

Радиосети перспективных автоматизированных систем управления поездами

В статье рассматриваются вопросы создания и использования узкополосных технологических радиосетей обмена данными диапазона ультракоротких волн (УКВ) в интересах функционирования перспективных автоматизированных систем управления (АСУ) поездами, создаваемых в США и Европе в рамках целевых программ РТС (Positive Train Control — «точное управление поездом») и СВТС (Communications Based Train Control — «управление поездом на основе радиосвязи»). Представлена информация о современных специализированных технических средствах связи и передачи данных, созданных и эксплуатируемых за рубежом для обеспечения работы таких АСУ. Затрагиваются отдельные аспекты разработки аналогичных отечественных систем. Статья рассчитана на технических специалистов в области автоматизированных систем управления и сбора данных на ж/д транспорте.

Сергей Маргарян

Последовательное развитие подвижного состава и ж/д инфраструктуры в условиях возросшей интенсивности перевозок ж/д транспортом обусловило необходимость коренного пересмотра применяемых в настоящее время способов управления движением поездов с учетом обеспечения необходимого уровня безопасности. В связи с этим за рубежом были разработаны и приняты целевые программы, предусматривающие внедрение современных методов управления движением, использующих последние достижения в области микропроцессорной техники, средств навигации и радиосвязи.

В США такая программа получила наименование РТС. Она предусматривает реализацию интегрированной автоматизированной системы управления (АСУ) поездом, обеспечивающей автоматическое снижение скорости или его остановку с целью исключения столкновения, схода по причине превышения допустимой скорости движения, несанкционированного входа в зону проведения путевых работ и взреза стрелки. Система должна быть развернута на железнодорожных путях общей протяженностью около 96 тыс. км к концу 2015 г. При этом предполагается оснащение средствами создаваемой системы 22 тыс. локомотивов и 36 тыс. устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Обеспечивающая функционирование системы радиосеть должна включать в себя 4200 базовых станций (БС) и 55 700 радиомодемов для подвижного состава и ЖАТ [1].

Создание перспективной системы управления движением в Европе ведется в рамках программы СВТС, 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 (ДУ), поездами и ЖАТ. Программа предусматривает возможность организации движения поездов в автоматическом режиме без участия машиниста в процессе управления поездом на перегонах или на всем участке движения.

Обе системы предполагают использование автоматизированного обмена данными между пунктом ДУ, поездами и устройствами ЖАТ по беспроводным каналам связи.

Беспроводная связь для перспективных автоматизированных систем управления движением поездов

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

- пункт диспетчерского управления— локомотив;
- депо— локомотив;
- локомотив—ЖАТ.



Рис. 1. Внешний вид бортового радиомодема ITC 220

Каждое из направлений передачи данных 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 (National Transportation Safety Board, NTSB) была проведена серия исследований с целью определения эффективности различных видов беспроводной связи, позволяющих удовлетворить требования, предъявляемые перспективными АСУ поездами. В ходе исследований рассматривались следующие виды радиосвязи:

- сотовая сеть связи (диапазон 900/1800 МГц);
- радиосеть Wi-Fi (диапазон СВЧ 2,4 и 5 ГГц);
- спутниковые каналы связи (диапазон СВЧ 1,6 ГГц);
- технологическая радиосеть УКВ (диапазон УВЧ 150–220 МГц);
- технологическая радиосеть УКВ (диапазон ОВЧ — очень высоких частот — 380–490 МГц).

Сравнение производилось с учетом следующих основных 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 в таблице 1.

Таким образом, по заявленным критериям наиболее эффективным средством беспроводной связи для перспективных АСУ поездами 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

Таблица 1. Результаты оценки эффективности использования различных видов связи в интересах перспективных автоматизированных систем управления поездами

Вид связи	Направление передачи данных		
	ЖАТ-поезд	Дело-поезд	Пункт управления-поезд
Сотовая связь	неудовлетворительно	хорошо	неудовлетворительно
Радиосеть Wi-Fi	удовлетворительно	хорошо	неудовлетворительно
Спутниковая связь	неудовлетворительно	неудовлетворительно	удовлетворительно
Технологическая радиосеть УВЧ	удовлетворительно	удовлетворительно	неудовлетворительно
Технологическая радиосеть ОВЧ	хорошо	хорошо	хорошо

Таблица 2. Основные технические характеристики бортового радиомодема ITC 220

Параметры	ITC 220	
Диапазон рабочих частот, МГц	217,5–222	
Шаг сетки радиочастот, кГц	25	
Масса, кг	10	
Скорость обмена данными, кбит/с	16,32	
Диапазон температур, °С	рабочих	–40...+70
	хранения	–55...+85
Влажность, %	0–95, без образования конденсата	
Рабочее напряжение, В	45–100, постоянный ток (120 – максимально допустимое кратковременное)	
Потребляемый ток, А	передача	4 (пиковый), 1,8 (номинальный)
	прием	0,5 (максимальный)
Светодиодный индикатор	работоспособность, диагностика состояния (на передней панели)	
Антенна	две N-типа (F), приемопередающая и приемная	
Ethernet	два порта 10/100Base-T разъем M12-8(F), информационный и настроечный	
Последовательный	два USB тип A(F)	
Модуль интерфейса настройки	карта SD	
Соответствие стандартам	FCC часть 2, 15 и 90 (США), SRSP-512 (Канада)	
Передатчик		
Выходная мощность, Вт	15–50, программно-регулируемая	
Вид модуляции	4DQPSK	
Тип излучения	8K90DXW (16 кбит/с), 17K90DXW (32 кбит/с)	
Внеполосные излучения, дБм	–25, максимально	
Занимаемая полоса	пять объединенных каналов, соответствует 47CFR90.210(f)	
Максимальный рабочий цикл, %	30	
Приемник		
Максимальная чувствительность, статическая BER <10 ⁻⁴ , дБм	–111 (16 кбит/с), –108 (32 кбит/с)	
Избирательность по соседнему каналу, дБ	70	
Подавление зеркального канала, дБ	70	
Подавление эффекта интермодуляции, дБ	65	
Количество одновременно принимаемых каналов	16 (восемь парных, включая семь 16 кбит/с и 16/32 кбит/с, с автоматической настройкой)	

без оформления отдельных решений ГКРЧ» разрешено использование полос радиочастот 146–148/149,9–162,7625/163,2–168,5 МГц.

Специализированная радиотехническая платформа ITC 220

Радиотехническая платформа ITC 220 создана в рамках программы РТС для использования на железных дорогах США. В настоящее время она является самой современной (разработка завершена в конце 2011 г.) и, фактически, единственной платформой с техническими характеристиками, полностью удовлетворяющими требованиям АСУ поездами. Она оптимизирована для ж/д приложений, связанных с управлением и обеспечением безопасности движения. В состав платформы входят:

- бортовой радиомодем для подключения локомотивов;
- стационарный радиомодем для подключения устройств ЖАТ;
- базовый радиомодем (базовая станция, БС).

В составе оборудования применяется многоканальный приемопередатчик, разработанный с использованием технологии SDR (Software Defined Radio — «программно-определяемое радио»¹), который обеспечивает пакетный обмен данными в составе единой радиосети для всех подключенных к ней бортовых и стационарных устройств. Все оборудование предназначено для эксплуатации в условиях, характерных для ж/д.

Бортовой радиомодем обеспечивает обмен данными локомотивной бригады и бортовой автоматики с пунктом ДУ и депо, а также прием данных от устройств ж/д автоматики и телемеханики напрямую или через БС.

Внешний вид бортового радиомодема ITC 220 представлен на рис. 1.

Основные технические характеристики бортового радиомодема ITC 220 представлены в таблице 2.

¹ Программно-определяемое радио (Software-defined radio, SDR) — радиотелекоммуникационная система, которая может быть настроена на произвольную полосу частот и принимать различные виды модулированного сигнала и состоящая из программируемого оборудования с программным управлением.

Таблица 3. Основные технические характеристики стационарного радиомодема ИТС 220

Общие характеристики		Стационарный радиомодем ИТС 220
Диапазон рабочих частот, МГц		217,5–222,0
Шаг сетки радиочастот, кГц		25
Масса, кг		3,5
Скорость обмена данными, кбит/с		16, 32
Диапазон рабочих температур, °С		–40...+70 (хранение –55...+85)
Влажность, %		0–95, без образования конденсата
Рабочее напряжение, В		10,9–15,5, постоянный ток (17 – максимально допустимое кратковременное)
Потребляемый ток, А	передача	10 (пиковый), 7,5 (номинальный)
	прием	1 (максимальный)
Светодиодный индикатор		работоспособность, диагностика состояния (на передней панели)
Антенна		две N-типа (F), приемопередающая и приемная
Антенна GPS		активная или пассивная, 3,3 В, 50 мА, TNC(F)
Ethernet		два порта 10/100Base-T разъем RJ45, информационный и настроечный
Модуль интерфейса настройки		карта SD
Соответствие стандартам		FCC часть 2, 15 и 90 (США); SRSP-512 (Канада)
Передатчик		
Выходная мощность, Вт		7,5–25, программно-регулируемая
Вид модуляции		4QPSK
Тип излучения		8K90DXW (16 кбит/с), 17K90DXW (32 кбит/с)
Внеполосные излучения, дБм		–25, максимально
Занимаемая полоса		пять объединенных каналов, соответствует 47CFR90.210(f)
Максимальный рабочий цикл, %		10
Приемник		
Максимальная чувствительность, статическая BER <10 ⁻⁴ , дБм		–111 (16 кбит/с), –108 (32 кбит/с)
Избирательность по соседнему каналу, дБ		70
Подавление зеркального канала, дБ		70
Подавление эффекта интермодуляции, дБ		65
Количество одновременно принимаемых каналов		два (16 кбит /с и 16/32 кбит /с, с автоматической настройкой)

Таблица 4. Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ИТС 220

Общие характеристики		Базовый радиомодем ИТС 220
Диапазон рабочих частот, МГц		217,5–222
Шаг сетки радиочастот, кГц		25
Масса, кг		20
Скорость обмена данными, кбит/с		16, 32
Диапазон рабочих температур, °С		–40...+70 (хранение –55...+85)
Влажность, %		0–95, без образования конденсата
Рабочее напряжение, В		42–54 постоянный ток (60 – максимально допустимое кратковременное); 21–27 постоянный ток (30 – максимально допустимое кратковременное)
Потребляемый ток, А	передача	48 В: 6 (пиковый), 4 (номинальный); 24 В: 11 (пиковый), 7,5 (номинальный)
	прием	48 В: 0,6 (максимальный); 24 В: 1,2 А (максимальный)
Светодиодный индикатор		работоспособность, диагностика состояния (на передней панели)
Антенна		три N-типа (F), приемопередающая и две приемные
Антенна GPS		активная или пассивная, 3,3 В, 50 мА, TNC(F)
Ethernet		два порта 10/100Base-T разъем RJ45, информационный и настроечный
Модуль интерфейса настройки		карта SD
Соответствие стандартам		FCC часть 2, 15 и 90 (США); SRSP-512 (Канада)
Передатчик		
Выходная мощность, Вт		10–75, программно-регулируемая
Вид модуляции		4QPSK
Тип излучения		8K90DXW (16 кбит/с), 17K90DXW (32 кбит/с)
Внеполосные излучения, дБм		–25, максимально
Занимаемая полоса		Пять объединенных каналов, соответствует 47CFR90.210(f)
Максимальный рабочий цикл, %		50
Приемник		
Максимальная чувствительность, статическая BER <10 ⁻⁴ , дБм		–111 (16 кбит/с), –108 (32 кбит/с)
Избирательность по соседнему каналу, дБ		70
Подавление зеркального канала, дБ		70
Подавление эффекта интермодуляции, дБ		65
Количество одновременно принимаемых каналов		16 (восемь парных, включая семь 16 кбит/с и 16/32 кбит/с, с автоматической настройкой)



Рис. 2. Внешний вид стационарного радиомодема ИТС 220

Стационарный радиомодем ИТС 220 обеспечивает обмен данными устройств ж/д автоматики и телемеханики с системой управления движением, а также передачу данных от устройств ЖАТ на борт локомотива напрямую или через БС. Внешний вид стационарного радиомодема ИТС 220 представлен на рис. 2.

Основные технические характеристики стационарного радиомодема ИТС 220 представлены в таблице 3.

Радиомодем базовой станции ИТС 220 обеспечивает обмен данными между поездным диспетчером и локомотивной бригадой, а также между устройствами управления, бортовой и железнодорожной автоматики и телемеханики. Подключается к пункту управления по выделенным каналам проводной или беспроводной связи на скоростях от 56 кбит/с до 1 Мбит/с. Внешний вид радиомодема базовой станции ИТС 220 представлен на рис. 3.

Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ИТС 220 представлены в таблице 4.

Обмен данными в радиосети, построенной с использованием радиотехнической платформы ИТС 220, производится с использованием специализированного протокола ИТСnet (Interoperable Train Control network).

Построение технологической радиосети обмена данными для перспективных автоматизированных систем управления поездами

Технологическая радиосеть обмена данными на базе радиотехнической платформы ИТС 220 обеспечивает обмен данными между всеми подключенными к ней пользователями, включая:

- локальная вычислительная сеть (ЛВС) пункта диспетчерского управления;
- ЛВС депо;
- терминал локомотивной бригады;
- устройства ЖАТ.

Данные от устройств ЖАТ могут передаваться на борт локомотива как напрямую,



Рис. 3. Внешний вид радиомодема базовой станции ИТС 220

так и через базовую станцию, в зависимости от удаления и условий приема сигнала. Радиус действия каждой базовой станции составляет 30–45 км (антенны базовых станций подвешиваются на высоте 32 м), номинальная дальность прямой связи между локомотивом и устройством ЖАТ составляет 5 км.

Упрощенная схема радиосети представлена на рис. 4.

Данная схема предусматривает обеспечение необходимого уровня надежности за счет полного взаимного перекрытия зон электромагнитной доступности соседних базовых станций, использования многоканальных базовых станций с резервированием комплектов радиотехнического оборудования, реализацией функции автоматического выбора рабочей частоты с удовлетворительными параметрами сигнала и автоматического распределения нагрузки между соседними базовыми станциями. Радиотехническая аппаратура использует помехоустойчивое кодирование и специализированный протокол обмена данными, обеспечивающий гарантированную доставку сообщений с заданной задержкой.

В настоящее время автоматизированная система управления поездами на базе радиотехнической платформы ИТС 220 частично введена в промышленную эксплуатацию на железнодорожной сети трансконтинентальной

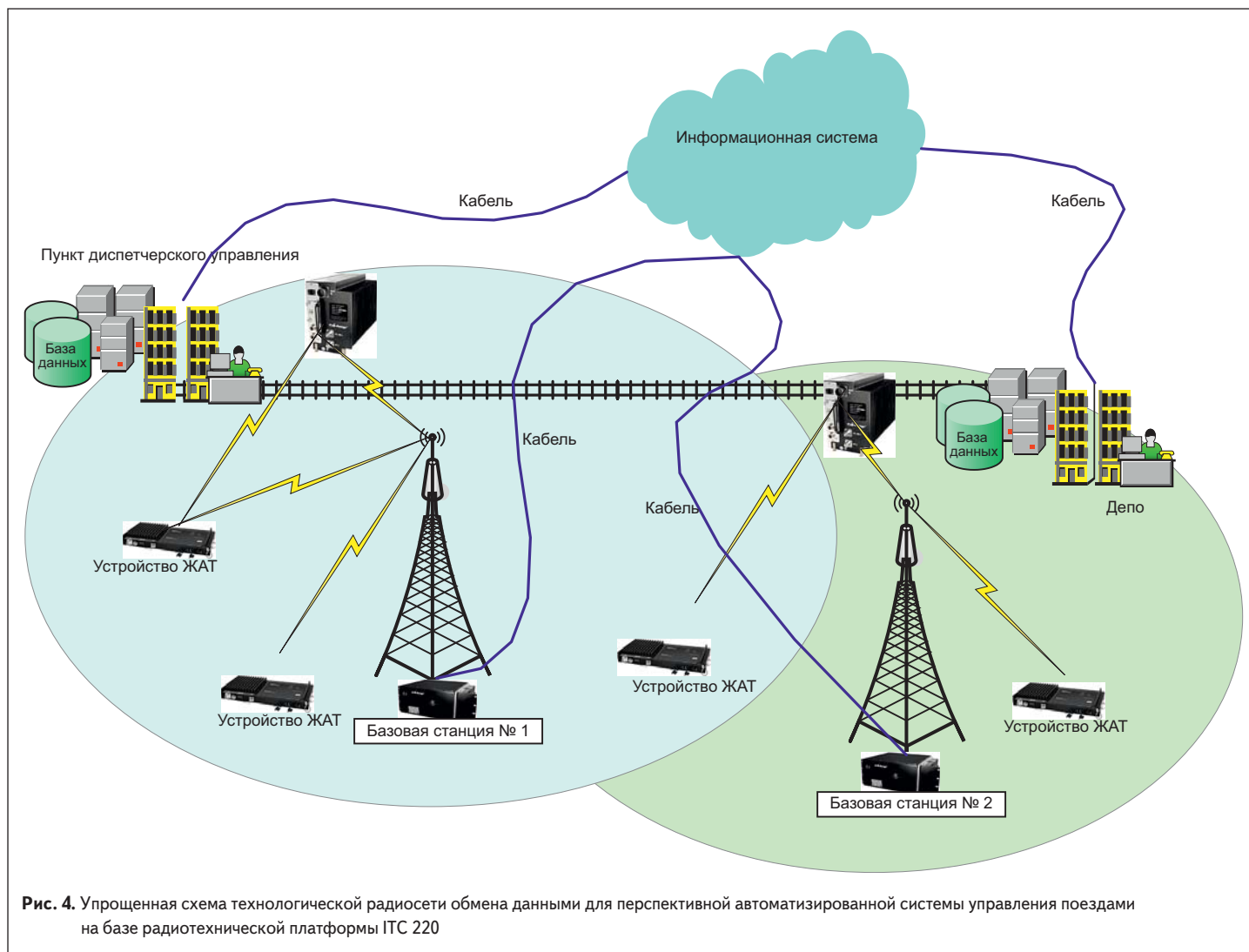
железнодорожной «БНСФ Рэйлвей» (США). «БНСФ Рэйлвей» (BNSF Railway) — вторая по величине после «Юнион Пасифик» трансконтинентальная железная дорога Северной Америки. Образована в декабре 1996 г. как «Берлингтон Нозерн и Санта-Фе» в результате слияния железных дорог «Берлингтон Нозерн» и «Атчисон, Топика и Санта-Фе». В 2005 г. переименована в «БНСФ Рэйлвей», по первым буквам прежнего названия. «БНСФ» имеет железнодорожную сеть общей протяженностью 52,3 тыс. км, проходящую по территории 28 штатов центра и Западного побережья США и частично заходящую в Канаду. В настоящее время компания располагает парком в 7000 локомотивов.

Некоторые результаты разработок перспективной автоматизированной системы управления поездами метро в РФ

Разработка перспективных автоматизированных систем управления поездами ведется рядом отечественных организаций и предприятий. В частности, специалистами ОАО «НИИ Приборостроения им В. В. Тихомирова» (г. Жуковский) в составе действующей кооперации на базе системы управления, технической диагностики и безопасности движения поездов

метро «Витязь» осуществляется разработка перспективной автоматизированной системы управления поездами метро. Создаваемая АСУ должна обеспечивать решение следующих функциональных задач:

- Управление движением поезда в автоматическом режиме с выполнением графика движения — роль машиниста в этом режиме либо полностью отсутствует, либо ограничивается управлением дверями и отправлением поезда от станции.
- Обеспечение безопасности движения поездов путем постоянного контроля скорости поезда и ее автоматического снижения при превышении допустимого предела.
- Непрерывное определение местоположения поезда на линии и в депо.
- Сбор данных о функционировании инфраструктуры, подвижного состава и работе персонала, включая данные о текущем состоянии, режимах функционирования и параметрах движения, отклонениях в графиках и сбоях в работе, и их передача по каналам связи в пункт диспетчерского управления.
- Оперативный анализ полученных данных в пункте диспетчерского управления и подготовка вариантов решений и рекомендаций по управлению движением поездов в повседневной обстановке и аварийных ситуациях.



- Передача управляющих сигналов из пункта диспетчерского управления в адрес поездных и стационарных систем управления по каналам связи и контроль их исполнения.
- Оповещение пассажиров, а также трансляция по радиосети сигналов тревог в аварийных ситуациях.
- Накопление полученных данных в интересах проведения статистического анализа и подготовки рекомендаций по оптимизации организации движения и графиков движения с учетом реальных параметров инфраструктуры, подвижного состава и пассажиропотоков.

В отличие от аналогичных зарубежных систем, ориентированных на использование одного вида связи, в составе рассматриваемой АСУ предполагается развернуть комплексную интегрированную систему подвижной радиосвязи повышенной надежности и живучести, функционирующую в диапазонах УКВ и СВЧ. Данная радиосеть должна обеспечить обмен данными между стационарными объектами инфраструктуры метрополитена, поездами метро и устройствами ЖАТ в интересах формирования единой самонастраивающейся информационной среды, функционирующей с использованием IP-протокола. Она должна иметь в своем составе несколько функциональных радиосетей, использующих различные радиочастотные диапазоны и обеспечивающих обмен данными на различных скоростях. Образующие интегрированную систему радиосвязи радиосети являются взаимозависимыми и используют единый протокол обмена данными.

Основная радиосеть (ОРС) предназначена для организации обмена данными между поездами и диспетчерами, а также поездов метро между собой на всей железнодорожной сети линии метро, включая депо, станции и перегоны. ОРС предусматривает централизованное управление, обмен данными должен быть организован через базовые станции, взаимодействующие между собой в единой радиосети. Комплекты аппаратуры БС предполагается устанавливать на станциях метро с целью обеспечения связи с использованием радиоизлучающего кабеля в обоих тоннелях в двух направлениях (по четыре фидерных устройства на каждую БС). Поездной радиомодем использует технологию SDR и имеет в своем составе 32-канальный приемопередатчик. Технические возможности ОРС должны позволить ее использование для обеспечения автоматического ведения поездов метро, а также оперативно-диспетчерского управления. Устройства

ОРС являются основными для передачи сигналов оповещения в чрезвычайных ситуациях.

Резервная радиосеть (РРС) предназначена для организации обмена данными между поездами метро при опасном сближении. В процессе работы каждый радиомодем РРС функционирует в режиме поиска других радиомодемов на заданной частоте. При обнаружении радиомодемы автоматически обмениваются телеметрической информацией о параметрах движения поездов, на которых они установлены. Полученные данные используются поездной системой управления для регулирования скорости движения или экстренного торможения. Кроме того, каналы РРС могут использоваться в качестве резервных в системе сигнализации, централизации и блокировки для управления устройствами ЖАТ и удаленной диагностики их технического состояния.

Технологическая радиосеть (ТРС) обеспечивает автоматическое подключение подвижных объектов в заданных точках доступа. Размер оперативной зоны каждой точки доступа, устанавливаемой на станциях метро и в депо, составляет до 300 м. ТРС функционирует в автоматическом режиме. Она обеспечивает передачу на борт вошедшего в зону действия точки доступа поезда метро технологической информации в отложенном режиме, а также прием с бортового оборудования ранее накопленных данных. Работа производится в диапазоне СВЧ (2,4 ГГц) на скорости до 54 Мбит/с через точки доступа, подключенные к единой информационной системе. Радиосеть используется в интересах организации движения по заданному расписанию, информационного обеспечения перевозочного процесса, а также сбора объективных данных о функционировании подсистем и агрегатов поездов метро с целью организации обслуживания и ремонта по реальному техническому состоянию. Данные с бортовых регистраторов автоматически сбрасываются в соответствующие базы данных при возвращении поездов в депо либо на заданных станциях метрополитена. Каналы ТРС будут интенсивно использоваться при испытаниях и развертывании новых программно-технических средств на борту поездов метро, а также при сопровождении автоматизированных систем различного назначения в период их эксплуатации в интересах сбора телеметрической и служебной информации.

С целью повышения надежности и контроля функционирования системы подвижной радиосвязи используются специальные программные средства мониторинга и контроля технического

состояния радиомодемов — система контроля радиосети (СКР). Выполняется автоматический сбор, обработка по заданным алгоритмам в оперативном режиме и отображение данных о состоянии радиосети с привязкой ко времени. Данные о техническом состоянии аппаратуры содержат следующие данные:

- идентификационный номер устройства;
- температура внутри корпуса;
- напряжение питания;
- уровень сигнала, принимаемого БС радиосети;
- излучаемая мощность передатчика;
- мощность обратной волны.

Система контроля радиосети позволит повысить ее надежность и живучесть за счет превентивного выявления возможных сбоев в работе и аварий, сокращения сроков ликвидации их последствий и непрерывного контроля технического состояния радиотехнического оборудования в масштабе времени, близком к реальному.

Таким образом, в настоящее время в рамках целевых программ по созданию перспективных автоматизированных систем управления поездами выполнены разработки современных беспроводных средств обмена данными по технологии SDR, предназначенных для обеспечения функционирования этих АСУ. Разработанное и серийно выпускаемое радиотехническое оборудование данного типа позволяет развивать технологические радиосети обмена данными, включая радиосети повышенной надежности и живучести, полностью удовлетворяющие требованиям, предъявляемым АСУ поездами. Выполненные отечественными разработчиками проекты в области АСУ поездами сформировали основу для создания таких систем на территории РФ. ■

Литература

1. Сайт Ассоциации американских железных дорог www.aar.org/safety/Pages/Positive-Train-Control.aspx.
2. Доклад на конференции Национального совета по безопасности на транспорте США. 2005.
3. Сайт американской компании CalAmp www.calamp.com/products/licensedandunlicensed/mobile-networks/itc-radios.
4. Журнал Progressive railroading www.progressiverailroading.com/ptc/article/PTC-Railroads-suppliers-still-have-a-ways-to-go-to-meet-the-2015-positive-train-control-mandate-24053.