

Выпуск 15-02

РАДИОСЕТЬ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В данной статье представлена краткая информация о возможностях узкополосных технологических радиосетей управления и сбора данных в интересах организации перспективной командной радиосети обмена данными между стационарными и подвижными объектами, входящими в структуру железных дорог. Описаны некоторые особенности использования вышеуказанных технических средств, применительно к созданию автоматизированной системы управления движением с использованием современных методов и алгоритмов.

Изложенные в статье общие принципы организации технологических радиосетей могут успешно применяться на распределенных объектах в других отраслях промышленности и транспорта.

Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с организацией работы железнодорожного транспорта, управления напольным оборудованием, удаленного сбора производственной телеметрии, а также компаний-интеграторов, разрабатывающих и внедряющих автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в промышленности и на транспорте.

(продолжение)



Мы благодарим руководство компании «АВП-технология» (<http://www.avpt.ru>), лидера в отрасли автоматизации процессов управления подвижным составом железных дорог, за возможность публикации настоящих материалов.

3. Основные требования к радиосетям управления и сбора данных для железных дорог

При создании радиосетей управления и сбора данных для железных дорог должны учитываться следующие основные требования:

- реализация возможности сквозной автоматизации технологического процесса грузовых и пассажирских перевозок с использованием радиосети за счет организации работы подвижных и стационарных пользователей в едином радиочастотном диапазоне;
- обеспечение адекватного уровня безопасности технологического процесса железнодорожных перевозок за счет достижения соответствующего решаемым задачам уровня надежности и живучести радиосети;
- формирование единого информационного пространства для всех участников технологического процесса железнодорожных перевозок за счет интеграции радиосети в действующую систему управления и связи;
- преимущественное использование технических решений, имеющих минимальную совокупную стоимость владения и позволяющих максимально сократить стоимость эксплуатации программно-технических средств и оборудования связи за счет применения необслуживаемой аппаратуры и организации удаленного администрирования;
- адаптация и использование современных технических и технологических решений, положительно зарекомендовавших себя в смежных отраслях и позволяющих повысить эффективность работы и конкурентоспособность предприятия железнодорожного транспорта;
- возможность внедрения централизованной и распределенной схем управления и сбора данных, позволяющих максимально снизить эксплуатационные затраты за счет применения преимущественно необслуживаемого радиотехнического оборудования и максимального сокращения участия персонала в поддержании работоспособности радиосети;
- реализация возможности поэтапного развертывания радиосети и ее расширения без модификации первоначально использованных средств за счет применения типовых интерфейсов и единого протокола обмена данными;
- обеспечение высокой конкурентоспособности используемых при разработке и создании радиосети технологических решений за счет освоения производства радиотехнического оборудования на предприятиях Российской Федерации.

4. Анализ существующих радиотехнических средств, применяемых в системах управления движением на железнодорожном транспорте

Общий перечень оборудования радиосвязи, применяемого и планируемого к применению на железнодорожном транспорте представлен ниже.

Таблица 1. Технические характеристики оборудования радиосвязи, применяемого и планируемого к применению на железнодорожном транспорте.

Характеристика	GSM-R ¹	TETRA	IEEE 802.11
Рабочая частота	876–880, 921–925 МГц	410-430, 450-470 МГц	2,4/5,8 ГГц

¹ GSM-R ([англ. Global System for Mobile communications - Railway](#)) - беспроводная коммуникационная платформа повышенной надежности для железных дорог, реализованная на основе GSM.

Пропускная способность радиоканала	200 кГц	25 кГц	20–40 МГц
Максимальная скорость обмена данными	172 кбит/с	7,2 кбит/с ²	>10 Мбит/с
Поддержка IP-протокола	Нет	Нет	Да
Вид модуляции, метод доступа к каналу связи	GMSK, TDMA	DPSK, TDMA	QPSK, QAM
Состояние	Серийное производство	Серийное производство	Серийное производство
Позиционирование на рынке	Планируется использовать до 2030 года	Практически устаревшая	Широко применяется и развивается

Продолжение Таблицы 1.

Характеристика	ГТС220	LTE-R	Спутниковая
Рабочая частота	217,5-222,0 МГц	450 и 800 МГц, 1,4 и 1,8 ГГц	Аренда канала связи
Пропускная способность радиоканала	25 кГц	1,4–20 МГц	>20 МГц
Максимальная скорость обмена данными	16–32 кбит/с	10/50 Мбит/с	>2 Мбит/с
Поддержка IP-протокола	Да	Да	Да
Вид модуляции	4DQPSK	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (OFDM, SCFDMA)	FSK-PSK
Состояние	Серийное производство	Разработка	Серийное производство
Позиционирование на рынке	Только в США (компания Metrolink)	Согласование стандарта	Только в Европе (компании Thalys, SNCF)

Относительно широкое распространение в системах связи, обеспечивающих управление движением железнодорожного транспорта, получили средства связи стандартов GSM-R и TETRA (TErrestrial Trunked RAdio).

GSM-R представляет собой систему связи, адаптированную для нужд железнодорожного транспорта компанией Siemens с целью создания единой Европейской системы управления движением железнодорожного транспорта ERTMS (European Railway Traffic Management System). Основой для адаптации послужило типовое оборудование сотовой связи

² При использовании помехозащищенного режима скорость обмена данными снижается до 2,4 кбит/с.

стандарта GSM³, работающее в диапазонах 876–880 (в направлении «удаленный объект – базовая станция») и 921–925 МГц (в направлении «базовая станция - удаленный объект»). Пропускная способность канала составляет 200 кГц. Выходная мощность приемопередатчиков удаленного объекта (возимый терминал) – до 2 Вт.

По сведениям из открытых источников, системы связи GSM-R развернуты и успешно эксплуатируются на железных дорогах 60 (реально 40) государств на территории пяти континентов. Данные о распространении этого стандарта по материалам Международного союза железнодорожников UIC (International union of railways) представлены в Таблице 3. Таблица 2. Масштабы использования средств связи стандарта GSM-R.

1998	2000	2002	2004	2006
ФРГ	Нидерланды	Бельгия	Китай	Алжир
Италия	Испания	Финляндия	Индия	Турция
Швеция		Франция	Саудовская Аравия	Австрия
Великобритания		Норвегия	Чехия	Болгария
		Словакия		Греция
		Швейцария		Литва

Продолжение Таблицы 3.

2008	2010	2014	2018
Австралия	Ирландия	ЮАР	Аргентина
Ливия	Люксембург	Бразилия	Венесуэла
Тунис	Польша	Израиль	Иран
Дания	Румыния	Туркменистан	Ирак
Португалия	ОАЭ	Казахстан	Корея
	Россия	Беларусь	Украина
	Венгрия	Латвия	Эстония
		Хорватия	Узбекистан
		Словения	Босния и Герцеговина
		Египет	Македония

³ GSM (англ. от названия группы *Groupe Spécial Mobile*, позже переименован в Global System for Mobile Communications) (русск. СПС-900) - глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени и частоте. Разработан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 80-х годов прошлого столетия.

		Марокко	Молдавия
			Сербия
			Тайвань

Наиболее яркие успехи внедрения GSM-R иллюстрируются опытом Китая и Австрии, где сети GSM-R начали строить более 10 лет назад - в 2006 году. По состоянию на 2015 год, Китай имел самую большую сеть GSM-R в мире - 33750 км, а Австрия - 3200 км, что составляет 27,2% от общей протяженности железнодорожной сети для Китая (124 тыс. км) и 55,6% для Австрии (5755 км). Таким образом, данный стандарт на практике не стал общеевропейским, как это предполагалось его разработчиками, а эксплуатацию уже развернутых радиосетей планируется завершить к 2030 году.

Следует отметить, что рабочий диапазон системы изначально определялся требованиями к базовой системе сотовой связи, предполагающей использование в зонах с высокой плотностью абонентов и большим объемом передаваемой голосовой информации. Такие возможности являются серьезным ограничением при ее внедрении по критерию «стоимость-эффективность» и необоснованной избыточностью для большинства АСУ (аппаратура поддерживает работу 19 поднесущих радиочастот с полосой 200 кГц, на каждой из которых можно организовать по восемь выделенных каналов связи и обмена данными).

TETRA представляет собой стандарт цифровой транкинговой связи, разработанный европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute) для замены морально устаревшего стандарта MPT 1327. Оборудование стандарта TETRA работает в диапазонах 380-385/390-395 МГц, 410-430/450-470 МГц и 870-876/915-921 МГц. Используется метод многостанционного доступа с временным разделением TDMA (Time Division Multiple Access) - на одной физической частоте образуется 4 логических канала (слота). Пятый слот используется для передачи служебной информации. Пропускная способность канала составляет 25 кГц. Выходная мощность приемопередатчиков удаленного объекта (возимый терминал) – до 3 Вт.

Рабочий диапазон системы определялся радиочастотным ресурсом, выделенным для работы радиосетей служб общественной безопасности и промышленных технологических радиосетей.

Оба стандарта имеют свои неоспоримые преимущества и недостатки.

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 ни одна из систем не в состоянии решить все стоящие на железнодорожном транспорте задачи, поэтому каждая из систем должна использоваться в приложениях, в которых ее преимущества проявляются наиболее полно, а недостатки не являются критическими.

Одним из наиболее актуальных требований к современной системе связи, обеспечивающей управление движением железнодорожного транспорта, является возможность обеспечения эффективного и надежного 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, и для решения этой задачи они являются наиболее зрелым на сегодняшний день решением. Но, в связи с этим, их возможности по обмену данными серьезно ограничены.

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 транкинговой системе отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период установления связи⁴. 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 транкинговой системы по обеспечению обмена голосовыми сообщениями оказывается в разы выше, чем у обычной (конвенциональной⁵) системы «голосовой» связи.

В настройках транкинговых 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 снижать 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 данными⁶ они оказываются неприемлемыми. Например, в транкинговых 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 узкополосной

⁴ Порядок организации доступа к каналу в цифровых транкинговых системах связи и использования нескольких временных «слотов» (квантов) для обмена сообщениями между несколькими пользователями детально описан в специальной литературе. В настоящем отчете представлен упрощенный вариант, описывающий общий принцип работы, создающий ограничения для обмена данными.

⁵ **Конвенциональная радиосвязь** - это традиционный вариант беспроводной связи, который реализуется радиостанциями, не объединенными в какую-либо техническую систему, обеспечивающую управление ресурсом, сигнализацию и прочие координирующие процедуры.

⁶ 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.

технологической радиосети обмена данными УКВ-диапазона 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 транкинговой системы для обмена данными, оказывается критическим ограничением.

Существенным недостатком сетей GSM-R (как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS⁷ и EDGE⁸) является недетерминированная задержка в доставке данных. Работа значительной части АСУ настраивается с учетом времени, необходимого на передачу запросов и получение ответов на эти запросы. Так в одной из российских систем управления железнодорожным переездом управляющий канал работает в реальном времени и допускает задержку не более 45 мс. 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 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.

По оценке ведущих специалистов отрасли, в вопросах, касающихся обеспечения безопасности движения поездов, необходимо в максимальной степени ориентироваться на частотные ресурсы, выделенные непосредственно для нужд ОАО «РЖД».

⁷ GPRS ([англ. General Packet Radio Service](#) — пакетная радиосвязь общего пользования) — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетный обмен данными.

⁸ EDGE (EGPRS) ([англ. Enhanced Data rates for GSM Evolution](#)) — цифровая технология для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над GPRS-сетями.

Выбор частотных ресурсов для каждой из систем должен определяться с учетом ряда требований. Основные из них – электромагнитная совместимость (ЭМС) средств радиосвязи различных систем управления, высокий уровень надежности каналов передачи данных, а также требования систем управления по объемам и скорости передачи данных.

Данные об объемах данных, передаваемых в интересах организации интервального регулирования движения поездов, представлены ниже.

Таблица 3. Объемы данных, передаваемых в интересах организации интервального регулирования движения поездов.

№	Характер информации	Объем данных, байт
1	На постоянной основе	
	- скорость поезда	4
	- координаты поезда	8
	- сигналы АЛС	4
2	По требованию	
	- экстренная остановка	2
	- актуализация графика движения	10
	- ограничение скоростного режима	10

Все данные передаются с периодичностью раз в три секунды для высокоскоростных поездов и раз в семь секунд для всех остальных пассажирских и товарных поездов.

Перспективные автоматизированные системы управления движением поездов предполагают широкое использование средств радиосвязи для обеспечения обмена данными по следующим направлениям:

- пункт диспетчерского управления – локомотив;
- депо – локомотив;
- локомотив – ЖАТ⁹.

Каждое из направлений передачи данных¹⁰ предъявляет свои требования к каналу связи и организации радиосети. При относительно небольших объемах передаваемой информации по каждому из направлений дальность передачи и допустимые задержки в доставке информации при общем высоком требовании к надежности работы оказываются различными. В связи с этим по заказу Национального совета по безопасности на транспорте США (NTSB - National Transportation Safety Board) была проведена серия исследований с целью определения эффективности различных видов беспроводной связи, позволяющих удовлетворить требования, предъявляемые перспективными АСУ на железнодорожном транспорте. В ходе исследований рассматривались следующие виды и средства радиосвязи:

- сотовая сеть связи (диапазон 900/1800 МГц);
- радиосеть WiFi (диапазон СВЧ – сверхвысоких частот, 2,4 и 5 ГГц);
- спутниковые каналы связи (диапазон СВЧ, 1,6 ГГц);

⁹ Требования к аппаратуре, обеспечивающей обмен данными в этом направлении, полностью соответствует требованиям для обмена данными в направлении «локомотив-локомотив», поскольку в обоих случаях обеспечивается связь между электронными устройствами, установленными на борту или на земле (напольное оборудование).

¹⁰ Средства радиосвязи используются также для обмена информацией внутри вагонов и железнодорожных станций, однако, в настоящем отчете данные беспроводные средства не рассматриваются.

– технологическая радиосвязь УКВ (диапазон ОВЧ – ультравысоких частот, 150-240 МГц¹¹);

– технологическая радиосвязь УКВ (диапазон УВЧ – очень высоких частот, 380-490 МГц¹²);

Сравнение производилось с учетом следующих основных оперативно-технических требований:

- надежность связи в движении и во время стоянки;
- надежность доставки данных;
- дальность связи;
- задержка при получении данных;
- скорость обмена данными/пропускная способность.

Результаты исследования представлены ниже.

Таблица 4. Результаты оценки эффективности использования различных видов связи в интересах перспективных автоматизированных систем управления поездами.

Вид связи	Направление передачи данных		
	ЖАТ – поезд	Депо - поезд	ПУ - поезд
Радиосеть сотовой связи стандарта GSM	неудовлетворительно	хорошо	неудовлетворительно
Радиосеть WiFi	удовлетворительно	хорошо	неудовлетворительно
Спутниковая связь	неудовлетворительно	неудовлетворительно	удовлетворительно
Технологическая радиосеть, ОВЧ-диапазон	хорошо	хорошо	хорошо
Технологическая радиосеть, УВЧ-диапазон	удовлетворительно	удовлетворительно	неудовлетворительно

Таким образом, по заявленным критериям, наиболее эффективным средством беспроводной связи для перспективных автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте следует считать технологическую радиосеть обмена данными, работающую в диапазоне ОВЧ. Решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) при Министерстве информационных технологий и связи от 28 апреля 2009 г. № 09-03-01-1 «для применения на территории Российской Федерации гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РЭС подвижной и фиксированной служб гражданского назначения без оформления отдельных решений ГКРЧ» разрешено использование в диапазоне ОВЧ полос радиочастот 146-148 МГц, 149,9-162,7625 МГц и 163,2-168,5 МГц.

¹¹ Указан рабочий диапазон радиотехнической аппаратуры, применяемой для создания технологических радиосетей обмена данными.

¹² Указан рабочий диапазон радиотехнической аппаратуры, применяемой для создания технологических радиосетей обмена данными.

(продолжение следует)

ООО «Независимый исследовательский центр
перспективных разработок» (НЦПР)

Flexlab
с 1991 года

г.Москва, Новинский бульвар, дом 11, офис 302

Тел. +7 (499) 113 26 98

Факс. +7 (499) 113 26 98

Моб. +7 (915) 465 72 89

E-mail: sm@flexlab.ru

<http://www.flexlab.ru>