

## радиосеть управления и сбора данных для железнодорожных приложений

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

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

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

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



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

#### 6.4 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 в себя железнодорожный участок Туапсе — Сочи — Адлер — Альпика-Сервис — Веселое Северо-Кавказской железной дороги, имеющий следующие характеристики:

а. Участок Туапсе — Адлер (исключая):

- протяженность — 105 км;
- количество отдельных пунктов на участке: 14;
- однопутный с двухпутными вставками;
- количество тоннелей: 11;
- электрифицирован по системе постоянного тока  $U_H=3$  кВ;

б. Участок Адлер (исключая) — Альпика-Сервис:

- протяженность — 41,5 км;
- количество отдельных пунктов: 6;
- однопутный с двухпутными вставками;
- количество тоннелей на участке проектирования: 6;
- электрифицирован по системе переменного тока  $U_H=25$  кВ;

в. Участок Адлер — Веселое:

- протяженность — 7 км;
- количество отдельных пунктов: 3;
- двухпутный;
- электрифицирован по системе постоянного тока  $U_H=3$  кВ;

г. Участок Адлер (исключая) — Аэропорт Сочи:

- протяженность — 2,7 км;
- количество отдельных пунктов: 1;
- однопутный;
- количество тоннелей: 2;

- электрифицирован по системе постоянного тока  $U_H=3$  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 километра, 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 10000 подключаемых пользователей, значительную часть из которых представляют собой абоненты, работающие в голосовом режиме. В составе радиосети работает 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) в г. Москве. Общая протяженность МЦК составляет 54 км. В составе системы развернуто и эксплуатируется 22 базовых станции. Средняя плотность базовых станций составляет одна БС на 2,45 километра. В качестве резервной продолжается использование радиосети УКВ-диапазона.

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 использованием автоматической локомотивной сигнализации как основного средства интервального регулирования с возможностью использования 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.

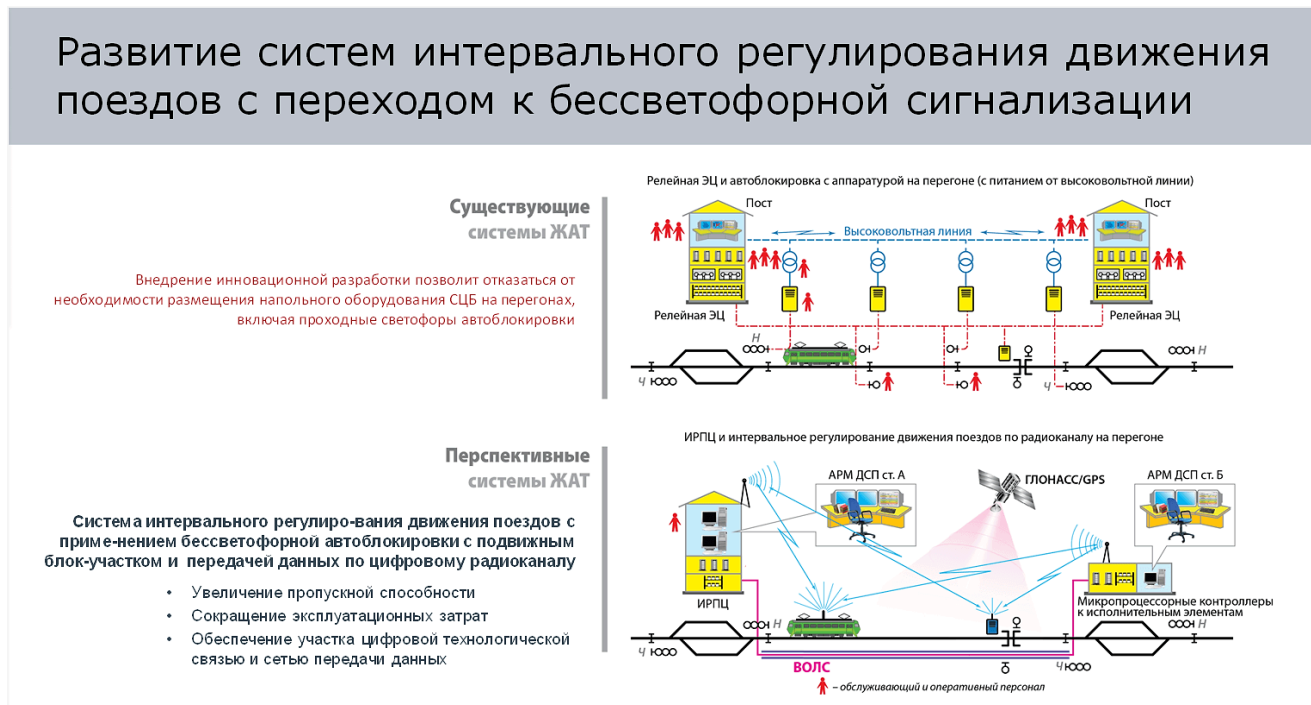
В настоящее время в системе микропроцессорной автоблокировки АБТЦ-М реализовано управление с подвижными блок-участками, обеспечивающая минимальный интервал попутного следования до двух с половиной минут, что соизмеримо с работой метрополитена. Данный класс микропроцессорных систем управления принят в качестве базовой технологии для решения задач интервального регулирования как на интенсивных пассажирских ходах (Московское центральное кольцо), так и при реконструкции участков с интенсивным движением — Транссиб, БАМ, и ВСМ.

Основными функциями системы АБТЦ-М являются:

- 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 ниже.



### 1. Упрощенная схема перспективной системы ИРДП с использованием радиоканала.

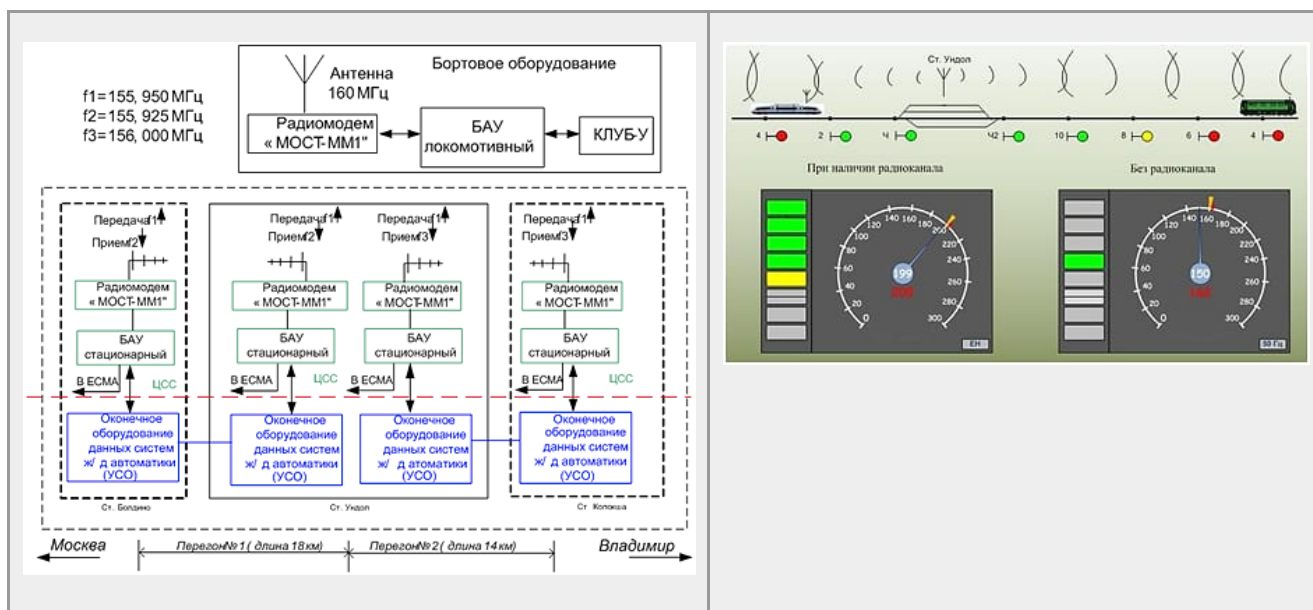
Применение аппаратуры ИРДП в совокупности с устройствами цифрового радиоканала позволяет на действующей инфраструктуре ОАО «РЖД» организовать многозначную автоматическую локомотивную сигнализацию по главным путям как для правильного, так и для неправильного направления движения без установки оборудования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

Комплекс обеспечивает формирование и передачу на подвижной состав следующей информации:

- состояние станционных маршрутов приёма, 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.

Средством передачи информации между станционными и локомотивными устройствами является оборудование цифрового радиоканала, расположенное 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 ниже.



## 2. Предлагаемая для АБТЦ-М схема передачи информации на локомотив по радиоканалу.

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 объём 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 в схема организации связи предусматривает работу радиомодемов на базовых станциях и локомотивах с непрерывным циклом три секунды. Для обеспечения надёжности 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 секунды двумя базовыми станциями должно быть передано в общей сложности не менее 4800 бит (480 байт, где 1 байт = 8 бит 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 больше выходная мощность, тем больше эти временные затраты. Например, в современных специализированных телеметрических радиомодемах время атаки передатчика может составлять до 10 мс, а в обычных радиостанциях — десятки и даже сотни миллисекунд. Освобождение радиоканала потребует вдвое меньше времени. В связи с этим, в рассматриваемом выше варианте двум базовым станциям не хватит выделенной для передачи одной секунды для трансляции и дублирования сообщения в направлении «пункт управления — локомотив» со скоростью 4800 бит/с. Скорость обмена данными в радиосети, обслуживающей работу АБТЦ-М, должна быть выше обеспечиваемой радиомодемом «МОСТ».

При создании систем обмена данными с жесткой синхронизацией кроме времени, необходимого для выполнения процедур связи, необходимо учитывать нестабильность (допуски) заявленных технических параметров работы для индивидуальных устройств. В лучших образцах радиомодемов время атаки отдельных устройств одинаковой модели может отличаться на  $\pm 10\%$ . Таким образом, при расчете радиосети необходимо 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 произвести повторную передачу сообщения в направлении «локомотив — пункт управления» в случае сбоя при доставке первого сообщения, что снижает надёжность 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 надёжность 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 возможность повторной трансляции, существенно ограничив возможности по повышению надёжности 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 от шести до 15 байт. Время от начала загрузки пакета передаваемой информации длиной 8 байт до окончания выдачи пакета информации на приемной стороне составляет до  $115 \text{ мс}^1$ , что не удовлетворяет требованиям АБЦТ-М.

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

#### 7. Сравнительные характеристики радиомодемов УКВ-диапазона

Характеристика	Радиомодем «МОСТ-Л»		Радиомодем Guardian-100/200/400/900		
		ОВЧ	УВЧ	ОВЧ	УВЧ

Характеристика	Радиомодем «МОСТ-Л»		Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
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:						
- приём, 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	от -40 до 60		от -30 до 60			
Температура хранения, °С	от -50 до 70		от -45 до 85			
Влажность, %	не более 80 (при температуре +25°С)		5-95 (без образования конденсата)			
Габаритные размеры, см	22,0 (Ш) x 24,0 (Г) x 9,7 (В)		13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)			
Масса (в упаковке), кг	4,1		1,1			
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс		Симплекс, полудуплекс, дуплекс		Симплекс, полудуплекс	
<b>Приемник</b>						
Чувствительность (вероятность ошибки $1 \times 10^{-6}$ ), дБм:						

Характеристика	Радиомодем «МОСТ-Л»	Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
- 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			
<b>Передачик</b>					
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			
<b>Модем</b>					
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6	4,8; 9,6; 19,2			
Интерфейсы	последовательный, RS-232 (DB9), RS-485	последовательный, RS-232 (DB9)/422 RS-485			
Антенна	PL-259	TNC (мама) – приём/передача, SMA (мама) – приём (для дуплексных моделей)			
Индикация	питание, перегрузка I, перегрузка U, приём/передача, RSSI, подключение к антенне	питание, состояние, подключение к сети, работа сети, приём/передача, RSSI, температура			
Вид модуляции	GMSK	2FSK			

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» (г. Москва) и ЗАО «НПЦ «Промэлектроника» (г. Екатеринбург) проведены натурные испытания радиосети подсистемы управления железнодорожными переездами с использованием радиомодемов Guardian. По результатам испытаний применяемой программное обеспечение системы управления было доработано и полностью подготовлено к работе по радиоканалу.

В 2017 году специалистами ООО «Атомэлектроприбор» (г. Белгород) завершены работы по развертыванию в АО «Лебединский ГОК» (г. Губкин) системы радиоуправления 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 приготовленного маршрута;
- аварийный перевод стрелки при неисправности стрелочной секции;
- установку и замыкание маршрута в нужном направлении;
- аварийное отключение стрелки.

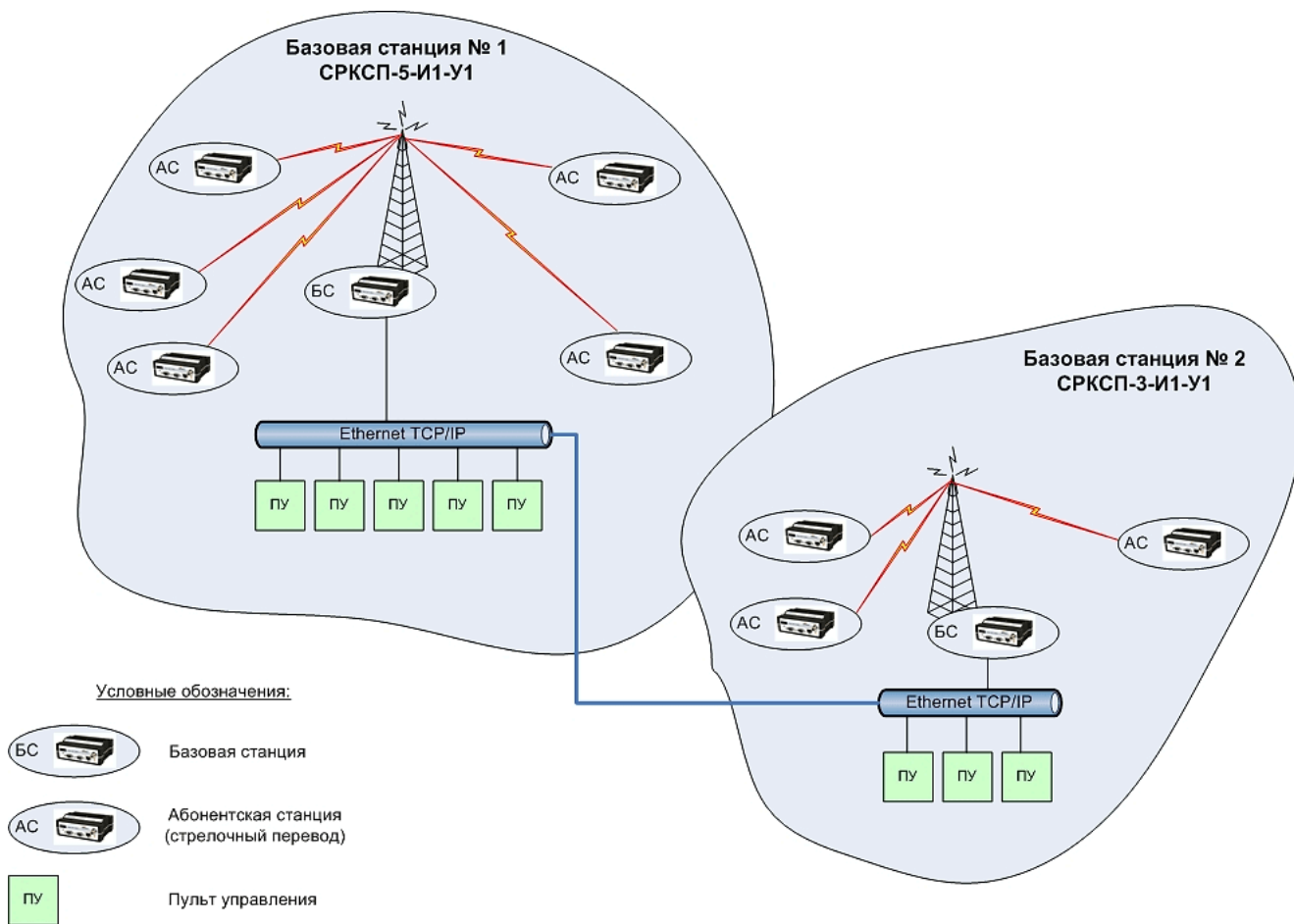
Управление стрелочным переводом с применением цифрового радиоканала производится с использованием маневровой колонки на базе сенсорной панели или из кабины локомотива.

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. 4.



### 3. Общая схема технологической радиосети обмена данными СРКСП.

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 пульта управления операторов и электроприводы стрелочных переводов. Учитывая, что пульта 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 координатах собственных «головы» и «хвоста», а также об исправности поездных устройств.

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

По принципу действия система передачи информации между поездами и диспетчерскими пунктами по радиоканалу должна быть непрерывно действующей: отсутствие информации о параметрах впереди идущего поезда в течение заданного промежутка времени 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»<sup>2</sup>, которая обеспечивает автоматизированное управление в одно лицо составом до 10 вагонов метро, повышая надёжность и безопасность движения в метрополитене.

Система «Витязь» – принципиально новая система, интегрирующая в единую многопроцессорную сеть все локальные системы управления оборудования поездом метрополитена. Ее основными функциями являются:

- 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 надёжности соблюдения графика движения на линии;
- регистрация параметров движения поезда в защищенном накопителе (функции «черного ящика»).

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 года 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, отрабатывались 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 метров 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)

## Сноски

1. Радиостанция 1Р22СВ-2 «Мост». Руководство по эксплуатации. [↩](#)
2. «Автоматизированная система управления, диагностики и безопасности движения вагонов метро нового поколения «Витязь», Медуницын Н.Б., Малинин О.В., ГП НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова, 2006 г., г. Жуковский. [↩](#)