

ПОДВИЖНЫЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

1. Ограничения систем связи стандартов GSM-R и TETRA по обмену 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, и для решения этой задачи они являются лучшим на сегодняшний день решением.

Однако обмен данными предъявляет несколько иные требования к средствам связи, более того, эффективность адаптированной для передачи данных системы «голосовой» связи серьезно зависит от характера и 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 отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период установления связи¹. 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 снизить 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 данными² 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 от нескольких 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.

Существенным недостатком сетей GSM-R (как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS³ и EDGE⁴) является 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 всю прелесть 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 надёжность 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.

2. 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.

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

Наименование параметра	Радиосеть GSM-R ⁵			Радиосеть TETRA	Конвенциональная радиосеть ⁶
	CSD ⁷	GPRS real COM	GPRS «клиент-сервер»		
Средняя задержка в канале ⁸ , 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 ⁹	171,2	28,8 ¹⁰	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 ¹¹	23,46/114,27 ¹²

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. Обеспечение стабильности параметров функционирования такой радиосети в части пропускной способности может быть обеспечена только за счет выделения для обмена данными отдельных канальных и частотных ресурсов.

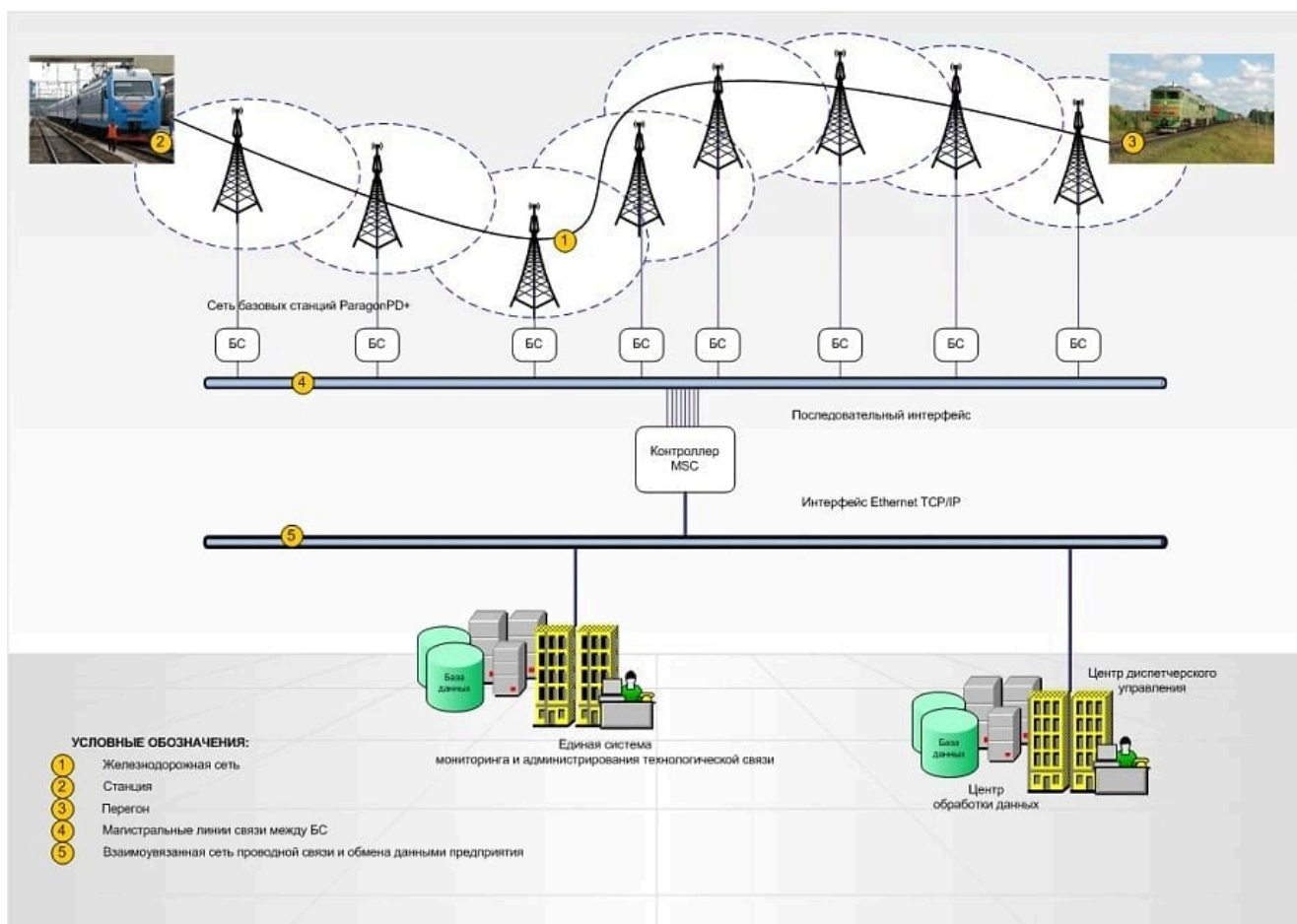
Анализ представленных в Таблице 1 данных показывает следующее:

1. При работе в режиме CSD обеспечивается наиболее стабильный обмен данными, однако даже в этом случае разница между минимальным и максимальным значением пропускной способности составляет около 12%, а собственно скорость обмена данными относительно мала.
2. 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.

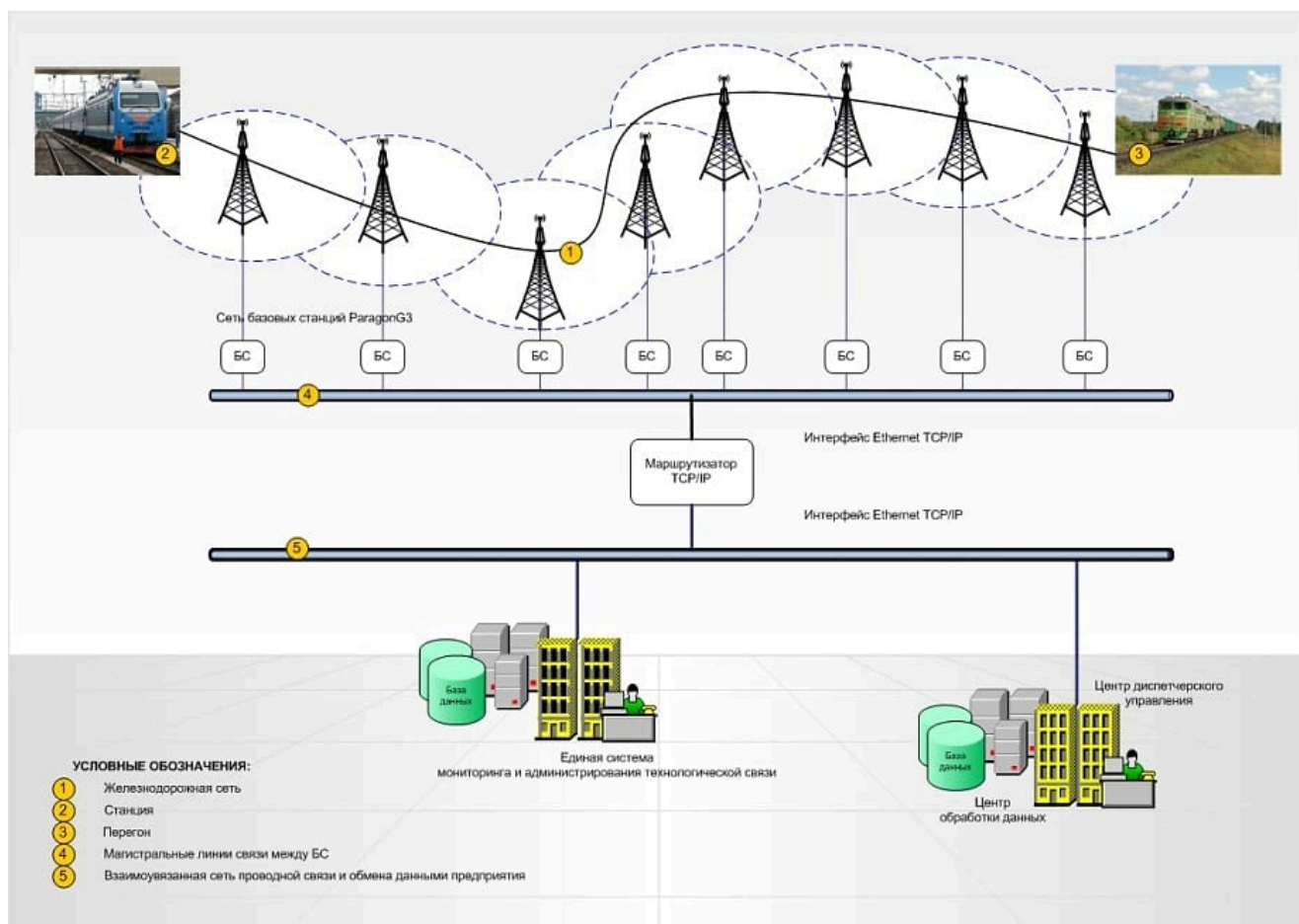
3. Поскольку использование технологической радиосети связи стандарта TETRA предусматривается для подвижного приложения, в ней должны быть реализованы функции помехозащищенности. Номинальная скорость обмена данными в такой радиосети при обеспечении высокой помехозащищенности может составлять от 2,4 (один «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.
4. 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.
5. 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.

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 надёжностью 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.



1. Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования Paragon^{PD+}.



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

Принципиальным различием двух рассматриваемых схем является использование в первой из них последовательных интерфейсов, по которым каждая базовая станция Paragon^{PD+} 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 оборудование. Однако обе рассматриваемые 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.

Следует помнить, что надёжность 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 надёжности 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 и 3.

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	Передача: 851-869
		Приём: 792-803	Приём: 806-824
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Габаритные размеры, см	192,6 (Ш) x 56,0 (В) x 81,3 (Г)		
Потребление тока в режиме передачи, В	20 А/13,8 (ном.)	24 А/13,8 (ном.)	28 А/13,8 (ном.)
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	1 x 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, 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)

Общие характеристики	ParagonG3		
Передатчик			
Выходная мощность, Вт	20-100	35-70	20-70

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	Приём: 792-803	Приём: 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 25кГц	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, °С	от -30 до +60		
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		
- приём 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. (50кГц)	>75 мин. (25кГц)
Интермодуляция, дБ	80, номинально,	78, номинально,	80, номинально,
	>75 мин.	>75 мин.	>75 мин.

Общие характеристики	GeminiG3	
Передатчик		
Время атаки передатчика	< 10 мс (отклонение не более 1 мс)	
Выходная мощность	10-40 Вт	10-35 Вт
Модем		
Коррекция ошибки	гиперкод	
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала	
Достоверность	1×10^{-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	

В отличие от радиосетей GSM-R и TETRA, предусматривающих использование в их составе 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. Это обеспечивает существенно большую, по сравнению радиосетями GSM-R и TETRA, зону покрытия с позиции одной базовой станции, поскольку размер оперативной зоны базовой станции 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 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.

Сноски

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

2. Здесь и далее имеются ввиду 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. ↩
3. **GPRS** ([англ. General Packet Radio Service](#) — пакетная радиосвязь общего пользования) – надстройка над технологией мобильной связи [GSM](#), осуществляющая пакетный обмена данными. ↩
4. **EDGE (EGPRS)** ([англ. Enhanced Data rates for GSM Evolution](#)) – цифровая технология для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над [GPRS](#)-сетями. ↩
5. Данные приведены для реального сегмента сети сотовой связи стандарта GSM, «GSM/GPRS технологии в системах промышленной автоматике», ControlEngineering, декабрь 2008 года. ↩
6. Здесь и далее рассматриваются подвижные конвенциональные радиосети на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3, [www.calamp.com](#). ↩
7. **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. ↩
8. Время от передачи запроса до получения доступа к каналу связи и готовности к передаче сообщения. ↩
9. Максимальная теоретическая скорость обмена данными при использовании всех восьми тайм-слотов в полосе 200 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается). ↩
10. Максимальная скорость обмена данными при использовании всех четырех «тайм-слотов» в полосе 25 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается). ↩
11. Указаны скорости обмена данными при обеспечении высокой и средней помехоустойчивости. ↩
12. Указаны данные при отсутствии и максимальном использовании встроенной функции сжатия данных при обеспечении высокой помехоустойчивости. ↩