

Радиосети перспективных автоматизированных систем управления поездами

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящей 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 PTC (Positive Train Control — точное управление поездом) и CBTC (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 вышеуказанных АСУ. Затронуты отдельные аспекты разработки аналогичных отечественных систем. Статья рассчитана на технических специалистов в области автоматизированных систем управления и сбора данных на железнодорожном транспорте.

1. Введение

Последовательное развитие подвижного состава и железнодорожной инфраструктуры в условиях возросшей интенсивности перевозок железнодорожным транспортом обусловили 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 PTC. Она предусматривает реализацию интегрированной автоматизированной системы управления поездом, обеспечивающую 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 года. 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 55700 радиомодемов для подвижного состава и ЖАТ¹.

Создание перспективной системы управления движением в Европе ведется в рамках программы CBTC, 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 предусматривает возможность организации движения поездов в автоматическом режиме без участия машиниста в процессе управления поездом на перегонах или на всем участке движения.

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

2. Беспроводная связь для перспективных автоматизированных систем управления движением поездов

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

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

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 надёжности 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 поездами. В ходе исследований рассматривались следующие виды 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);
- технологическая радиосеть УКВ (диапазон УВЧ — ультравысоких частот, 150-220 МГц);
- технологическая радиосеть УКВ (диапазон ОВЧ — очень высоких частот, 380-490 МГц);
- Сравнение производилось с учетом следующих основных технических требований:
- надёжность связи в движении и во время стоянки;
- надёжность доставки данных;
- дальность связи;
- задержка при получении данных;
- скорость обмена данными/пропускная способность.

Результаты исследования представлены в Таблице 1².

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

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

Таким образом, по заявленным критериям, наиболее эффективным средством беспроводной связи для перспективных автоматизированных систем управления 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 без оформления отдельных решений ГКРЧ» разрешено использование полос радиочастот 146-148 МГц, 149,9-162,7625 МГц и 163,2-168,5 МГц.

3. Специализированная радиотехническая платформа ИТС 2203

Радиотехническая платформа ИТС 220 создана в рамках программы РТС для использования на железных дорогах США. В настоящее время она является самой современной (разработка завершена в конце 2011 года) и фактически единственной платформой с техническими характеристиками, полностью удовлетворяющими требованиям АСУ поездами. Она оптимизирована для железнодорожных 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).

В составе оборудования применяется многоканальный приемопередатчик, разработанный с использованием технологии SDR (Software Defined Radio — программно-определяемое радио⁴), 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 железнодорожной дороги.

Бортовой радиомодем обеспечивает обмен данными локомотивной бригады и бортовой автоматики с пунктом диспетчерского управления и депо, а также приём данных от устройств железнодорожной автоматики и телемеханики напрямую или через БС.

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



1. Внешний вид бортового радиомодема ИТС 220.

Основные технические характеристики бортового радиомодема ИТС 220 представлены в Таблице 2.

2. Основные технические характеристики бортового радиомодема ИТС 220.

Общие характеристики	Бортовой радиомодем ИТС 220
Диапазон рабочих частот, МГц	217,5-222,0
Шаг сетки радиочастот, кГц	25
Масса, кг	10
Скорость обмена данными, кбит/с	16, 32
Диапазон рабочих температур, град. С	от -40 до 70 (хранение от -55 до 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)
- приём	0,5 (максимальный)
Светодиодный индикатор	работоспособность, диагностика состояния (на передней панели)
Антенна	два 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	США: FCC часть 2, 15 и 90; Канада: SRSP-512
Передатчик	
Выходная мощность, Вт	15-50, программно-регулируемая
Вид модуляции	4DQPSK

Общие характеристики	Бортовой радиомодем ИТС 220
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)

Стационарный радиомодем ИТС 220 обеспечивает обмен данными устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с системой управления движением, а также передачу данных от устройств ЖАТ на борт локомотива напрямую или через базовую станцию.

Внешний вид стационарного радиомодема ИТС 220 представлен на рис. 2.



2. Внешний вид стационарного радиомодема ИТС 220.

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

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, град. С	от -40 до 70 (хранение от -55 до 85)
Влажность, %	0-95, без образования конденсата
Рабочее напряжение, В	10,9-15,5, постоянный ток (17 – максимально допустимое кратковременное)

Общие характеристики	Стационарный радиомодем ИТС 220
Потребляемый ток, А:	
- передача	10 (пиковый), 7,5 (номинальный)
- приём	1 (максимальный)
Светодиодный индикатор	работоспособность, диагностика состояния (на передней панели)
Антенна	два 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	США: FCC часть 2, 15 и 90; Канада: SRSP-512
Передатчик	
Выходная мощность, Вт	7,5-25, 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, %	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)

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.



3. Внешний вид радиомодема базовой станции ITC 220.

Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ITC 220 представлены в Таблице 4.

4. Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ITC 220.

Общие характеристики	Базовый радиомодем ITC 220
Диапазон рабочих частот, МГц	217,5-222,0
Шаг сетки радиочастот, кГц	25
Масса, кг	20
Скорость обмена данными, кбит/с	16, 32
Диапазон рабочих температур, град. С	от -40 до 70 (хранение от -55 до 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)
- приём	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 приемных
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

Общие характеристики	Базовый радиомодем ITC 220
Соответствие стандартам	США: FCC часть 2, 15 и 90; Канада: SRSP-512
Передатчик	
Выходная мощность, Вт	10-75, 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, %	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)

Обмен данным в радиосети, построенной с использованием радиотехнической платформы ITC 220, производится с использованием специализированного протокола ITCnet (Interoperable Train Control network).

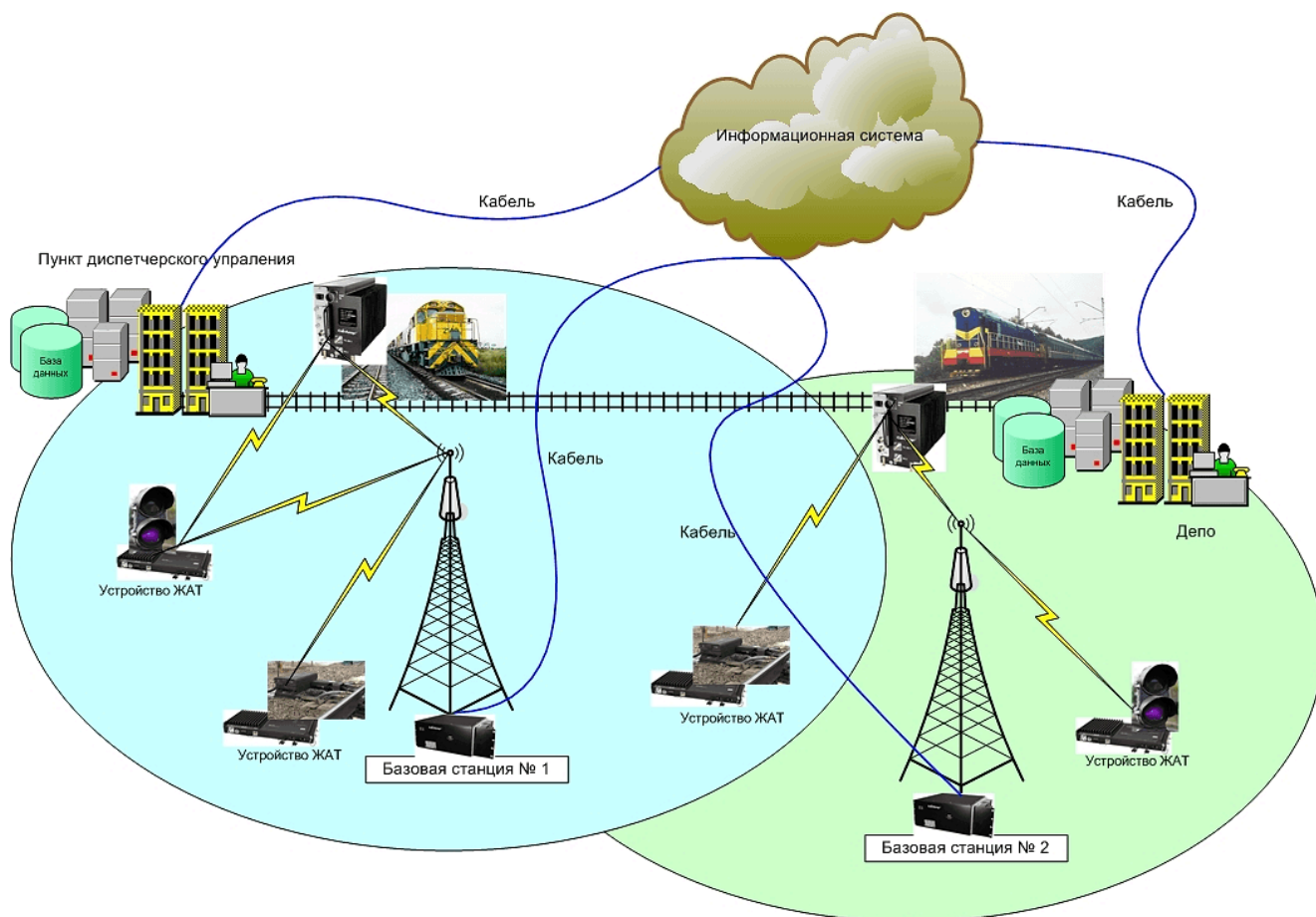
4. Построение технологической радиосети обмена данными для перспективных автоматизированных систем управления поездами

Технологическая радиосеть обмена данными на базе радиотехнической платформы ITC 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, так и через базовую станцию, в зависимости от удаления и условий приёма сигнала. Радиус действия каждой базовой станции составляет 30-45 км (антенны базовых станций подвешиваются на высоте 32 метра), номинальная дальность прямой связи между локомотивом и устройством ЖАТ составляет 5 км.

Упрощенная схема радиосети представлена на рис. 4.



4. Упрощенная схема технологической радиосети обмена данными для перспективной автоматизированной системы управления поездами на базе радиотехнической платформы ИТС 220.

Данная схема предусматривает обеспечение необходимого уровня надёжности 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 железной дороги «БНСФ Рэйлвей» (США)⁵. «БНСФ Рэйлвей» ([англ. BNSF Railway](#)) – вторая по величине после «[Юнион Пасифик](#)» трансконтинентальная [железная дорога Северной Америки](#). Образована в декабре [1996 году](#) как «Берлингтон Нозерн и Санта-Фе» в результате слияния железных дорог «Берлингтон Нозерн» и «Атчисон, Топика и Санта-Фе». В [2005 году](#) переименована в «БНСФ Рэйлвей», по первым буквам прежнего названия. БНСФ имеет железнодорожную сеть общей протяжённостью 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](#).

5. Некоторые результаты разработок перспективной автоматизированной системы управления поездами метро в Российской Федерации

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 надёжности 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 данной радиосети 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 метров. 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 приём 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 надёжности 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:

- идентификационный номер устройства;
- температура внутри корпуса;

- напряжение питания;
- уровень сигнала, принимаемого базовой станцией радиосети;
- излучаемая мощность передатчика;
- мощность обратной волны.

Система контроля радиосети позволит повысить ее надёжность 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 разворачивать технологические радиосети обмена данными, включая радиосети повышенной надёжности и живучести, полностью удовлетворяющие требованиям, предъявляемым АСУ поездами. Выполненные отечественными разработчиками проекты в области АСУ поездами сформировали основу для создания таких систем на территории Российской Федерации.

Сноски

1. Сайт Ассоциации американских железных дорог, <https://www.aar.org/safety/Pages/Positive-Train-Control.aspx>. ↩
2. Доклад на конференции Национального совета по безопасности на транспорте США, 2 марта 2005 года; ↩
3. Сайт американской компании CalAmp, <http://www.calamp.com/products/licensedandunlicensed/mobile-networks/itc-radios> ↩
4. **Программно-определяемое радио** ([англ.](#) *Software-defined radio, SDR*) — радио-телекоммуникационная система, которая может быть настроена на произвольную [полосу частот](#) и принимать различные виды [модулированного сигнала](#), состоящая из [программируемого оборудования](#) с [программным управлением](#). ↩
5. Журнал Progressive railroading, <http://www.progressiverailroading.com/ptc/article/PTC-Railroads-suppliers-still-have-a-ways-to-go-to-meet-the-2015-positive-train-control-mandate--24053> ↩