

Продолжение. Начало в № 1'2020

Радиосеть управления и сбора данных

для железнодорожных приложений. Часть 2

Во второй части статьи представлены разработанные в разных странах радиотехнические средства для систем управления движением на железнодорожном транспорте, описаны некоторые особенности их использования.

Автор благодарит руководство компании «АВП-технология» за возможность публикации настоящих материалов.

Сергей Маргарян

Перспективные радиотехнические средства для систем управления движением на железнодорожном транспорте

Основная часть перспективных европейских разработок, относящихся к управлению железнодорожным транспортом, предусматривает

использование системы связи LTE-R, которая должна заменить действующие системы GSM-R в период 2025–2030 гг.

Сравнительные технические характеристики оборудования связи стандартов GSM-R и LTE-R представлены в таблице 1.

В базовых системах связи GSM-R и LTE-R работа пользователей допускается только через базовую станцию. Несмотря на то, что

Т а б л и ц а 1. Сравнительные технические характеристики оборудования связи стандартов GSM-R и LTE-R

Характеристика	GSM-R	LTE-R
Рабочая частота	876–880, 921–925 МГц	450 и 800 МГц, 1,4 и 1,8 ГГц
Пропускная способность радиоканала	200 кГц	1,4–20 МГц
Максимальная скорость обмена данными	172 кбит/с	10/50 Мбит/с
Поддержка IP-протокола	Нет	Да
Вид модуляции, метод доступа к каналу связи	GMSK, TDMA	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (OFDM, SCFDMA)
Пиковая спектральная эффективность	0,33 бит/с/Гц	2,55 бит/с/Гц
Максимальный радиус действия одной соты	8 км	4–12 км
Передача данных	Требуется соединение по голосовому каналу	Коммутация пакетов, трансляция данных по протоколу UDP*
Передача данных в пакетном режиме	Нет (только последовательный поток данных)	Ограниченные возможности (по протоколу UDP)
Разнесенный прием (MIMO)**	Нет	2×2
Надежность эстафетной передачи пользователей между соседними базовыми станциями (хэндовер)	≥ 99,5%	≥ 99,9%
Вариант реализации «хэндовера»	Техническими средствами	Программными средствами (без потери данных)
Допустимая максимальная скорость движения поезда	500 км/ч	500 км/ч
Состояние	Серийное производство	Разработка
Позиционирование на рынке	Планируется использовать до 2030 года	Согласование стандарта

Примечания.

* UDP (англ. User Datagram Protocol – протокол пользовательских датаграмм) – один из ключевых элементов TCP/IP, набора сетевых протоколов для Интернета. С UDP компьютерные приложения могут посылать сообщения (в данном случае называемые датаграммами) другим хостам по IP-сети без необходимости предварительного сообщения для установки специальных каналов передачи или путей данных. Протокол был разработан Дэвидом П. Ридом в 1980 году и официально определен в RFC 768. Протокол не предусматривает подтверждение абонентами полученных сообщений.

** MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output) – метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, в котором передача и прием данных осуществляется системами из нескольких антенн.

такая централизация управления радиосетью представляется весьма полезной, некоторые прикладные задачи на железнодорожном транспорте требуют организации связи по принципу «каждый с каждым». Для этого в перспективной системе связи LTE-R предполагается реализовать режим LTE ProSe (Proximity Services), который позволит абонентам радиосети LTE-R соединяться друг с другом напрямую.

Следует отметить, что указанный режим будет доступен только в отдельных рабочих поддиапазонах системы связи LTE-R. В США для этих целей выделен диапазон 788–798 МГц, а в Южной Корее — 703–748 МГц.

Выходная мощность терминалов LTE-R составляет для европейской зоны 200 мВт и 1 Вт для США. В результате исследовательских испытаний, проведенных в Бонне в 2014 году специалистами компаний Deutsche Telecom (Германия), Huawei (Китай) и Qualcomm (США), установлено, что максимальная дальность связи терминалов LTE-R при работе в режиме «каждый с каждым» составила 550 м на открытой местности, 350 м в условиях города при наличии прямой радиовидимости и 170 м в городских условиях при отсутствии прямой радиовидимости (работа по отраженному сигналу). Поскольку исследовательские испытания проводились на повышенной выходной мощности, то выполнявшие их специалисты считают, что максимальная дальность работы терминалов LTE-R в реальной обстановке будет существенно меньше.

Система связи LTE-R является интегрированной, поэтому предполагается, что она будет предоставлять услуги голосовой связи и обмена данными для всех имеющихся на железнодорожном транспорте приложений, включая перспективное — так называемый вариант «Интернет интеллектуальных поездов». Данное приложение предусматривает организацию подключения к Интернету всех железнодорожных приложений, в том числе приложений пассажиров. По оценке зарубежных специалистов, для обслуживания данного приложения потребуется пропускная способность, равная 3,6 ГГц (предполагается, что понадобится обеспечить одновременную работу 130–180 пользователей, половина из которых будет смотреть видео с высоким разрешением). При организации двустороннего обмена, например проведения видеоконференции, эти потребности удваиваются до 7,2 ГГц, что не может быть обеспечено перспективной системой связи LTE-R, имеющей пропускную способность 20 МГц. Считается, что такая задача может быть решена только системами связи 5G или mmWave/sub-mmWave, работающими в диапазонах 28 и 300 ГГц соответственно.

Реальные потребности в пропускной способности систем управления движением поездов существенно скромнее и измеряются килогерцами. Однако обмен данными в таких системах должен быть строго детерминированным, а работа организована в режиме реального времени, что не обеспечивается даже перспективными системами связи и обмена данными общего пользования.

Европа

Создание перспективной системы управления движением в Европе ведется в рамках программы CBTC (Communications-based train control), которая предусматривает автоматизацию технологических процессов в трех основных областях: безопасность, управление и контроль движения поезда. Система должна выполнять непрерывное автоматизированное управление поездом на основе сбора текущих данных о его местоположении и параметрах движения, а также постоянного информационного обмена между пунктом диспетчерского управления, поездами и ЖАТ. Программа предполагает возможность организации движения поездов в автоматическом режиме без участия машиниста в процессе управления поездом на перегонах или на всем участке движения.

Схемы реализации автоматизированного управления движением железнодорожного транспорта представлены на рис. 1.

Основная цель реализации программы CBTC — увеличение пропускной способности железных дорог за счет сокращения интервалов движения между идущими в одном направлении (попутными) поездами.

Традиционная система управления движением предполагает разделение маршрута на блок-участки и определение местоположения поезда по привязке к ним. Данные о местоположении транслируются по рельсовым цепям. Таким образом, интервал попутного следования определяется протяженностью блок-участка, как указано на схеме. В зарубежной прессе системы управления, использующие описанный принцип, называются системами управления движением с фиксированными блок-участками.

В системе CBTC интервал попутного следования определяется максимальной длиной тормозного пути между двумя попутными поездами, который устанавливается с незначительным резервом, обеспечивающим необходимый уровень безопасности, как указано на схеме. Система автоматизированного управления непрерывно получает информацию о параметрах движения поездов попутного маршрута и устанавливает между ними безопасный интервал движения, протяженность которого меняется в зависимости от реальных условий.

В качестве составной части CBTC может рассматриваться проект ERTMS (European Railway Traffic Management System), предполагающий создание единой общеевропейской системы управления устройствами сигнализации, централизации и блокировки, использующей для работы систему связи GSM-R.

Хотя проект ERTMS сулит значительные выгоды для железнодорожной отрасли, он пока не получил должного развития. Работы по проекту продолжаются, однако в качестве основной причины задержек в реализации называют высокую стоимость системы связи GSM-R, неприемлемую для большинства участников данного проекта.

Наиболее далеко в реализации рассматриваемого проекта продвинулись Дания, Бельгия, Нидерланды, Люксембург, Италия, Испания и Австрия. Германия, Франция и ряд других стран Европейского союза в настоящее время разрабатывают планы мероприятий, направленных на ускорение реализации проекта.

В Дании подготовлен план реализации проекта до 2023 года в объеме всей железнодорожной сети страны. Общая стоимость проекта оценивается в 2,6 млрд евро. Учитывая общую протяженность железных дорог страны, составляющую 3181 км, средняя стоимость оснащения 1 км пути превышает 815 тыс. евро.

В Бельгии реализация проекта ведется с 2009 года только на скоростных линиях от Брюсселя до границы с Германией и Нидерландами. В 2010 году принято решение о распространении проекта на всю железнодорожную сеть, длина которой составляет 3374 км. Общая стоимость проекта оценивается в 2 млрд евро, или около 592 тыс. евро на 1 км пути.

В Голландии разработан план оснащения средствами ERTMS всех международных и наиболее сильно загруженных внутренних железнодорожных путей до конца 2030 года. В настоящее время проект реализован на 10% этих путей, а техническими средствами оснащено 20% подвижного состава. Расчетная стоимость завершения реализации проекта составляет 2,3 млрд евро, или 884,6 тыс. евро на 1 км.

В 1999 году в Люксембурге было принято решение о реализации проекта на всей железнодорожной сети общей протяженностью 300 км к концу 2017 года. Общая стоимость только оборудования СЦБ для данного проекта составила 70 млн евро, или 233 тыс. евро на 1 км пути.

Сообщается о том, что значительные финансовые средства истрачены на реализацию проектов по рассматриваемой программе в Италии и Испании, однако конкретные цифры вложений не раскрываются.

В период 2009–2013 гг. в Австрии средствами ERTMS оснащены около 500 км железнодорожных путей. Затраты только на приобретение оборудования составили 80 млн евро, или 160 тыс. евро на 1 км пути.

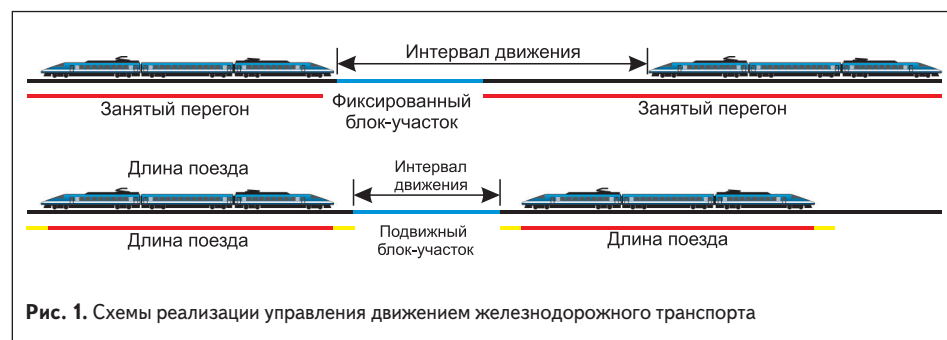


Рис. 1. Схемы реализации управления движением железнодорожного транспорта

Следует отметить, что для связи в направлениях «поезд-станция» и «поезд-поезд» в европейских странах используются самые различные средства, а система связи GSM-R не стала отраслевым стандартом.

В декабре 2017 года австрийская компания Kapsch CarrierCom и венгерская Hungary's MVM OVIT National Power Line завершили четырехлетний проект общей стоимостью 46 млн евро по созданию системы связи GSM-R для венгерских железных дорог. Созданная система охватывает участок общей протяженностью 300 км из имеющихся 7800 км, что составляет 3,8%. Таким образом, взвешенная стоимость оснащения системой связи GSM-R 1 км пути составляет 153,5 тыс. евро.

Компания Kapsch CarrierCom занимает 52% рынка GSM-R в Европе. По заявлению ее специалистов, средствами компании оснащено около 35 тыс. км железнодорожных путей. Таким образом, общая протяженность оснащенных оборудованием GSM-R железнодорожных путей в Европе может составлять 67 тыс. км, или 25% от общей протяженности (около 260 тыс. км). Учитывая заявленный срок жизни системы связи GSM-R, можно считать маловероятным ее дальнейшее активное внедрение.

Реализованные в Европе проекты, использующие сети стандарта GSM-R, включают магистрали Роттердам — Женева, Неаполь — Гамбург — Стокгольм, Антверпен — Базель — Лион, Севилья — Лион — Турин — Триест — Люблина, Дрезден — Прага — Брно — Вена — Будапешт, Дуйсбург — Берлин — Варшава.

Азия, Африка и Австралия

Наиболее активно работы по внедрению систем управления движением железнодорожного транспорта с использованием радиоканала ведутся в Китае. В 2007 году компания Nokia Siemens Networks заключила контракт с Министерством железных дорог Китая для реализации системы GSM-R для планируемой пассажирской линии между городами Ухань и Гуанчжоу на юге страны. Однако в основной массе выполненных и реализуемых в настоящее время проектов применяется система связи GSM-R, производство которой освоено китайской компанией Huawei Technologies, специализирующейся на системах сотовой связи общего назначения.

Выполненные Huawei Technologies проекты включают:

- железную дорогу, соединяющую центр Шанхая с аэропортом (движение поездов на скорости до 430 км/час);
- железную дорогу Дацин (провинция Шанси) — Циньхуандао (провинция Хэбэй) общей протяженностью 670 км. Местность между конечными пунктами исключительно сложная, в основном горы и холмы, а также около 60 тоннелей общей протяженностью 48 км, с самым длинным их них — 8,4 км. Емкость сети — 5000 абонентов и 1000 пользователей GPRS;
- скоростную магистраль Гуандун — Шэньчжэнь — Гонконг протяженностью 115 км, одну из крупнейших высокоскоростных линий в мире, где скорость поездов достигает 350 км/час;

- самую длинную железную дорогу в Китае Пекин — Гонконг протяженностью 2364 км;
- железную дорогу Пекин — Чэнду — Ухань с кольцевой структурой протяженностью более 800 км.

Активные работы по созданию системы управления поездами ведутся в Индии. Однако эти работы имеют ограниченные цели и направлены в первую очередь на повышение безопасности движения по проектам TCAS (Train Collision Avoidance System) и ATP (Automatic Train Protection).

Система управления включает бортовое оборудование локомотива и станционное оборудование, связь между которыми организуется на расстоянии не менее 3000 м. В состав системы входит также напольное оборудование. Предполагается, что для предотвращения столкновения система должна автоматически регулировать скорость движения поезда средствами встроенной системы управления торможением.

Создаваемая система предполагает реализацию следующих функций:

- предотвращение лобовых столкновений (Head On Collision Prevention);
- предотвращение столкновений при попутном следовании (Rear End Collision Prevention);
- предотвращение боковых столкновений (Side On Collision Prevention);
- трансляция сигнала тревоги с поезда и станции;
- автоматическое включение звукового сигнала при приближении к переездам.

Обмен данными в системе управления производится по каналам связи и обмена данными УВЧ-диапазона с использованием серийно выпускаемых радиомодемов Guardian. Работа организована в дуплексном режиме. Применяются дуплексные базовые станции повышенной надежности и живучести со 100%-ным дублированием. Разработчик выполнил доработку оборудования, направленную на сокращение задержек в передаче данных, возникающих при организации связи, с 40 до 30 мс. Длина пакета передаваемых с локомотива данных составляет 512 бит.

Таблица 2. Основные технические характеристики радиомодема Guardian

Характеристика	Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
	ОВЧ	УВЧ	900 МГц	
Диапазон частот, МГц	136–174	215–240	406–470 450–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц	25 или 12,5 (настраивается программно)			
Тип излучения	9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D			
Потребляемый ток:	прием, мА	360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)		
	передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)		
	передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В)		
Номинальная задержка при холодном старте, с	20			
Рабочее напряжение, В	10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, °С	–30...+60			
Температура хранения, °С	–45...+85			
Влажность, %	5–95 (без образования конденсата)			
Габаритные размеры, см (Ш×Г×В)	13,97×10,80×5,40			
Масса (в упаковке), кг	1,1			
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс		Симплекс, полудуплекс	
Приемник				
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:	25 кГц	–100 (19,2 кбит/с), –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)		
	12,5 кГц	–107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)		
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	60/12,5 кГц; 70/25 кГц			
Интермодуляция, дБ	> 75			
Избирательность, дБ	> 70/25 кГц; > 60/12,5 кГц			
Передатчик				
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1–470)	32
			62 (450–512)	
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10			1–8
Время атаки, мс	< 1			
Время переключения между каналами, мс	< 15			
Импеданс, Ом	50			
Цикл работы на передачу, %	100			
Стабильность частоты, ppm	1			
Интерфейсы	RS-232 (DB9)			
Антенна	TNC («мама») — прием/передача, SMA («мама») — прием (для дуплексных моделей)			
Модем				
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2			
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача			
Вид модуляции	2FSK			



Рис. 2. Внешний вид терминала машиниста системы управления поездами индийских железных дорог на этапе внедрения

Общий вид терминала машиниста вышеупомянутой системы представлен на рис. 2.

Общий вид рабочего макета бортового комплекса системы управления поездами индийских железных дорог показан на рис. 3.

Внешний вид радиомодема Guardian представлен на рис. 4.

Основные технические характеристики радиомодема Guardian отображены в таблице 2.

Оборудование Guardian имеет встроенную диагностику и позволяет организовать автоматический сбор данных о текущем техническом состоянии в реальном масштабе времени. Диагностическая информация передается с каждым отправляемым сообщением. Для ее получения не требуется отдельного запроса, поскольку данные поступают в режиме ООВ (Out-of-band), не загружая радиоканал и не требуя отправки отдельного запроса о техническом состоянии и ответа на него.

Одна из наиболее современных схем управления движением поездов на промышленном железнодорожном транспорте

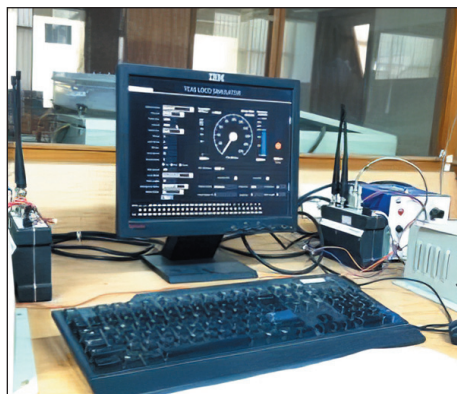


Рис. 3. Внешний вид рабочего макета бортового комплекса системы управления поездами индийских железных дорог на этапе внедрения

реализована в автоматизированной системе диспетчерского управления и интервального регулирования, созданной для компании «Рио Тинто» (Австралия). АСУ обеспечи-

вает автоматическое ведение поезда без участия машиниста с дистанционным управлением параметрами движения из объединенного центра диспетчерского управления на железнодорожной сети общей протяженностью более 1800 км. Технологическая радиосеть обмена данными функционирует на скорости 64 кбит/с с использованием радиомодемов ParagonG3 (базовая станция) и GeminiG3 (подвижный объект). Базовые станции подключены к центру диспетчерского управления по волоконно-оптическому каналу связи. В центр управления поступают сведения о параметрах движения и техническом состоянии поездов, информация о техническом и оперативном состоянии средств железнодорожной автоматики, включая информацию с автоматически регулируемых железнодорожных переездов.

Внешний вид радиомодема базовой станции ParagonG3 представлен на рис. 5.

Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ParagonG3 указаны в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ParagonG3

Характеристика		ParagonG3		
Диапазон рабочих частот, МГц	403–512	Передача: 762–773	Передача: 851–869	
		Прием: 792–803	Прием: 806–824	
Шаг сетки радиочастот, кГц		25 или 50		
Габаритные размеры, см (Ш×В×Г)		192,6×56×81,3 (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		–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 ⁻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...+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)
Передатчик				
Выходная мощность, Вт	20–100	35–70	20–70	
Тип излучения:	32 кбит/с	16K0F1D		16K5F1D
	48 кбит/с	13K7F1D		16K5F1D
	64 кбит/с	13K7F1D	30K0F1D	16K5F1D
	96 кбит/с		30K0F1D	
	128 кбит/с		30K0F1D	
Вид модуляции:	32, 48 и 64 кбит/с (25 кГц)	SRRC16FSK		
	128 кбит/с	SRRC16FSK		
	96 кбит/с	SRRC8FSK		
	64 кбит/с	SRRC4FSK		
Побочное излучение:	в режиме передачи	от –36 дБм до 1 ГГц/от –30 дБм до 4 ГГц		
	в режиме ожидания	от –57 дБм до 1 ГГц/от –47 дБм до 4 ГГц		
Стабильность	5:1			

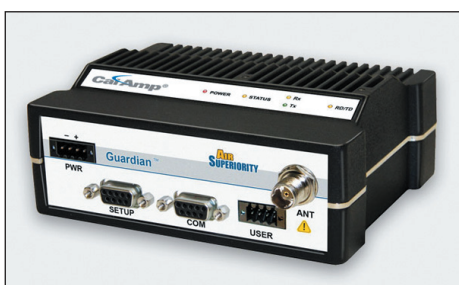


Рис. 4. Внешний вид радиомодема Guardian



Рис. 5. Внешний вид радиомодема базовой станции ParagonG3



Рис. 6. Внешний вид бортового радиомодема GeminiG3

Внешний вид бортового радиомодема GeminiG3 изображен на рис. 6.

Основные технические характеристики радиомодема GeminiG3 представлены в таблице 4.

Внедрение системы позволило не только исключить локомотивную бригаду из процесса управления поездом, но и коренным образом изменить всю систему диспетчерского управления и интервального регулирования. Возможность одновременного управляющего воздействия на все локомотивы позволила реализовать новую схему интервального регулирования, отказаться от значительной части железнодорожной автоматики и заметно сократить интервалы движения при сохранении высокого уровня безопасности. В результате были существенно увеличены

объемы перевозок, поскольку новая система поддерживает одновременное начало торможения для движущихся в попутном направлении составов, что обеспечивает повышение плотности движения на железнодорожной сети.

В 2014 году на территории Республики Казахстан началось внедрение системы интервального регулирования движения поездов на базе радиоканала СИРДП-Е. В качестве системы передачи данных между подвижными объектами и стационарным оборудованием СИРДП была выбрана система радиосвязи TETRA. По оценке казахстанских специалистов, преимуществами этой системы связи по сравнению с GSM-R являются ее более низкая стоимость и более высокая эффективность использования радиочастотного спектра. При построении сети связи применялся принцип двойного перекрытия оперативной зоны с позиций соседних базовых станций.

Средствами системы оборудовано несколько участков железнодорожной сети АО «НК «Казахстан Темир Жолы» общей протяженностью более 1600 км.

Российская Федерация и другие государства СНГ

Работы по созданию автоматизированных систем управления движением поездов

с использованием радиоканала в Российской Федерации ведутся уже около 20 лет. В рамках этих работ созданы опытные участки и проведены испытания аппаратуры связи стандартов GSM-R и TETRA.

Внедренные и эксплуатируемые системы включают железнодорожный участок Туапсе — Сочи — Адлер — Альпика-Сервис — Веселое Северо-Кавказской железной дороги, имеющий следующие характеристики:

- Участок Туапсе — Адлер (исключая):
 - протяженность: 105 км;
 - количество раздельных пунктов на участке: 14;
 - однопутный с двухпутными вставками;
 - количество тоннелей: 11;
 - электрифицирован по системе постоянного тока $U_n = 3$ кВ.
- Участок Адлер (исключая) — Альпика-Сервис:
 - протяженность: 41,5 км;
 - количество раздельных пунктов: 6;
 - однопутный с двухпутными вставками;
 - количество тоннелей на участке проектирования: 6;
 - электрифицирован по системе переменного тока $U_n = 25$ кВ.
- Участок Адлер — Веселое:
 - протяженность: 7 км;
 - количество раздельных пунктов: 3;
 - двухпутный;
 - электрифицирован по системе постоянного тока $U_n = 3$ кВ.
- Участок Адлер (исключая) — аэропорт Сочи:
 - протяженность: 2,7 км;
 - количество раздельных пунктов: 1;
 - однопутный;
 - количество тоннелей: 2;
 - электрифицирован по системе постоянного тока $U_n = 3$ кВ.

Общая протяженность железнодорожного участка, оснащенного системой связи GSM-R, составляет 156,2 км. На данном участке 54 основных и 125 дополнительных базовых станций (удаленных блоков). Средняя плотность основных базовых станций на данном участке составляет одна БС на 2,89 км, с учетом дополнительных — одна БС на 1,15 км. Максимальная используемая емкость одной БС составляет семь групповых каналов из 19 допустимых. Проектная абонентская емкость составляет 10 000 подключаемых пользователей, значительную часть из которых представляют собой абоненты, работающие в голосовом режиме. В составе радиосети действует всего 611 терминалов, относящихся к пользователям ОАО «РЖД», в том числе 555 носимых, 42 мобильных и 14 стационарных. Таким образом, максимальная загрузка радиосети по назначению составляет 6,1% от общей емкости.

Система связи GSM-R использована при строительстве Московского центрального кольца (МЦК). Общая протяженность МЦК составляет 54 км. В составе системы развернуто и эксплуатируется 22 базовые станции. Средняя плотность базовых станций составляет одна БС на 2,45 км. В качестве резервной продлжается эксплуатация радиосети УКВ-диапазона.

Таблица 4. Основные технические характеристики радиомодема GeminiG3

Характеристика		GeminiG3		
Диапазон рабочих частот, МГц	403–460, 450–512	Прием: 792–803	Прием: 851–869	
		Передача: 762–773	Передача: 806–824	
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50			
Скорость обмена данными, кбит/с	32, 48 или 57,6 в канале с шагом сетки 25 кГц	64, 96 или 128 в канале с шагом сетки 50 кГц	32, 48 или 64 в канале с шагом сетки 25 кГц	
Габаритные размеры, см (Ш×В×Г)	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			
Потребляемый ток:	передача при 13,3 В, А	< 12 А		
	прием при 13,3 В, мА	< 750 (включая навигационный приемник)		
Приемник				
Чувствительность, дБм	–98 (64 кбит/с)	–94 (128 кбит/с)	–95 (64 кбит/с)	
	–104 (48 кбит/с)	–100 (96 кбит/с)	–101 (48 кбит/с)	
	–108 (43,2 кбит/с)	–106 (64 кбит/с)	–105 (43,2 кбит/с)	
	–110 (32 кбит/с)		–107 (32 кбит/с)	
Избирательность, дБ	77, номинально	68, номинально	77, номинально	
	>75 мин. (25 кГц)	>65 мин. (50 кГц)	>75 мин. (25 кГц)	
Интермодуляция, дБ	80 ном.	78 ном.	80 ном.	
	>75 мин.	>75 мин.	>75 мин.	
Передатчик				
Время атаки, 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	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			

Из разработанных в настоящее время технических средств наиболее полно критериям универсальной системы интервального регулирования движения поездов для перегонов соответствует система АБТЦ-М. В системах автоблокировки для контроля местоположения поезда (определения свободности или занятости блок-участка) могут использоваться рельсовые цепи или счетчики осей. Традиционным решением являются рельсовые цепи.

Система автоблокировки с тональными рельсовыми цепями, централизованным размещением аппаратуры и дублирующими каналами передачи информации АБТЦ-М представляет собой современную, выполненную на микропроцессорной элементной базе систему ИРДП и обеспечения безопасности движения поездов на перегонах. Движение поездов осуществляется как по сигналам напольных светофоров, так и с помощью автоматической локомотивной сигнализации как основного средства интервального регулирования с возможностью применения дублирующего радиоканала передачи информации. Система обеспечивает взаимодействие с аппаратурой электрической, диспетчерской централизации и другими системами автоматики. Важнейшим звеном систем интервального регулирования и обеспечения безопасности движения поездов является комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У.

В настоящее время в системе микропроцессорной автоблокировки АБТЦ-М реализовано управление с подвижными блок-участками, обеспечивающее минимальный интервал попутного следования до 2,5 мин, что соизмеримо с работой метрополитена. Данный класс микропроцессорных систем управления принят в качестве базовой технологии для решения задач интервального регулирова-

ния как на интенсивных пассажирских ходах (Московское центральное кольцо), так и при реконструкции участков с интенсивным движением — Транссиб, БАМ и ВСМ.

- Основные функции системы АБТЦ-М:
- организация и обеспечение безопасности движения поездов на участках с применением подвижных блок-участков;
 - передача извещения в систему переездной сигнализации и контроль ее работы;
 - автоматическая диагностика устройств системы с регистрацией отказов.
- Упрощенная схема перспективной системы ИРДП с использованием радиоканала представлена на рис. 7.

Применение аппаратуры ИРДП в совокупности с устройствами цифрового радиоканала позволяет на действующей инфраструктуре ОАО «РЖД» организовать многозначную автоматическую локомотивную сигнализацию по главным путям как для правильного, так и для неправильного направления движения без установки оборудования АЛС-ЕН (автоматическая локомотивная сигнализация — единая непрерывная).

Комплекс обеспечивает формирование и передачу на подвижной состав следующей информации:

- состояние станционных маршрутов приема, передачи и отправления;
- показание входных светофоров;
- установленное направление движения по каждому пути перегона;
- состояние блок-участков каждого из путей перегона;
- ограничение скорости применительно к станционным маршрутам;
- ограничение скорости на блок-участке.

Для передачи информации между стационарными и локомотивными устройствами предна-

значено оборудование цифрового радиоканала, размещенное на станциях и перегонах в соответствии с расчетами зон электромагнитной доступности (ЭМД), а также непосредственно на подвижном составе.

Информация о предлагаемой схеме передачи информации на локомотив по радиоканалу с использованием радиомодемов «МОСТ» представлена на рис. 8.

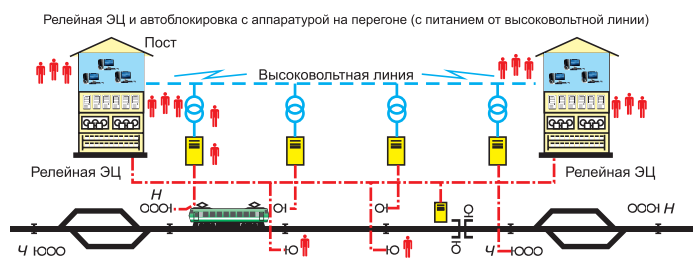
В качестве основного варианта реализации обмена данными между стационарными пунктами управления и подвижным составом разработчиками предлагается создание автономной радиосети для каждого перегона с разделением в пространстве, во времени и по радиочастоте перегонов индивидуально или в составе диспетчерского участка. Считается, что общий объем передаваемой информации в направлении «пункт управления — локомотив» в пределах каждого перегона диспетчерского участка может составлять до 240 байт, а в направлении «локомотив — пункт управления» — 400 байт (20 байт с каждого поезда, находящегося на каждом перегоне диспетчерского участка, при числе поездов не более 20). Границы перегонов должны определяться по данным приемника спутниковой навигации.

Предложенная схема организации связи предусматривает работу радиомодемов на базовых станциях и локомотивах с непрерывным циклом 3 с. Для обеспечения надежности доведения информации базовые станции должны дублировать передаваемые на борт поездов данные. Первая секунда выделяется для передачи на борт поездов сообщения длиной 240 байт одной базовой станцией и повторения его другой. То есть в течение 1 с двумя базовыми станциями должно быть передано в общей сложности не менее 4800 бит (480 байт, где 1 байт = 8 бит

Развитие систем интервального регулирования движения поездов с переходом к бессветофорной сигнализации

Существующие системы ЖАТ

Внедрение инновационной разработки позволит отказаться от необходимости размещения напольного оборудования СЦЕ на перегонах включая проходные светофоры автоблокировки



Перспективные системы ЖАТ

Система интервального регулирования движения поездов с применением бессветофорной автоблокировки с подвижным блок-участком и передачей данных по цифровому радиоканалу

- Увеличение пропускной способности
- Сокращение эксплуатационных затрат
- Обеспечение участка цифровой технологической связью и сетью передачи данных

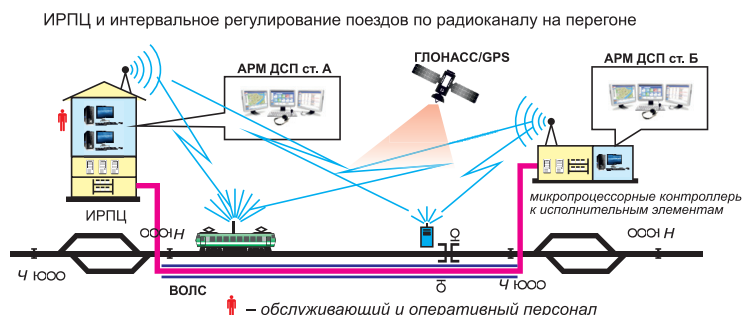


Рис. 7. Упрощенная схема перспективной системы ИРДП с использованием радиоканала

информации + 2 служебных «старт-стопных» бита). Общеизвестно, что при работе радиомодема не все выделенное для работы время используется на передачу информации. Значительная его часть затрачивается на выполнение служебных процедур, включая установление связи (включение и выключение радиомодема, набор необходимой выходной мощности для начала передачи и ее сброс после завершения). И чем выше выходная мощность, тем больше эти временные затраты. Например, в современных специализированных телеметрических радиомодемах время атаки передатчика может достигать 10 мс, а в обычных радиостанциях — десятков и даже сотен миллисекунд. Освобождение радиоканала потребует вдвое меньшего времени. В связи с этим в рассматриваемом варианте двум базовым станциям не хватит одной секунды, выделенной для передачи, для

трансляции и дублирования сообщения в направлении «пункт управления — локомотив» со скоростью 4800 бит/с. Скорость обмена данными в радиосети, обслуживающей работу АБЦТ-М, должна быть выше обеспечиваемой радиомодемом «МОСТ».

При создании систем обмена данными с жесткой синхронизацией кроме времени, необходимого для выполнения процедур связи, следует учитывать нестабильность (допуски) заявленных технических параметров работы для индивидуальных устройств. В лучших образцах радиомодемов время атаки отдельных устройств одинаковой модели может отличаться на ±10%. Таким образом, при расчете радиосети требуется устанавливать между сеансами связи так называемый защитный интервал. Обычно он составляет не менее 20% заявленного в технических характеристиках устройства времени установления связи.

Выполнение аналогичных приведенным выше расчетов с учетом реальных временных затрат для передачи данных в направлении «локомотив — пункт управления» дает следующий результат. Общее время для передачи данных от 20 поездов (максимально допустимое в АБЦТ-М количество) составляет 2000 мс, то есть каждому локомотиву выделяется для трансляции сообщения не более 100 мс. С учетом заявленных ограничений — 90 мс. Минимальное общее время передачи одного сообщения на скорости 9600 бит/с для радиомодема «МОСТ» составит 57 мс (установление связи — 22 мс; передача данных — 20 мс; освобождение канала — 11 мс; защитный интервал — 4 мс).

Указанного времени радиомодему «МОСТ» не хватает для того, чтобы провести повторную передачу сообщения в направлении «локомотив — пункт управления» в случае сбоя при доставке первого сообщения, что снижает надежность системы в целом.

Минимальное общее время передачи одного сообщения при работе на скорости 9600 бит/с через прозрачный радиомодем Guardian — 23 мс (установление связи — 1 мс; передача данных — 20 мс; освобождение канала — 1 мс; защитный интервал — 1 мс), что представляется вполне достаточным и обеспечивает адекватный резерв для дальнейшего развития системы с учетом имеющейся возможности наращивания скорости обмена данными без замены и модернизации технических средств.

Разработчики АБЦТ-М планируют повысить надежность системы за счет использования помехоустойчивого кодирования с применением кодов Рида — Соломона или Рида — Маллера. Такое решение потребует увеличения размера транслируемого с борта локомотива сообщения не менее чем на 50% и полностью исключит повторную трансляцию, существенно ограничив возможности по повышению надежности доставки данных за счет дублирования сообщения.

В настоящее время радиомодем «МОСТ» позволяет работать в помехоустойчивом режиме, но в этом случае обеспечивается передача пакетами данных длиной 6–15 байт. Время от начала загрузки пакета передаваемой информации длиной 8 байт до окончания выдачи пакета информации на приемной стороне составляет до 115 мс¹, что не удовлетворяет требованиям АБЦТ-М.

Сравнительные технические характеристики «прозрачных» радиомодемов УКВ-диапазона, работающих на скоростях выше 4800 бит/с, приведены в таблице 5.

Обеспечить дублирование при передаче данных в направлении «локомотив — пункт управления» с использованием помехоустойчивого кодирования в предлагаемой схеме организации обмена данными можно только в случае кардинального увеличения пропускной способности аппаратуры радиосети за счет повышения скорости обмена данными и сокращения времени выполнения служебных процедур связи.

В 2017 году специалистами ЗАО «НПП «Родник» (Москва) и ЗАО «НПЦ «Промэлектроника»

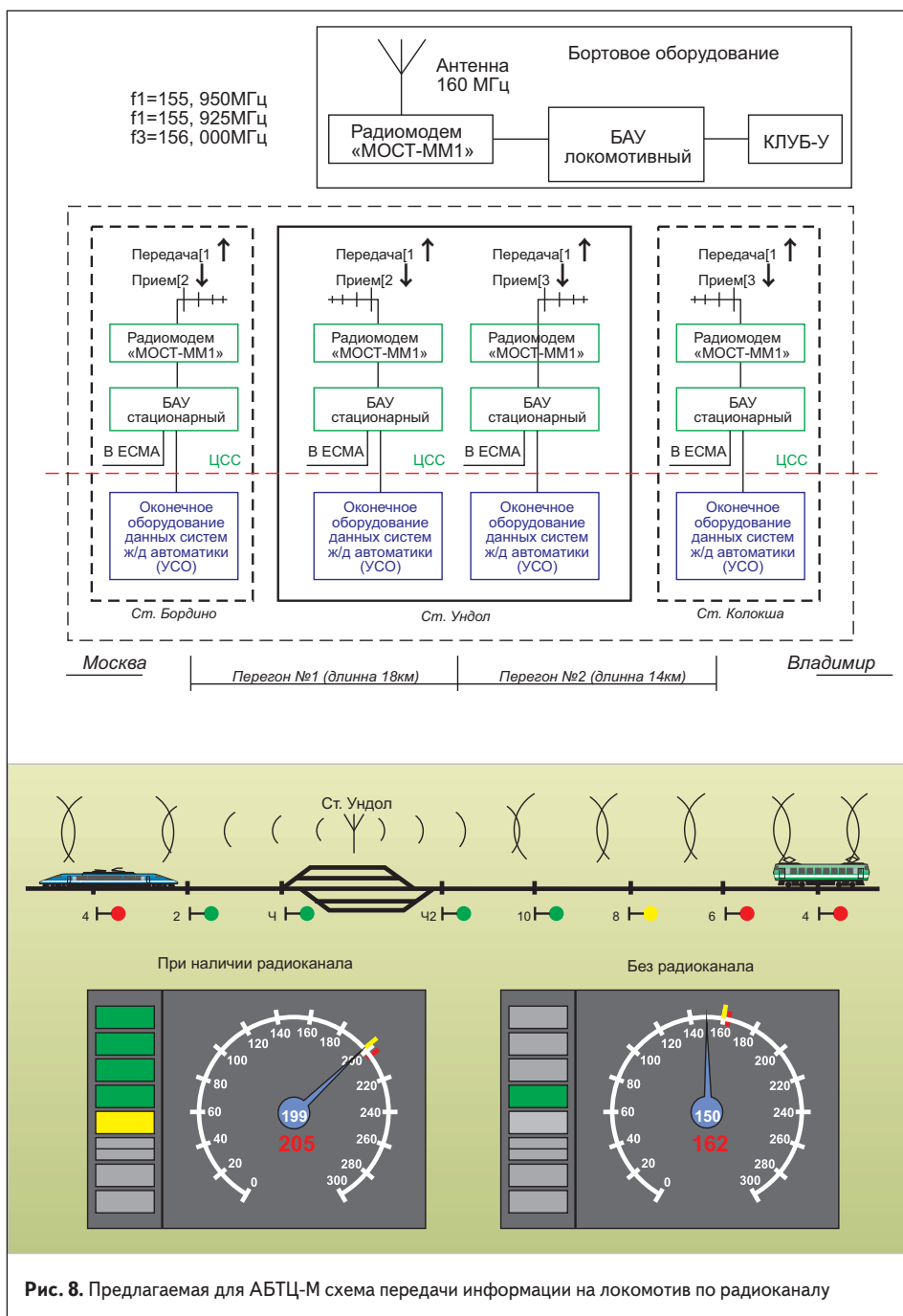


Рис. 8. Предлагаемая для АБЦТ-М схема передачи информации на локомотив по радиоканалу

¹ Радиостанция 1P22CB-2 «МОСТ». Руководство по эксплуатации.

(Екатеринбург) проведены натурные испытания радиосети подсистемы управления железнодорожными переездами с использованием радиомодемов Guardian. По результатам испытаний программное обеспечение системы управления было доработано и полностью подготовлено к функционированию по радиоканалу.

В 2017 году специалистами ООО «Атомэлектроприбор» (Белгород) завершены работы по развертыванию в АО «Лебединский ГОК» (Губкин) системы радиуправления и контроля стрелочными переводами (СРКСП), предназначенной для дистанционного управления стрелочными электроприводами, установленными на значительном удалении от постов централизации и не подключенными к системе управления устройствами сигнализации, централизации и блокировки предприятия и отображения их текущего состояния в реальном масштабе времени. В первую очередь стрелочными переводами в погрузочно-разгрузочных тупиках, местах подготовки, очистки и взвешивания вагонов, что позволяет производить размен подвижного состава без дополнительных затрат на обустройство железнодорожных путей и систем СЦБ. Применение СРКСП позволяет управлять стрелками как из кабины локомотива, так и с поста централизации.

СРКСП обеспечивает:

- контроль положения стрелки;
- контроль взреза стрелки;
- местное управление стрелкой при неисправности системы дистанционного управления;
- контроль нахождения подвижного состава в пределах стрелочного перевода;
- контроль нитей красного огня указателей светофорного типа;
- отмену подготовленного маршрута;
- аварийный перевод стрелки при неисправности стрелочной секции;
- установку и замыкание маршрута в нужном направлении;
- аварийное отключение стрелки.

Управление стрелочным переводом с применением цифрового радиоканала выполняется с помощью маневровой колонки на базе сенсорной панели или из кабины локомотива.

СРКСП не допускает:

- перевода стрелки под составом;
- перевода стрелок с других локомотивов при установленном маршруте;
- изменение установленного маршрута при движении по нему подвижного состава.

Функционирование СРКСП обеспечивается беспроводной технологической сетью связи, созданной на базе современных узкополосных радиомодемов диапазона ультракоротких волн.

Общая схема технологической радиосети обмена данными СРКСП представлена на рис. 9.

Рассматриваемая технологическая радиосеть обмена данными реализована на радиомодемах Viper-SC+. Она обеспечивает автоматический двусторонний обмен алфавитно-цифровой информацией между абонентами радиосети по IP-протоколу. К сети подключены пульты управления операторов и электроприводы стрелочных переводов. Учитывая, что пульты управления операторов подключены к общей



информационной сети предприятия, дальнейшее распространение циркулирующей через них информации как по штатным каналам связи, так и по каналам технологической радиосети не представляет сложности.

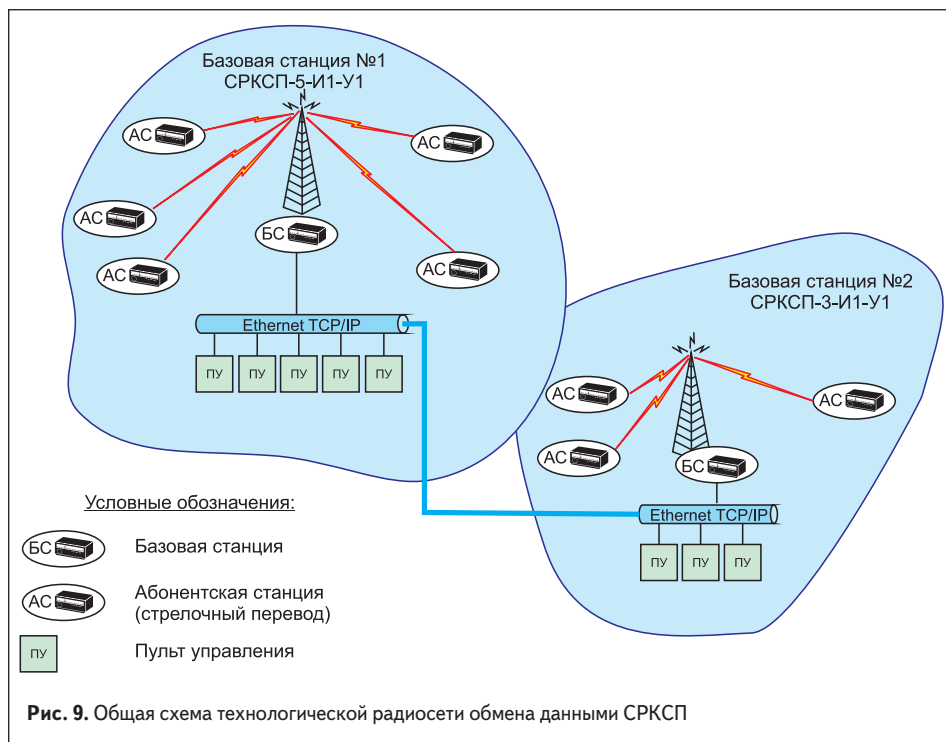
Следует отметить, что первоначальная реализация СРКСП была выполнена на «прозрачных» радиомодемах Guardian, однако отсутствие необходимого радиочастотного ресурса (в распоряжении заказчика имелось только два радиочастотных номинала) предопределило

переход на радиомодемы Viper-SC+, имеющие более высокую пропускную способность.

ОАО «НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова» (ОАО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей») разрабатывает и производит систему интервального регулирования движения поездов метро. Работа данной системы обеспечивается комплексом технических средств каждого поезда, который вырабатывает и передает команды для диспетчерского пункта и позади идущего поезда о своей фактической скорости и коор-

Таблица 5. Сравнительные характеристики радиомодемов УКВ-диапазона

Характеристика	Радиомодем «МОСТ-Л»		Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
	ОВЧ	УВЧ	ОВЧ	УВЧ	900 МГц	
Внешний вид						
Диапазон частот, МГц	146–174	450–470	136–174	215–240	406–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц	25		25 или 12,5 (настраивается программно)			
Тип излучения	16KF2D		9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D			
Потребляемый ток:	прием, мА	350 (48 В)	360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)			
	передача 40 дБм (10 Вт), А	1,75 (48 В)	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)			
	передача 30 дБм (1 Вт), А	не применимо	1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В)			
Номинальная задержка при холодном старте, с	60		20			
Рабочее напряжение, В	48 (постоянный ток)		10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, °С	–40...+60		–30...+60			
Температура хранения, °С	–50...+70		–45...+85			
Влажность, %	не более 80 (при температуре +25 °С)		5–95 (без образования конденсата)			
Габаритные размеры, см (Ш×Г×В)	22×24×9,7		13,97×10,8×5,4			
Масса (в упаковке), кг	4,1		1,1			
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс		Симплекс, полудуплекс, дуплекс			Симплекс, полудуплекс
Приемник						
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10 ⁻⁶), дБм:	25 кГц	–110 (9,6 кбит/с), –113 (4,8 кбит/с)	–100 (19,2 кбит/с), –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
	12,5 кГц	не применимо	–107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	нет данных		60/12,5 кГц; 70/25 кГц			
Интермодуляция, дБ	> 70		> 75			
Избирательность, дБ	> 73		> 70/25 кГц; > 60/12,5 кГц			
Передатчик						
Полоса пропускания без подстройки, МГц	28		38	25	64 (406,1–470)	32
					62 (450–512)	
Выходная мощность, Вт	5, 10		1–10			1–8
Время атаки, мс	< 22 (9,6 кбит/с), < 30 (4,8 кбит/с)		< 1			
Время переключения между каналами, мс	нет данных		< 15			
Импеданс, Ом	50		50			
Цикл работы на передачу, %	50% (продолжительность непрерывной передачи 60 с)		100			
Стабильность частоты, ppm	2,5		1			
Модем						
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6		4,8; 9,6; 19,2			
Интерфейсы	последовательный, RS-232/485		последовательный, RS-232/422/485			
Антенна	PL-259		TNC («мама») — прием/передача, SMA («мама») — прием (для дуплексных моделей)			
Индикация	питание, перегрузка I, перегрузка U, прием/передача, RSSI, подключение к антенне		питание, состояние, подключение к сети, работа сети, прием/передача, RSSI, температура			
Вид модуляции	GMSK		2FSK			



динах собственных головы и хвоста, а также об исправности поездных устройств.

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

По принципу действия система передачи информации между поездами и диспетчерскими пунктами по радиоканалу должна быть непрерывно функционирующей: отсутствие информации о параметрах впереди идущего поезда в течение заданного периода 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 в одно лицо» составом до 10 вагонов метро, повышая надежность и безопасность движения в метрополитене.

Система «Витязь» — принципиально новая система, интегрирующая в единую многопроцессорную сеть все локальные системы управления оборудованием поездов метрополитена. 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;
- 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 «черный ящик»).

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 поездом.

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.

В период с апреля 2009 по декабрь 2010 года были успешно проведены предварительные и демонстрационные испытания оборудования

конвенциональной радиосети обмена данными на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 в Московском метрополитене с целью определения возможности его использования в составе комплексной системы управления метрополитена 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, обрабатывались 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.

По результатам испытаний оборудование конвенциональной радиосети не оказывает влияния на действующие технические средства метрополитена и обеспечивает гарантированный обмен информацией между поездной системой управления и стационарным оборудованием. ■

Продолжение следует

² Медуницин Н. Б., Малинин О. В. Автоматизированная система управления, диагностики и безопасности движения вагонов метро нового поколения «Витязь». Жуковский, ГП НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова, 2006.