие информации о параметрах впереди идущего поезда в течение заданного промежутка времени должно приводить к торможению поезда до полной остановки.

В настоящее время на поездах метро применяется Автоматизированная система управления, технической диагностики и безопасности движения нового поколения «Витязь» [2], которая обеспечивает автоматизированное управление одним лицом составом до 10 вагонов метро, повышая надежность и безопасность движения в метрополитене.

Система «Витязь» — принципиально новая, интегрирующая в единую многопроцессорную сеть все локальные системы управления оборудованием поезда метрополитена. Ее основными функциями являются:

- 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;
- противоюзловая защита колесных пар;
- автоматическая диагностика вагонного оборудования перед выездом на линию;
- резервирование основных функций управления составом для обеспечения надежности соблюдения графика движения на линии;
- регистрация параметров движения поезда в защищенном накопителе (функции «черного ящика»).

Система «Витязь» 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 по-

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

Наименование параметра	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	1520/1000/2560/1680/1280
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	любой; 30; 55	>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) –98 (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 вызов	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

ездом. Построение системы «Витязь» на основе открытой архитектуры дает возможность оперативной модернизации вагонов и улучшения их эксплуатационных характеристик.

В настоящее время 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, реализующая следующие основные функции:

- обеспечение безопасности движения поезда путем постоянного контроля фактической скорости и ее автоматического снижения при превышении допустимых значений на основе информации, передаваемой по радиосети;
- управление движением поезда в автоматическом режиме с выполнением графика движения (роль машиниста при этом либо полностью отсутствует, либо ограничивается управлением дверями и отправлением поезда от станции).

Уже были успешно проведены предварительные и демонстрационные испытания оборудования конвенциональной радиосети обмена данными на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 с целью определения

возможности его использования в составе комплексной системы управления метрополитеном и обеспечения надежного функционирования системы «Витязь» в звене «поезд–диспетчер станции». Испытания выполнялись в три этапа.

На первом этапе в депо производились измерения рабочих параметров устройств конвенциональной радиосети на совместимость с действующими техническими средствами метрополитена, отрабатывались варианты размещения радиооборудования в головном вагоне поезда, осуществлялась его стыковка с поездной системой управления. Наличие у оборудования обмена данными развитых современных интерфейсов обеспечило его сопряжение с комплектами аппаратуры системы «Витязь» без его дополнительной доработки.

На втором этапе осуществлялась передача информации средствами конвенциональной радиосети в тоннеле метрополитена в автономном режиме (без подключения к поездной системе управления). Базовая станция устанавливалась на станции метрополитена, стационарные приемопередающие антенны — в портале тоннеля. Абонентский радиомодем размещался на дрезине и перемещался по тоннелю в направлении от базовой станции. При этом выполнялись измерения дальности действия

радиосвязи и уровней сигналов в зависимости от мощности передатчика, скорости обмена данными и типа приемопередающих антенн. Результаты показали возможность обеспечения надежного обмена данными с одной базовой станцией по двум тоннелям метро на удаление до 1200 м без использования щелевого кабеля.

На третьем этапе абонентский радиомодем располагался на поезде и был подключен к поездной системе управления. Выполнялась передача информации о фактических параметрах движения поезда от поездной системы управления на базовую станцию радиосети при контрольных обкатках поезда. Передача данных при испытаниях контролировалась как на борту поезда, так и на станции метрополитена. Конвенциональная радиосеть обеспечила трансляцию телеметрической информации с борта поезда метро 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 базовая станция обеспечивает обслуживание не менее 12 поездов метро в двух параллельных тоннелях при заданной интенсивности трансляции сообщений с борта каждого из них.

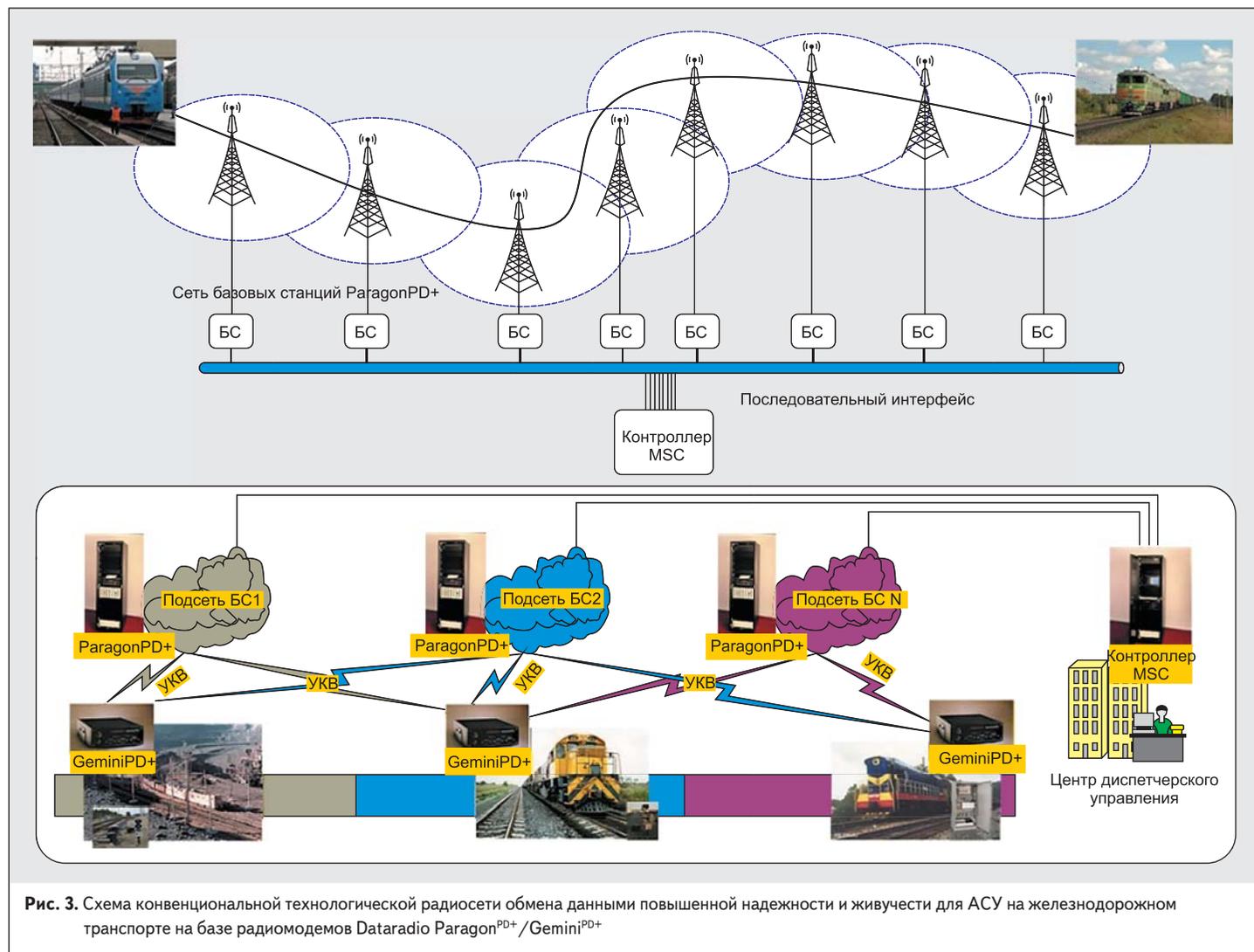


Рис. 3. Схема конвенциональной технологической радиосети обмена данными повышенной надежности и живучести для АСУ на железнодорожном транспорте на базе радиомодемов Dataradio ParagonPD+/GeminiPD+

