ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4

1 ОПИСАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ.....6

1.1 Техническая оснащенность участка проектирования средствами радиосвязи.....8

1.2 Техническое задание на проектируемую сеть связи.....9

2 ОБЗОР НЕОБХОДИМОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....12

2.1 Выбор базовой станции.....12

2.2 Антенно-фидерные устройства.....15

2.3 Локомотивная радиостанция РЛСМ-10.....16

2.4 Носимая радиостанция Hytera PD-685G.....18

3 РАСЧЕТ ЗОН ПОКРЫТИЯ БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ СВЯЗИ…20

3.1 План построения сети связи.....20

3.2 Методика расчета дальности радиосвязи.....21

3.3 Расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанциями.....22

3.4 Расчет высоты установки стационарной антенны.....23

3.5 Расчет координационного расстояния.....23

3.6 Исходные данные для расчета дальности радиосвязи.....24

3.7 Расчет дальности радиосвязи.....24

3.8 Результаты расчета дальности радиосвязи для участка Павловский Посад- Покров.....27

4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ПРОЕКТИРУЕМОМ УЧАСТКЕ.....30

4.1 Технические требования к структуре построения сети и технические средства поездной радиосвязи..... 30

4.2 Разработка схемы организации ПРС.....32

4.3 Схема организации ПРС на участке Павловский Посад-Покров на основе стандарта DMR. .36

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....39

5.1 Затраты на приобретение оборудования связи.....40

5.2 Расчет капитальных затрат.....40

5.3 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....41

6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....47

6.1 Разработка системы молниезащиты антенны.....47

6.2 Расчет молниезащиты антенны..... 51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....54

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....56

ПРИЛОЖЕНИЯ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БС - базовая станция;

ДФ - дуплексный фильтр;

ЕСМА - Единая система мониторинга и администрирования технологической сети связи ОАО «РЖД»

КВ - короткие волны;

МВ - радиочастотный диапазон метровых волн

МЖД - Московская железная дорога;

МСЭ-Т - Международный союз электросвязи (сектор стандартизации);

ОбТС - общетехнологическая связь

ОТС - оперативно-технологическая связь

ПДС - пульт дежурного диспетчера;

ПДСУ - пульт диспетчера универсальный;

ПРС - поездная радиосвязь;

РВ - радиостанция возимая;

РН - радиостанция носимая;

РМУ - репитер модульный универсальный;

УКВ - ультракороткие волны;

ЧТП - Частотно-территориальный план;

ЭМС - электромагнитная совместимость;

ETSI - (European Telecommunication Standards Institute) – Европейский институт телекоммуникационных стандартов;

DMR - (Digital Mobile Radio) цифровой стандарт радиосвязи, принятый Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) в 2006 г.

ВВЕДЕНИЕ

Пригородный общественный транспорт ежедневно перевозит огромное количество пассажиров. Московско-Рязанский участок железной дороги один из крупнейших транспортных путей Московской железной дороги. Проходит по городу Москве, Московской и Владимирской областям. Длина главного хода составляет 124 км. Помимо пригородного транспорта по этому участку проходят междугородние и скоростные поезда типа «Ласточка» (Москва-Владимир).

С каждым годом растет количество перевозок, и чтобы обеспечивать должный уровень безопасности необходимы инновационные решения в поездной радиосвязи. Таким новым инновационным решением должна стать технология DMR – Digital Mobile Radio (Цифровое мобильное радио).

Существующая аналоговая поездная радиосвязь, организованная на сети железных дорог ОАО «РЖД», включает в себя линейные и зонные сети радиосвязи. Линейные сети предназначены для организации связи поездного диспетчера, а также дежурных по станции с машинистами подвижных объектов, зонные – для организации связи машиниста с дежурными по станциям и другими абонентами, оснащенными радиостанциями. При этом для построения линейных сетей используются гектометровый (частоты 2,130 и 2,150 МГц) и метровый (в полосах частот 151,725-154,000 МГц и 155,0-156,- МГц) диапазоны волн, а для зонных – метровый [1].

Центральная станция связи (ЦСС) – филиал ОАО «РЖД» - это единый оператор связи РЖД. Цель ЦСС - обеспечение необходимыми услугами и ресурсами связи по оптимальной стоимости.

Основными потребителями телекоммуникационных услуг и ресурсов являются автоматизированные системы управления движением (АСУД), безопасности движения, транспортной безопасности, системы мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры и подвижного состава.

В соответствии с «Белой книгой» ОАО РЖД – «Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года», повышение эффективности работы

ОАО «РЖД», создание условий для безопасного и устойчивого функционирования железных дорог, повышение качества грузовых и пассажирских перевозок, тесно связаны с использованием технологии радиосвязи [2].

К недостаткам существующих систем поездной радиосвязи относятся:

- неудовлетворительное качество связи из-за высокого уровня помех в диапазоне 2 МГц (помеховая обстановка в этом диапазоне частот продолжает ухудшаться из-за внедрения современного подвижного состава с асинхронным тяговым приводом, увеличения токов в тяговой сети и т.п.);
- работа на одной несущей частоте в линейных сетях;
- отсутствие индивидуального вызова;
- отсутствие идентификации вызывающего и вызываемого абонентов;
- отсутствие возможности организовать непрерывные каналы связи с подвижными объектами;
- ограничены возможности по внедрению систем передачи данных.

В наибольшей степени требования поездной радиосвязи можно реализовать с применением, например, систем стандарта GSM-R. Однако несовместимость с аналоговым оборудованием, высокая стоимость таких систем достаточно высока и применение их может быть целесообразно, в основном, на участках скоростного и высокоскоростного движения.

Цифровая система ПРС на основе стандарта DMR отвечает требованиям Распоряжения ОАО «РЖД» об использовании частотного ресурса в диапазоне 160 МГц [3] и позволяет решить множество технологических проблем.

1 ОПИСАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Назначение проектируемой сети связи радиосвязи – организация поездной радиосвязи и передачи данных на основе стандарта DMR на участке железной дороги от станции Павловский Посад до станции Покров (рис. 1.1). Данный участок относится ко второму региональному центру связи (РЦС-2) Московской дирекции связи (МДС).

Протяженность проектируемого участка – 46 км. На станции Павловский Посад заканчивается четырёхпутный участок Горьковского направления, далее идёт двухпутный участок. Среднее время в пути от станции Павловский Посад до станции Покров составляет 45 минут.

Список остановочных пунктов: Павловский Посад, Назарьево, Дрезна, Кабаново, Ост. Пункт 87 км, Орехово-Зуево, Крутое, Войново, Усад, Глубоково, Покров. Участок проектирования состоит из 11 станций. Схема приведена на рис. 1.2.

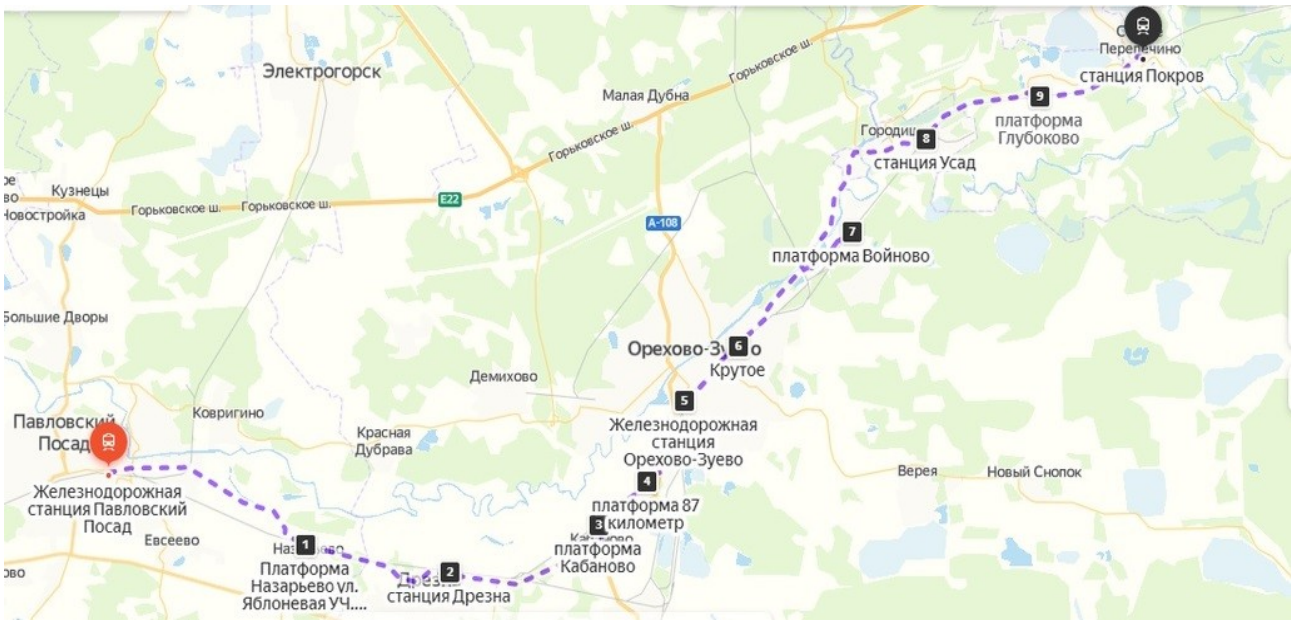


Рис. 1.1. Местонахождение объекта проектирования

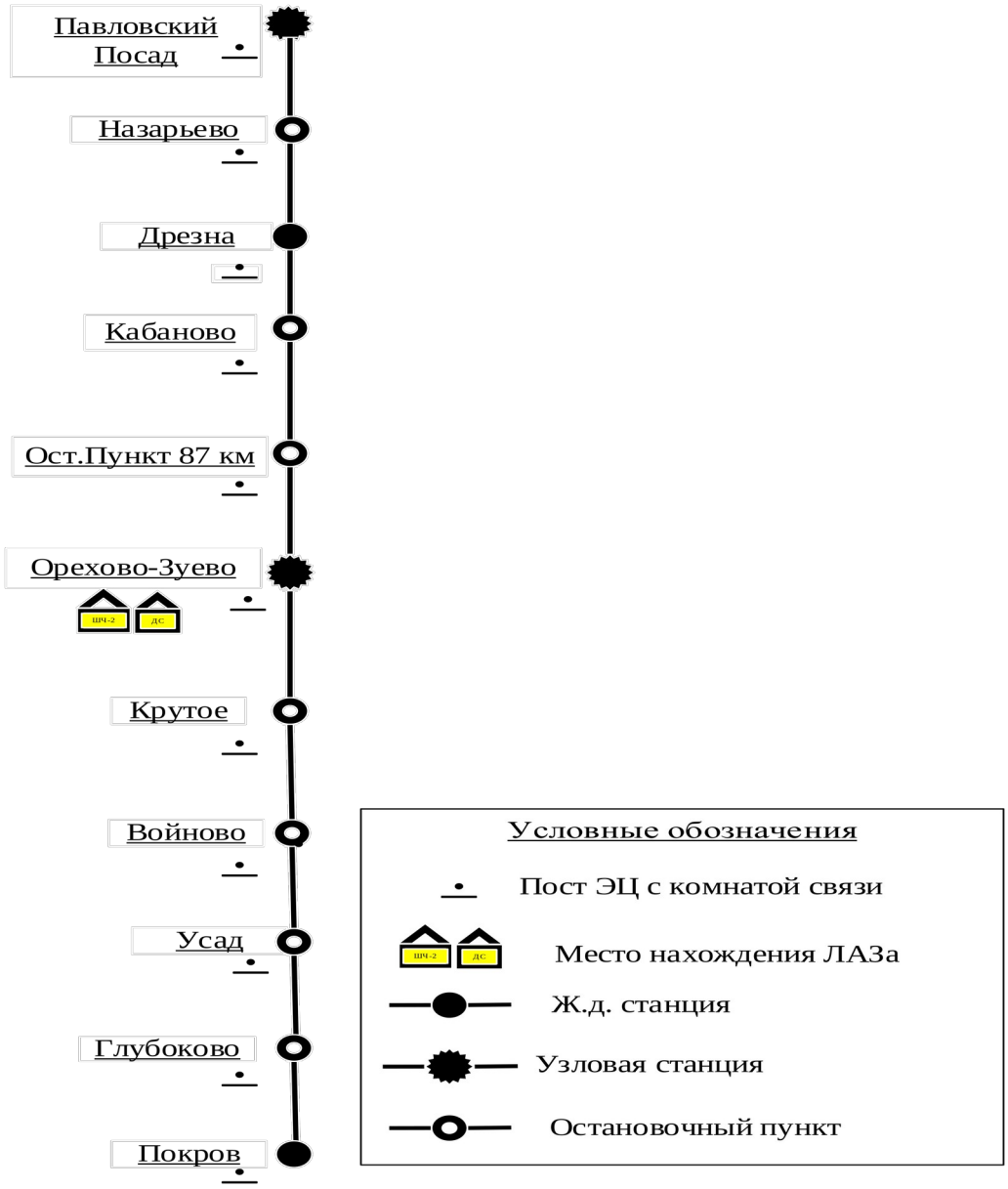


Рис.1.2. Структурная схема участка железной дороги

1.1 Техническая оснащенность участка проектирования средствами радиосвязи

Техническая оснащенность ПРС участка Павловский Посад-Покров основана на радиостанции РС-46 М гектометрового и РС-46 МЦ метрового диапазонов. Участок электрифицирован постоянным током. Количество радиостанций УКВ диапазона на проектируемом участке составляет 10. Антенно-фидерный тракт (АФТ) состоит из антенны и кабеля. Тип используемой антенны: АС ½; тип кабеля РК50-7-11.

Радиостанции РС-46 М/МЦ установлены на каждой железнодорожной станции участка, при этом высоты антенн составляют от 10 до 15 метров.

Первичная сеть основана на коммутационной станции DX-500 и мультиплексоре BG-20.

Радиостанция РС-46 МЦ используется для организации сети ПРС КВ-диапазона (2,130 МГц), а РС-46 М для организации сети ПРС для УКВ-диапазона (151,825 МГц). Радиостанция РС-46 МЦ и ее исполнения предназначены для работы в сетях станционной радиосвязи, ПРС-С и РОРС-Л (линейная ремонтно-оперативная радиосвязь). В зависимости от типа используемого линейного канала радиостанция выпускается в двух вариантах: для работы по каналам цифровых систем радиосвязи и для работы по аналоговым каналам связи. В диапазоне метровых волн радиостанция обеспечивает работу в режиме одночастотного и двухчастотного симплекса на любой паре из 172 рабочих частот в диапазоне частот от 151,725 до 156,000 МГц с разносом частот между соседними частотами 25кГц [5].

В табл. 1.1. приведены расстояния между стационарными радиостанциями, установленными на участке на данный момент. Существующая схема организации сети ПРС представлена на рис. 1.1.

Таблица 1.1

Расстояния между стационарными радиостанциями

Название мест установки стационарных радиостанций	Расстояние между стационарными радиостанциями, км
Павловский Посад-Назарьево	7
Назарьево-Дрезна	5
Дрезна-Кабаново	7
Кабаново-Ост.Пункт 87 км	2
Ост.Пункт 87 км-Орехово-Зуево	3
Орехово-Зуево-Крутое	3
Крутое-Войново	3
Войново-Усад	7
Усад-Глубоково	5
Глубоково-Покров	4

1.2 Техническое задание на проектируемую сеть связи

Цифровая система связи, поездной радиосвязи и передачи данных на участке Павловский Посад-Покров разрабатывается на основе стандарта DMR.

Расчет зон покрытия для РН и РВ производится с целью обеспечения двойного покрытия зон обслуживания соседних БС. Радиосвязь должна быть обеспечена по границе зоны обслуживания на станциях и перегонах с вероятностью обеспеченности по времени и месту не хуже 95% для абонентов радиостанций, установленных на подвижных объектах рельсового транспорта и носимых терминалов. В расчетах зон обслуживания принимается за минимальный уровень полезного сигнала на входе приемника РВ равным 12 дБ в соответствии с ГОСТ [7]. На подвижных объектах рельсового транспорта высота установки антенны 5 м. Для абонентов РН принимается высота антенны 1,5 м.

Следует учесть необходимое количество абонентов связи при разработке ЧТП. Исходные данные для определения количества и распределения абонентов по сети были получены от МЖД и других филиалов,

относящихся к МЖД. Количество начальников (бригадиров) пассажирских поездов примем 40.

Перечень абонентов, включаемых в проектируемую сеть, их количество и необходимое оборудование приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Перечень абонентов ПРС и типы применяемого абонентского оборудования

Наименование абонента	Тип абонентского устройства	Количество абонентов на участке
Поездной диспетчер (ДНЦ)	Проводной пульт	1
Дежурный по станции (ДСП)	Проводной пульт и РН	4
Дежурный по переезду (ДПП)	Проводной пульт и РН	1
Дежурный по депо	Проводной пульт и РН	1
Машинист (ТЧМ)	Локомотивная радиостанция	40
Помощник машиниста	РН	40
Начальник (бригадир) пассажирских поездов	Локомотивная радиостанция и РН	40
Общее число абонентов на участке:		127

С учетом экономического развития сети ПРС в связи с ростом количества перевозок и потребителей связи, общее количество абонентов вырастет на 25%. Как итог, общее количество абонентов на участке проектирования составит 164.

Нормы при расчете качества обслуживания вызовов и передачи данных в сети связи:

- средняя абонентская нагрузка в ЧНН (час наибольшей нагрузки) составляет 0,2 Эрл для ДСП, ДПП и диспетчерского аппарата, для остальных абонентов сети – 0,03 Эрл;
- допустимые потери трафика – 0,1 % для ДСП, ДПП и диспетчерского аппарата, для остальных абонентов – 2 %;

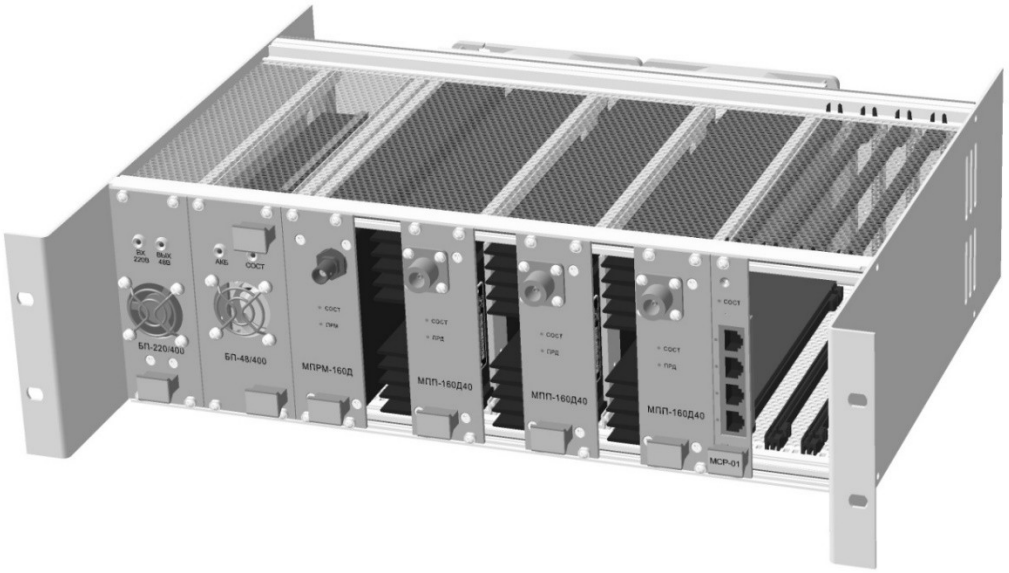
- количество машинистов и помощников машинистов определяется в зависимости от количества составов, одновременно находящихся в зоне обслуживания БС.

ДСП должен иметь устойчивую связь с ТЧМ в пределах всей длины прилегающих у станции перегонов. Дальность связи между ДСП и ДПП должна быть не менее 1,5 км при оснащении РН, а между машинистами локомотивов и дежурным по депо – не менее 5 км. Дальность связи между машинистом и помощником машиниста должна быть в пределах поезда и при выходе за его пределы на расстояние до 1 км, а между ТЧМ встречных поездов – не менее 3 км [10].

2 ОБЗОР НЕОБХОДИМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Выбор базовой станции

При организации системы поездной цифровой радиосвязи стандарта DMR в качестве базовой станции используем репитер модульный универсальный РМУ-4 (рис. 2.1) производства ООО «Пульсар-Телеком». [11]



Ри

с. 2.1. Репитер модульный универсальный РМУ-4

Репитер модульный универсальный РМУ-4 предназначен для построения цифровой сети радиосвязи стандарта DMR. РМУ-4 работает в режиме базовой станции (стационарной радиостанции) по согласованному протоколу с подключением пультов дежурного по станции, систем ТУ-ТС, пожарной сигнализации, аппаратуры передачи данных с различными интерфейсами и протоколами, различных дополнительных линий связи.

Один РМУ-4 должен содержать до трех приёмопередающих трактов и организовать до шести одновременно работающих информационных каналов связи. Для увеличения числа одновременно работающих каналов репитеры объединяются в каскад – до 20 репитеров в каскаде (80 каналов связи).

Репитеры РМУ-4 имеют четыре порта Ethernet 10/100 Base-T с поддержкой дистанционного питания (PoE) для подключения к опорной IP-

сети, каскадирования репитеров, для подключения IP-пультов ПДС/И или ПДСУ, для подключения к оборудованию передачи данных, для подключения АРМ локального регистратора переговоров.

Цифровая система радиосвязи стандарта DMR с точки зрения организации установления соединений является децентрализованной, однако в системе предусмотрено наличие радиосервера, основными функциями которого являются:

- сбор и хранение данных контроля подвижных объектов на серверной части ИЦС DMR предназначенного для этого ПО ServerBaseST;
- сбор и хранение централизованной базы данных об абонентах сети;
- сбор и хранение централизованной базы данных о конфигурировании оборудования;
- централизованное (наряду с локальным) ведение регистрации переговоров, происходящих в сети.

Каждый из каналов связи может быть использован для передачи речи или данных. Для увеличения скорости данных возможно объединение тайм-слотов. В комплектацию репитера входят передатчики с максимальными выходными мощностями 30 и 50 Вт.

При необходимости возможна «точечная» замена старых аналоговых радиостанций на универсальные репитеры РМУ-4 с полным сохранением всех функции существующей ПРС.

В таблице 2.1. представлены основные технические характеристики репитера РМУ-4. Технические характеристики приемника репитера РМУ-4 представлены в таблице 2.2. Технические характеристики передатчика репитера РМУ-4 представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.1

Основные технические характеристики РМУ-4

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон частот, МГц	151,725-156,000
Частотная сетка, кГц	12,5 или 25
Количество приемников	2

Количество передатчиков	2
Режимы работы	цифровой, аналоговый, совмещенный
Количество модулей расширения	3
Количество портов Ethernet 10/100 Base-T с поддержкой PoE	4
основное напряжение питания, В	AC 220 ± 20%
Резервное напряжение питания, В	DC 48 ± 10%
Мощность потребления, Вт, не более	420
Габаритные размеры (ДхГхВ), мм не более	482x350x133
Масса, кг, не более	10
Рабочая температура, °С	от +5 до +40

Таблица 2.2

Технические характеристики приемника репитера РМУ-4

Наименование параметра	Значение параметра
Цифровая чувствительность, мкВ, не более	0,5
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	5
Избирательность по соседнему каналу, дБ, не менее для частотной сетки 12.5 кГц	60
Избирательность по соседнему каналу, дБ, не менее для частотной сетки 25 кГц	70

Таблица 2.3

Технические характеристики передатчика репитера РМУ-4

Наименование параметра	Значение параметра
Выходная мощность на нагрузке 50 Ом, Вт	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	5
Максимальная девиация, кГц для частотной сетки 12,5 кГц, не более	2,5
Максимальная девиация, кГц для частотной сетки 25 кГц, не более	5
Уровень паразитной частотной модуляции, дБ, не	-40

более	
Уровень паразитной амплитудной модуляции, %, не более	3
Отклонение рабочей частоты от номинального значения, не более	$2x10^{-6}$

2.2 Антенно-фидерные устройства

Для работы базовой станции могут применяться стационарные направленные и ненаправленные антенны в зависимости от конфигурации требуемой зоны радиопокрытия.

В соответствии с п.1.1 при оборудовании участков цифровой системой радиосвязи стандарта DMR на каждой станции устанавливается базовая станция, включающая три приемопередатчика, работающих в режиме симплекса. Структурная схема базовой станции показана на рисунке 2.2.

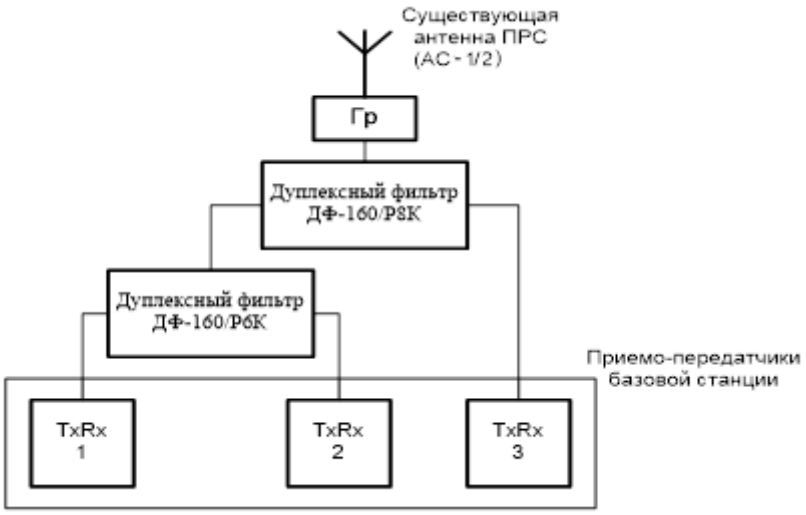


Рис. 2.2. Схема организации антенно-фидерного тракта базовой станции

Объединение трех приемопередатчиков на одну приемо-передающую антенну выполняется посредством последовательного включения двух дуплексных фильтров:

- ДФ-160/ Р8К (рис. 2.3) с рабочими полосами частот 151,7-154,0 МГц и 155,0-156,0 МГц;

- ДФ-160/ Р6К (рис. 2.4) с рабочими полосами частот 151,7-153,0 МГц (нижняя) и 153,0-154,0 МГц (верхняя).



Рис. 2.3. Дуплексный полосно-режекторный фильтр ДФ-160/Р6К



Рис. 2.4. Дуплексный фильтр ДФ-160/Р8К

2.3 Локомотивная радиостанция РЛСМ-10

Основные характеристики РЛСМ-10:

- возможность работы в 3-х диапазонах: ДМВ (GSM-R 900МГц, GSM 900/1800/1900 МГц), КВ (2МГц), МВ (DMR 160 МГц);
- наличие интерфейсов: RS-232, CAN, Ethernet;
- удаленный мониторинг и конфигурирование по радиоканалу
- встроенный регистратор переговоров.

Радиостанция локомотивная РЛСМ-10 (рис. 2.5) совместима с эксплуатируемой на сети железных дорог аппаратурой радиосвязи системы

«Транспорт» и комплекса ЖРУ (возимыми радиостанциями РВС-1, РВ-1, РВ1М, РВ1.1М, 42РТМ-А2-ЧМ, стационарными радиостанциями РМУ-4, РЛСМ-10-40, 43РТС-А2-ЧМ, РС-6, РС-46М, РС-46МЦ), носимыми радиостанциями Радий 301, Альтавия 301, Motorola [11].

Радиостанция устанавливается на всех типах подвижного состава: магистральных и маневровых локомотивах, моторвагонных поездах, специальном подвижном составе (мотовозы, дрезины, автомотрисы, путевые машины и др.).

Технические характеристики приемника и передатчика РЛСМ-10 приведены в табл. 2.4 и табл. 2.5, соответственно.



Рис. 2.5. Радиостанция локомотивная РЛСМ-10

Таблица 2.4

Технические характеристики приемника РЛСМ-10

Наименование характеристик	Числовые значения характеристик
Чувствительность, мкВ	0,5
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	5
Избирательность по соседнему каналу, дБ, не менее	60 (для сетки 12,5 кГц) 80 (для сетки 25 кГц)

Таблица 2.5

Технические характеристики передатчика РЛСМ-10

Наименование характеристик	Числовые значения характеристик

Выходная мощность, Вт	15
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	5
Максимальная девиация, кГц, не более	2,5 (для сетки 12,5 кГц) 5 (для сетки 25 кГц)
Отклонение рабочей частоты от номинального значения, не более	$2x10^{-6}$

2.4 Носимая радиостанция Hytera PD-685G

Основные характеристики РН Hytera PD-685G:

- Цветной ЖК-дисплей;
- GPS-приемник;
- Автоматическая передача сигнала тревоги при падении (функция Man Down);
- Поддержка стандарта DMR Tier 3 (ETSI-TS102 361-4).

Технические характеристики приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6.

Технические характеристики РН Hytera PD-685G

Наименование характеристик	Числовые значения характеристик
Диапазон частот, МГц	134-176
Чувствительность, мкВ	3
Выходная мощность	1-5
Сетка частот, кГц	12,5 и 25
Аккумулятор, мАч	1500
Габаритные размеры, ВхШхГ, мм (без антенны)	119x54x27
Масса, г	310
Средняя продолжительность работы, ч	10 (аналоговый); 16 (цифровой)
Диапазон рабочих температур, ºС	-30...+60

3 РАСЧЕТ ЗОН ПОКРЫТИЯ БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ СВЯЗИ

3.1 План построения сети связи

Этапы разработки цифровой системы связи, поездной радиосвязи и передачи данных по радиоканалу (ИЦС DMR) для участка железной дороги Павловский Посад-Покров:

- подготовка и анализ имеющихся исходных данных;
- выбор мест расположения БС;
- определение достаточной высоты антенн и мощности передатчиков для удовлетворения требованиям двойного покрытия зон БС;
- расчет зон покрытия;
- определение количества каналов связи с учетом присвоения абонентам категорий;
- оценка качества обслуживания вызовов;
- разработка частотного плана, обеспечивающего необходимую канальную ёмкость;
- расчет интермодуляционных влияний;
- анализ результатов и оценка проектирования сети связи.

На проектируемом участке Павловский Посад-Покров среднее расстояние между радиостанциями 6 км. При условии двойного покрытия и радиусе зоны 12-17 км установка БС возможна на расстоянии 12 – 17 км друг от друга. Необходимо установить БС на узловой станции Орехово-Зуево. На рис. 3.1 представлен план установки БС стандарта DMR на участке Павловский Посад-Покров.

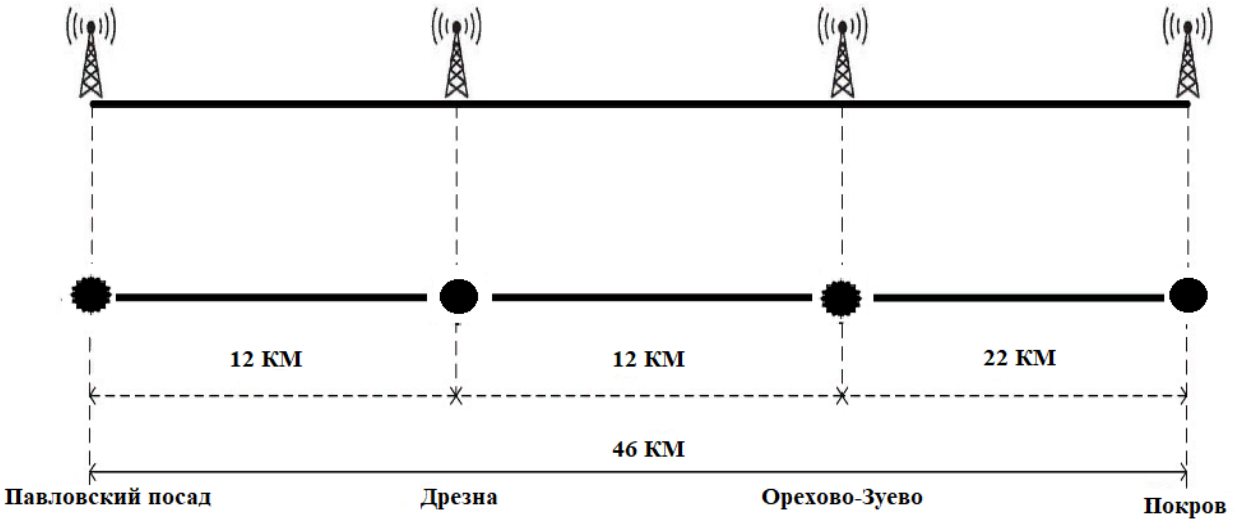


Рис. 3.1. План установки БС стандарта DMR на участке Павловский Посад – Покров

3.2 Методика расчета дальности радиосвязи

Расчет сетей ПРС в диапазоне 160 МГц выполняется с учетом Правил организации и расчета сетей поездной радиосвязи, утвержденных ОАО «РЖД» [10].

При расчете дальности радиосвязи используются графические зависимости изменения напряженности электромагнитного поля от расстояния при заданных высотах установки антенн. Дальность связи определяется в направлении от стационарной радиостанции подвижного объекта, поскольку условия приема сигналов на подвижном объекте значительно хуже, чем на стационарном по причине более высокого уровня помех.

Уровень сигнала на входе приемника РВ:

$$u_2 = E_2 + a_т + B_м + G_1 + G_2 + М - a_1 l_1 - a_2 l_2 - K_э - K_{кс} - g_2 - K_и - K_в - K_м, \text{ дБ}, \quad (3.1)$$

где E_2 – напряженность электромагнитного поля, определяемая по соответствующей базовой кривой распространения для заданного расстояния, взятой из [10];

$a_т$ – коэффициент, учитывающий условия распространение радиоволн на конкретной трассе радиосвязи;

$B_м$ – коэффициент мощности, учитывает отличие мощности передатчика P от мощности $P_1 = 1$ Вт:

$$B_м = 10\lg(P/P_1), \text{ дБ;} \quad (3.2)$$

G_1 – коэффициент усиления передающей антенны;

G_2 – коэффициент усиления приемной антенны;

M – высотный коэффициент, учитывающий отличие произведения высот установки антенн передатчика h_1 и приемника h_2 от 100 м^2:

$$B_м = 20\lg(h_1 h_2 / 100), \text{ дБ;} \quad (3.3)$$

a_1 – постоянная затухания фидера передающей станции, дБ/м;

l_1 – длина фидера передающей станции, м;

a_1 – постоянная затухания фидера приемной станции, дБ/м;

l_2 – длина фидера приемной станции, м;

$K_э$ – коэффициент экранирования, учитывающий ослабление напряженности поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте расположения возимой антенны различного оборудования;

$K_э$ – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью;

g_2 – коэффициент, учитывающий преобразование напряженности поля ВЧ сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером;

$K_и$ – коэффициент, учитывающий наличие интерференционных волн в пространстве;

$K_в$ – коэффициент, учитывающий колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменения рефракции в тропосфере;

$K_м$ – коэффициент, учитывающий медленные колебания напряженности поля вследствие изменения рельефа местности.

3.3 Расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанциями

Из условия $u_2 \geq u_{2мин}$, дальность связи между БС и РВ рассчитывается в следующей последовательности: задается минимально допустимое

напряжение полезного сигнала на входе приемника РВ $u_{2мин}$. Определяется значение напряженности поля E_2, приняв $u_2 = u_{2мин}$:

$$E_2 = u_2 - a_т - B_м - G_1 - G_2 - M + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м, \text{ дБ}; \quad (4.4)$$

по найденному значению E_2 и базовым кривым 1 и 2, взятым из [10] дальность связи r.

3.4 Расчет высоты установки стационарной антенны

Порядок определения высоты стационарной антенны: на входе приемника РВ задается $u_{2мин}$; в зависимости от заданной дальности связи определяется необходимая напряженность поля E_2 [10]; значение коэффициента М вычисляется по формуле (3.4) при заданном $u_2 = u_{2мин}$; при заданной высоте h_2 установки возимой антенны по формуле (3.3) вычисляется высота установки стационарной антенны h_1.

3.5 Расчет координационного расстояния

$r_{крд}$ – минимально необходимое расстояние между стационарными радиостанциями, при котором исключается их взаимное влияние друг на друга в случае работы на одной частоте. Для определения $r_{крд}$ необходимо вычислить напряженность электромагнитного поля мешающего сигнала:

$$E_2 = u_{пор} - a_т - B_м - G_1 - G_2 - M + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м, \text{ дБ}; \quad (3.5)$$

где $u_{пор}$ – максимально допустимый уровень мешающего сигнала, дБ, принимается равным минус 10 дБ (0,3 мкВ).

В уравнении (3.5) значение $K_и$ принимается равным 0,6 дБ, а $K_в$ =2 дБ.

По найденному значению E_2 и кривой распространения, взятой из [10] определяется координационное расстояние $r_{крд}$ между БС.

3.6 Исходные данные для расчета дальности радиосвязи

Исходные данные для расчета дальности связи взяты из технического задания к проектируемой сети, характеристик используемого оборудования и норм по ПРС.

$u_{2мин}$= 12 дБ в соответствии с ГОСТ [7];

P = 40 Вт – мощность передатчика БС;

P = 10 Вт – мощность передатчика РВ;

P = 2 Вт- мощность передатчика РН;

h = 5 м –высота установки антенны РВ;

h = 1,5 м – высота установки антенны РН;

$a_т$ = 0, т.к. коэффициент сложности трассы $K_{ст}$ = 2 (трасса радиосвязи 2);

G_1 - 8 дБ – коэффициент антенны БС (используется стационарная направленная антенна АС 1/2 в качестве приемо-передающей антенны);

G_2 = 0 дБ – коэффициент усиления приемной антенны, дБ;

a_1 = 0,1 дБ/м, т.к. используется кабель РК50-7-11;

a_2 = 0,1 дБ/м;

l_2 = 5 м –длина фидера РВ;

$K_э$ = 6 дБ;

$K_{кс}$ = 2 дБ;

g_2 = 12 дБ для фидера с волновым сопротивлением 50 Ом.

Из условия обеспечения радиосвязи на вероятностном уровне Q = 95 % определяются коэффициенты $K_и$, $K_в$, $K_м$:

$K_и$ = 7 дБ;

$K_в$ = 2,8 дБ;

$K_м$ = 4,2 дБ.

3.7 Расчет дальности радиосвязи

Расчет дальности связи между БС и РВ на станции Павловский Посад. Высота антенны на данный момент h_1 = 10 м, длина фидера l_1 = 50 м.

Определим коэффициенты $B_м$ и М по формулам (3.2) и (3.3) соответственно:

$$B_м = 10\lg(40/1) = 16{,}0206,$$

$$B_м = 20\lg(10 \cdot 5 / 100) = -6{,}021 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.4) определим напряженность электромагнитного поля:

E_2=12–0 - 16,021– 8–0 - (-6,021) + 0,1·50 + 0,1·5+6+2+12 +7 + 2,8 +4,2=33,5 дБ.

По кривой графика [10] находим r =11 км. Дальность связи от БС до РВ составляет не более 11 км.

При необходимости двойного покрытия зон БС и обеспечения радиосвязи с вероятностью обеспеченности по месту и времени не хуже 95% по границе зоны обслуживания на станциях и перегонах, минимальная дальность связи составляет 13 км.

Для определения достаточной высоты антенны задаемся значениями $u_{2мин}$= 12 дБ, r =13 км. По графику [10] определяем значение E_2 = 29 дБ. По формуле (4.4) вычисляем значение коэффициента М при заданном $u_2 = u_{2мин}$:

$$М = u_2 - a_т - B_м - G_1 - G_2 - E_2 + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м = -1{,}521 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.3) при заданной высоте h_2 установки возимой антенны вычисляем высоту установки стационарной антенны. Значение h_1 составляет примерно 17 м.

Расчет дальности связи между БС и РВ на станции Дрезна. Высота антенны h_1 = 15 м, длина фидера l_1 = 30 м.

Определим коэффициенты $B_м$ и М по формулам (3.2) и (3.3):

$$B_м = 10\lg(40/1) = 16{,}0206 \text{ дБ},$$

$$М = 20\lg(15 \cdot 5 / 100) = -2{,}499 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.4) определим напряженность электромагнитного поля:

E_2=12-0-16,021–8–0 - (-2,499) +0,1·30 +0,1·5 +6 +2 +12 +7 +2,8 +4,2=27,98 дБ.

По кривой графика [10] находим r =13 км. Дальность связи от БС до РВ составляет не более 13 км, а минимальная дальность связи составляет 13 км.

Для определения достаточной высоты антенны задаемся значениями

$u_{2мин}$ = 12 дБ, r =13 км. По графику [10] определяем значение E_2 = 28 дБ. По формуле (3.4) вычисляем значение коэффициента М при заданном $u_2 = u_{2мин}$:

$$M = u_2 - a_т - B_м - G_1 - G_2 - E_2 + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м = -2{,}521 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.3) и при заданной высоте h_2 установки возимой антенны вычисляем высоту установки стационарной антенны. Значение h_1 составляет примерно 15 м.

Расчет дальности связи между БС и РВ на станции Орехово-Зуево. Высота антенны h_1 = 15 м, длина фидера l_1 = 80 м.

Определим коэффициенты $B_м$ и М по формулам (3.2) и (3.3):

$$B_м = 10\lg(40/1) = 16{,}0206 \text{ дБ},$$

$$M = 20\lg(15 \cdot 5 / 100) = -2{,}499 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.4) определим напряженность электромагнитного поля:

E_2=12–0-16,021–8-0-(-2,499) +0,1·80+0,1·5 +6 +2 +12+7 +2,8 +4,2=32,98 дБ.

По кривой графика [10] находим r =11 км. Дальность связи от БС до РВ составляет не более 11 км, а минимальная дальность связи составляет 11 км.

Для определения достаточной высоты антенны задаемся значениями $u_{2мин}$ = 12 дБ, r =11 км. По графику [10] определяем значение E_2 = 33 дБ. По формуле (4.4) вычисляем значение коэффициента М при заданном $u_2 = u_{2мин}$:

$$M = u_2 - a_т - B_м - G_1 - G_2 - E_2 + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м = -2{,}521 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.3) и при заданной высоте h_2 установки возимой антенны вычисляем высоту установки стационарной антенны. Значение h_1 составляет примерно 15 м.

Расчет дальности связи между БС и РВ на станции Покров. Высота антенны h_1 = 12 м, длина фидера l_1 = 50 м.

Определим коэффициенты $B_м$ и М по формулам (3.2) и (3.3):

$$B_м = 10\lg(40/1) = 16{,}0206 \text{ дБ},$$

$$M = 20\lg(12 \cdot 5 / 100) = -2{,}499 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.4) определим напряженность электромагнитного поля:

E_2=12-0-16,021-8-0-(-4,437) +0,02·50+0,02·5+6+2+12+7+2,8+4,2=31,92 дБ.

По кривой графика [10] находим r = 10,5 км. Дальность связи от БС до РВ составляет не более 10,5 км, а минимальная дальность связи составляет 9 км.

Для определения достаточной высоты антенны задаемся значениями $u_{2мин}$ = 12 дБ, r = 9 км. По графику [10] определяем значение E_2 = 35 дБ. По формуле (3.4) вычисляем значение коэффициента М при заданном $u_2 = u_{2мин}$:

$$M = u_2 - a_т - B_м - G_1 - G_2 - E_2 + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_э + K_{кс} + g_2 + K_и + K_в + K_м = -7{,}521 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.3) и при заданной высоте h_2 установки возимой антенны вычисляем высоту установки стационарной антенны. Значение h_1 составляет примерно 10 м.

3.8 Результаты расчета дальности радиосвязи для участка Павловский Посад-Покров

Расчет дальности связи выполнен с учетом двойного покрытия зон обслуживания соседних БС участка. Результаты расчетов соответствуют требованиям к организации сети поездной радиосвязи. При этом обеспечивается устойчивая связь ДСП с ТЧМ в пределах всей длины прилегающих к станциям перегонов.

Дальность связи между РН и РВ составляет 2 км, что удовлетворяет требованию обеспечения дальности связи между ТЧМ и помощником машиниста при выходе за пределы поезда на расстояние до 1 км.

Результаты расчета дальности связи между БС и РВ в зависимости от высоты антенны БС и длины фидера БС приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты расчета дальности связи

Место установки БС	Высота антенны БС h_1, м	Длины фидера БС l_1, м	Дальность связи, r, км
Павловский Посад	17	50	13
Дрезна	15	30	13

Орехово-Зуево	15	80	11
Покров	10	50	9

Учитывая особенности рельефа местности при высотах антенн БС 10 -17 м, высоте антенны РВ 5 м, высоте антенны РН 1,5 м, мощности передатчика БС 40 Вт дальность связи составляет 9-13 км. Число БС 4.

На рис. 3.2 приведено изображение зон покрытия поездной радиосвязи на участке Павловский Посад-Покров на основе стандарта DMR.

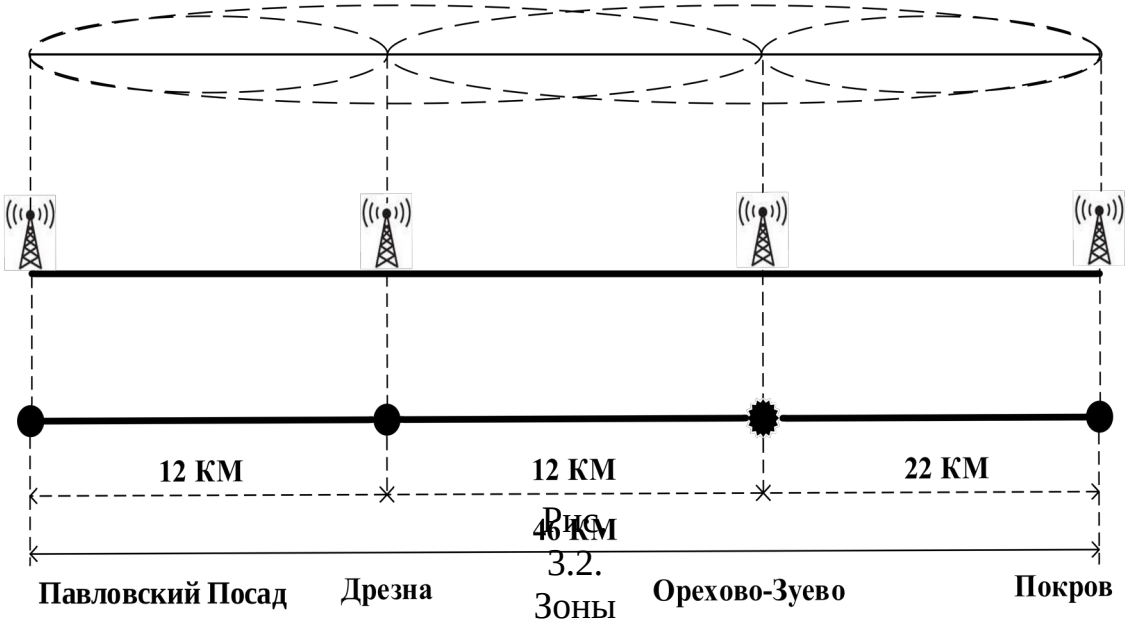


Рис. 3.2. Зоны покрытия поездной радиосвязи на участке Павловский Посад – Покров на основе стандарта DMR

Результаты расчета координационного расстояния для каждой пары радиостанций приведены в табл. 3.2. Каждой БС присвоен номер от 1 до 4 в порядке следования от станции Павловский Посад. Как пример, для определения $r_{крд}$ между станциями Дрезна и Орехово-Зуево необходимо найти значение при пересечении 2 и 3 номеров БС. Тогда, $r_{крд}$ =57,4 км.

Таблица 3.2

Результаты расчета координационного расстояния

Номер БС	Координационное расстояние $r_{крд}$, км			
	1	2	3	4
1		65,1	55,3	52,6
2	65,1		57,4	54,7
3	55,3	57,4		48,9
4	52,6	54,7	48,9	

4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ПРОЕКТИРУЕМОМ УЧАСТКЕ

4.1 Технические требования к структуре построения сети и технические средства поездной радиосвязи

Линейные цифровые сети ПРС строят в соответствии со структурой и техническими средствами используемого стандарта цифровой радиосвязи [11].

В состав цифровой сети ПРС входят (рис. 4.1):

- БС;
- цифровая сеть передачи данных (СПД);
- возимые (локомотивные) радиостанции;
- носимые радиостанции;
- пульты управления (ПУ);
- коммутационное оборудование сети радиосвязи;
- диспетчерская система;
- система управления сетью.

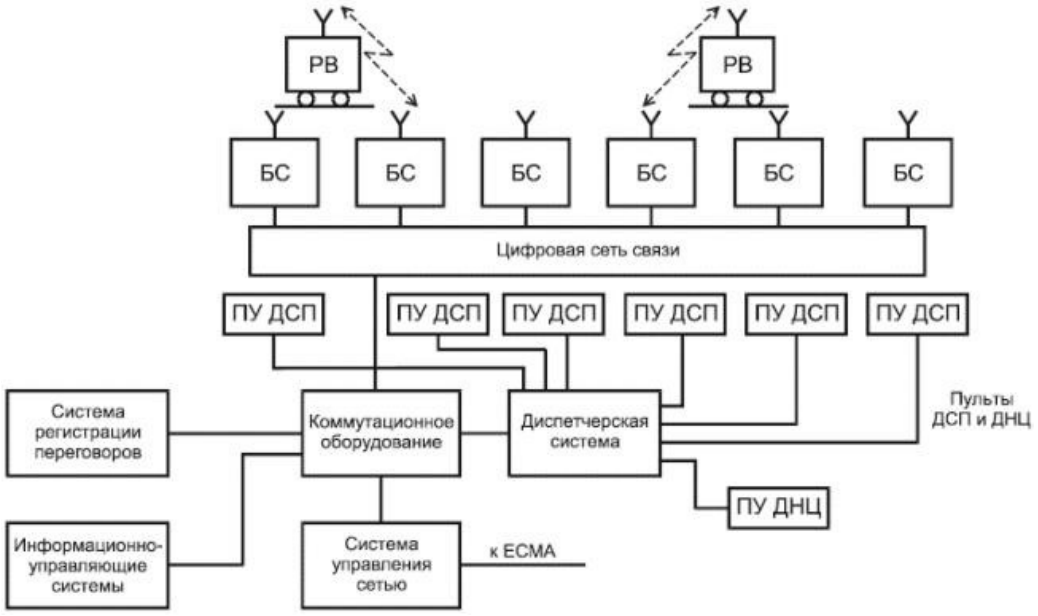


Рис. 4.1. Принцип организации линейной сети ПРС с использованием каналов радиосвязи цифровых стандартов

Зонные сети ПРС строят по радиальному принципу. В состав зонной сети ПРС входят:

- стационарная радиостанция (РС)
- возимые (локомотивные) радиостанции;
- носимые радиостанции.

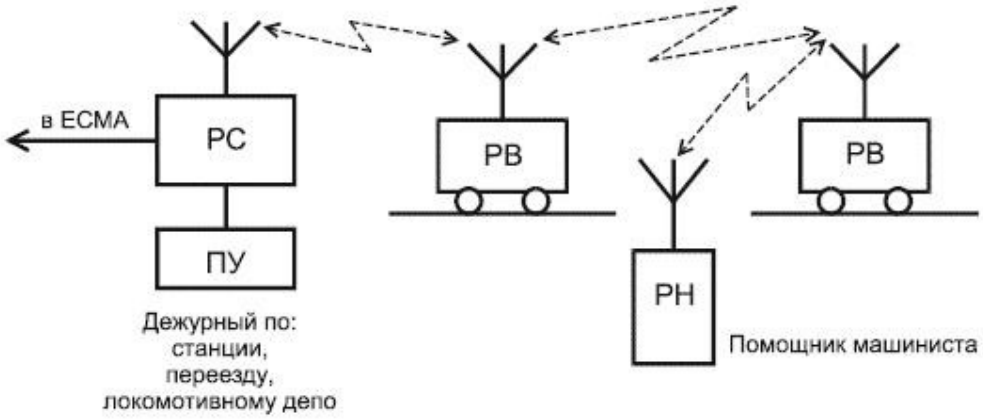


Рис. 4.2. Принцип организации зонной сети поездной радиосвязи

При организации линейных каналов в цифровой системе передачи (ЦСП) могут использоваться:

- цифровые каналы потока Е1 с подключением стационарных радиостанций (базовых станций) к проводному каналу по интерфейсу G.703 в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т (рис. 4.3).
- каналы IP-сети с подключением стационарных радиостанций (базовых станций) по интерфейсу Ethernet в соответствии с протоколом IEEE-802.3. (рис. 4.4).

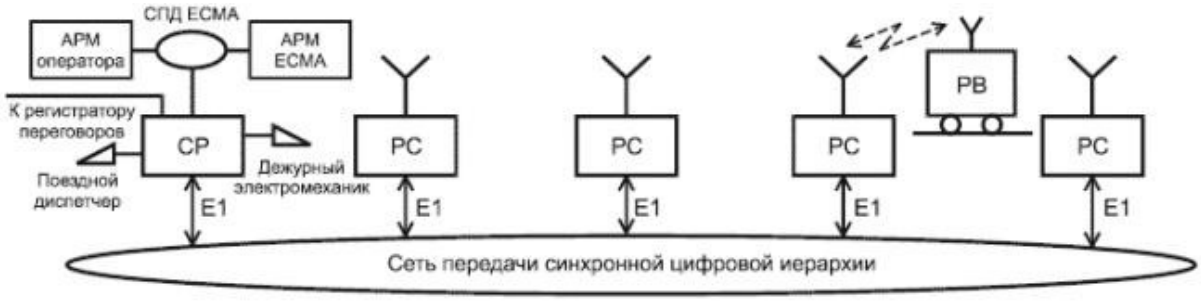


Рис. 4.3. Принцип организации линейной сети ПРС при использовании потока Е1 в качестве проводных каналов

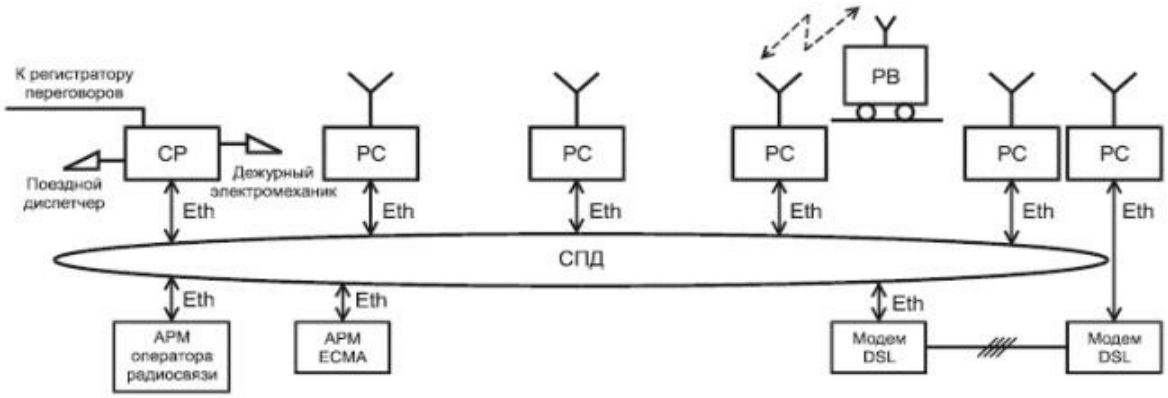


Рис. 4.4. Принцип организации линейной сети ПРС при использовании IP-сети в качестве проводных каналов.

4.2 Разработка схемы организации ПРС

В БС используется репитер -4, который работать как в режиме , так и в режиме РС с подключением дежурных, систем , пожарной , аппаратуры передачи , дополнительных линий . РМУ-4 может в аналоговом, и смешанном режиме. Для внешнего оборудования поддерживает двухпроводные и аналоговые , а также цифровые RS-232, RS-432, -423, RS-485, Uk0, Ethernet.

репитер содержать до двух трактов и позволяет до четырех одновременно каналов связи. Для увеличения числа работающих каналов объединяют в каскад. из каналов может использоваться для речи или данных.

Для по станции используются ПДС и ПДС/И. ПДС имеет линейный Uk0, ПДС/И – Ethernet Base-T). К репитеру -4 напрямую подключаться до трех ПДС/И, соединенных по (PoE). Дальность подключения ПДС/И – до 100 м. С внешних IP-коммутаторов подключение большего пультов ПДС/И или их подключение.

При работы пультов по длинной физической используются пульты ПДС с максимальной до 25 километров при использовании пары с диаметром 1,2 мм.

Возможно подключение до пультов ПДС к РМУ-4.

Пульт с цветным сенсорным и интегрированным системным служат в диспетчерского терминала. подключается к IP-сети по Ethernet (10/100 -T). В системе одновременная работа до трех диспетчерских .

Локомотивные радиостанции -10 поддерживают и цифровой по стандарту DMR для работы в МВ диапазоне. -10 поддерживает поиск БС при в цифровой радиосвязи по стандарту DMR. Это путем определения радиостанции на основе приемников GPS/ с учетом приемлемого приема. Таким обеспечивается регистрация на ближайшем и минимальное время с одной БС на другую при подвижного состава.

радиостанции с , DTMF-клавиатурой, GPS- работают как в цифровом, так и в режиме. Предусмотрена аварийного и возможность автоматической сигнала тревоги при человека (функция Man).

Радиосервер -01 используется для регистрации переговоров в сети, статистики по вызовам, в другие и сети связи (, ОбТС).

Сервер осуществляет непрерывный всех сети с передачей администратору в АРМ «PEGAS-» и ЕСМА (Единая мониторинга и).

Антенно-фидерные устройства в себя передающие комбайнеры, приемные панели, фильтры, устройства (УГЗ), высокочастотный с низким затуханием и .

При отказе элемента сети, сети не нарушается, данная сеть является . Таким образом, радиосервера или связи с ним не к нарушениям работы , а функция переговоров выполняется регистраторами репитеров -4. При одновременном выходе из радисервера, и пультов связь поддерживаться между мобильными абонентами, и пультами [12].

Структурная схема организации сети ПРС на основе стандарта DMR представлена на рис. 4.5 [11].

Рис. 4.5. Структурная схема сети ПРС на основе стандарта DMR



4.3 Схема организации ПРС на участке Павловский Посад-Покров на основе стандарта DMR

Расчет дальности радиосвязи проектируемой сети проведен с учетом необходимости двойного покрытия зон обслуживания соседних базовых станций участка. При мощности передатчика БС 40 Вт, высотах стационарных антенн радиостанций 9 – 17 м, высоте антенны РВ 5 м, высоте антенны РН 1,5 м дальность связи на участке Павловский Посад-Покров составляет 9 – 13 км.

В качестве стационарной радиостанции используются репитеры РМУ-4. В зависимости от количества абонентов и их распределения по сети, а также учитывая требования [4,13], сеть ПРС организуется на базе каскадов из двух РМУ-4 второй комплектации.

РМУ-4 подключается к СПД ОТН, организованной на базе коммутатора Cisco ME 3400, который в свою очередь подключен к оборудованию первичной сети мультиплексору BG-20. Осуществляется резервирование сети ПРС и передачи данных по кольцевой топологии на транспортном уровне.

Схема интегрированной цифровой сети связи, поездной радиосвязи и передачи данных на основе стандарта DMR на участке Павловский Посад-Покров представлена на рис. 4.5.

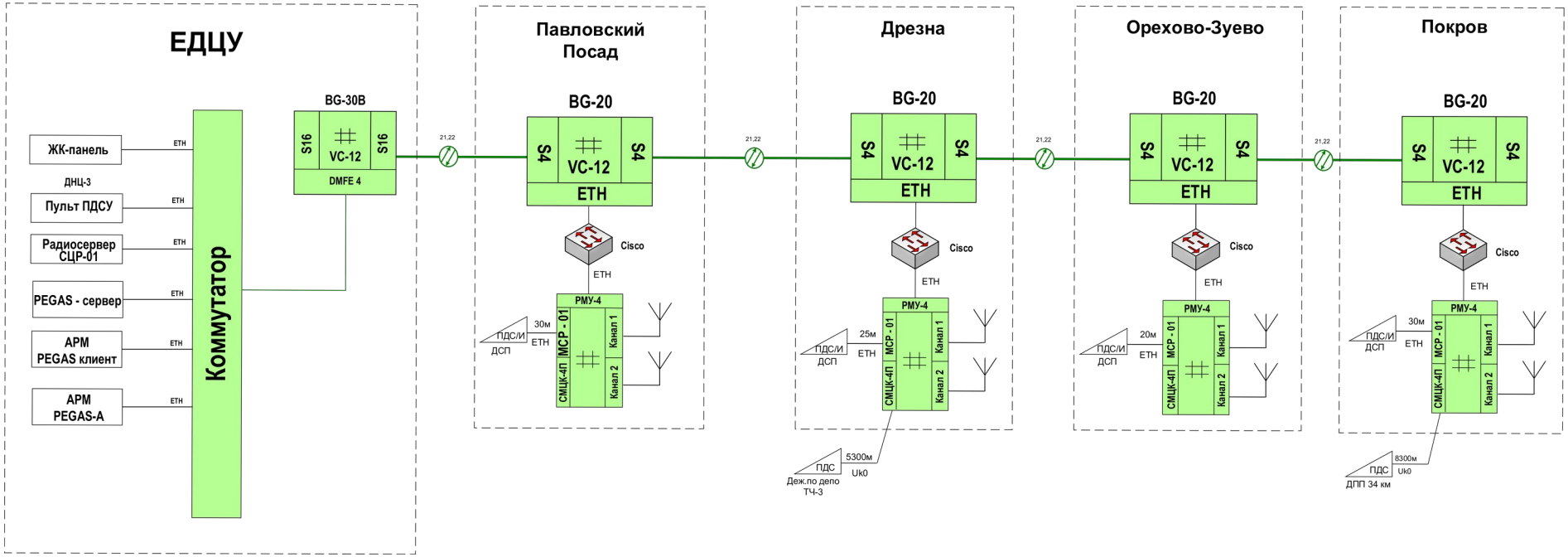


Рис. 4.6. Схема интегрированной цифровой сети связи, поездной радиосвязи и передачи данных на основе стандарта DMR на участке Павловский Посад-Покров

С помощью цифрового радиосервера СЦР-01 и сервера PEGAS, находящиеся в едином диспетчерском центре управления, осуществляется управление сетью. Для ДНЦ используются пульты ПДСУ, подключаемые через интерфейс Ethernet к коммутационному оборудованию.

При необходимой канальной емкости на каждой БС используется каскад из двух репитеров РМУ-4, каждый из которых содержит два приемо-передающих тракта. Для организации 5 логических каналов связи (3 одновременно работающих каналов связи) требуется 2 приемо-передающих тракта. При этом 2 канала используются для передачи голоса, 1 – для передачи данных. Третий тракт используется для организации аналоговой ПРС-С на частоте 151,825 МГц.

Пульты ПДС/И для ДСП подключаются непосредственно к РМУ-4 по интерфейсу Ethernet и устанавливается на расстоянии не более 100 м от БС. Для связи с ДСП удаленных железнодорожных станций, с ДПП и дежурным по депо применяются пульты ПДС с обеспечением максимальной дальности по интерфейсу Uk0 до 25 км.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе проведем расчет капиталовложений для организации сети связи на основе стандарта DMR на участке Павловский Посад - Покров. Длина данного участка 46 км, количество абонентов 127, 4 БС расположены с учетом обеспечения двойного покрытия зон радиосвязи.

Все капитальные вложения, которые требуются для проектирования, строительства и эксплуатации объектов системы радиосвязи, можно разделить на следующие категории:

- Затраты на проектирование и монтаж объектов связи;
- Затраты на приобретение необходимого оборудования;
- Эксплуатационные расходы.

Под капитальными вложениями понимают совокупность всех затрат, в том числе затраты на новое строительство, на расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий. Планирование капитальных вложений на железнодорожном транспорте производится с учетом соответствия интересов сотрудников компании и привлекаемых инвесторов, а также удовлетворения потребностей жителей в транспортных перевозках, качественном обслуживании пассажиров и эффективной работы железнодорожного транспорта. Основным инвестором, участвующий в финансировании строительства системы поездной радиосвязи, является ОАО РЖД. Другими источниками могут являться инвестиции сторонних компаний, средства, выделенные из государственного бюджета, а также амортизационные затраты.

При проектировании и монтаже системы радиосвязи необходимо учитывать важность выполнения поставленных задач, связанных с правильным распределением выделенных средств, строгими сроками, выделенными на проектирование и строительство системы радиосвязи, минимизацию издержек на непредвиденные расходы и обеспечение качественной работы объектов связи на железнодорожном транспорте.

5.1 Затраты на приобретение оборудования связи

Данный вид затрат представлен с целью приобретения необходимого оборудования связи, приобретенных у сторонних компаний и предназначенные для обеспечения качественной и эффективной работоспособности системы радиосвязи. Оборудование связи, необходимое для реализации сети связи стандарта DMR было рассмотрено в пункте 2. Цены на конкретный вид оборудования получены от компаний-производителей оборудования связи.

Расчет затрат на приобретение оборудования приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Расчет затрат на приобретение оборудования

Вид аппаратуры	Количество	Стоимость единицы оборудования, руб.	Общая стоимость, руб.
РМУ-4 (2)	8	140 000	1 120 000
РЛСМ-10	80	69 000	5 520 000
Hytera PD-685G	86	44 000	3 784 000
Пульт ПДСУ	1	140 000	140 000
Пульт ПДС	6	80 000	480 000
Итоговая стоимость ($C_{ОБ}$)			11 044 000

5.2 Расчет капитальных затрат

Данный вид затрат определяет все капитальные вложения, направленные на строительство всех объектов связи, задействованных в построении системы радиосвязи. Для того, чтобы полностью определить затраты на строительство системы радиосвязи, необходимо учитывать стоимость следующих факторов:

- проектирования;
- монтажных работ;
- прочих расходов.

При строительстве объектов связи могут произойти непредвиденные расходы, связанные с человеческим фактором, несогласованности работ монтажных бригад и других возможных факторов. Из табл. 5.1. добавим в табл. 5.2. итоговую стоимость оборудования.

Смета капитальных затрат представлена в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Смета капитальных затрат

Вид затрат	Величина затрат, руб.
Проектирование	1 000 000
Монтажные работы	6 200 000
Транспортные расходы	3 150 000
Непредвиденные расходы	2 500 000
Итоговая стоимость оборудования	11 044 000
Итого ($C_{КАП}$)	23 894 000

5.3 Расчет годовых эксплуатационных расходов

При расчете годовых эксплуатационных расходов необходимо учитывать все второстепенные затраты, направленные на поддержание качественной работы устройств связи и обеспечение поездной и станционной радиосвязи на железнодорожном транспорте. В расчет эксплуатационных расходов входят следующие затраты:

- Амортизационные отчисления;
- Фонд оплаты труда;
- Расходы на запасные материалы, детали и устройства;
- Расходы на электроэнергию;
- Прочие расходы.

Под амортизационными отчислениями подразумеваются те затраты, которые направляются на обеспечение быстрого и качественно ремонта оборудования вследствие выхода его из строя или ввиду морально-

технического старения. Для расчета амортизационных отчислений для организации сети связи допускаем процентное соотношение от капитальных издержек не менее 10%:

$$C_{АМ} = C_{КАП} \cdot 0{,}1, \text{ руб.} \qquad (5.1)$$

Амортизационные отчисления по формуле (5.1):

$$C_{АМ} = 23\,894\,000 \cdot 0{,}1 = 2\,389\,400 \text{ руб.}$$

При расчете фонда оплаты труда учитываются заработные платы всех сотрудников ОАО РЖД, участвующие в обслуживании поездной радиосвязи стандарта DMR на участке Павловский Посад – Покров. Количество обслуживающего персонала подобрано для обеспечения качественной работы устройств связи в любой момент времени. Данные о фонде оплаты труда берутся за май 2017 года.

Расчет фонда оплаты труда приведен в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Расчет фонда оплаты труда

Должность	Количество сотрудников	Заработная плата сотрудника, руб.	Общая заработная плата, руб.
Главный инженер связи	1	66 500	66 500
Начальник участка	1	70 500	70 500
Старший электромеханик	4	43 500	174 000
Электромеханик	18	36 600	658 800
Электромонтер	2	30 400	60 800
Премии			110 794
Итого ($C_{ФТ}$)			1 141 394

При расчете расходов на резервные материалы и запчасти учитывается строгая сумма капитальных вложений, которая может быть выделена на техническую реконструкцию и усовершенствование существующих объектов

связи. Для расчета амортизационных отчислений на строительство объектов связи допускается процентное соотношение от капитальных издержек не менее 6 %:

$$C_M = C_{КАП} \cdot 0{,}06, \text{ руб.} \qquad (5.2)$$

Расходы на резервные материалы и запчасти по формуле (5.2):

$$C_M = 23\ 894\ 000 \cdot 0{,}06 = 1\ 433\ 640\ руб.$$

Для расчета затрат на электроэнергию берем известную стоимость электроэнергии по данным ЕЭС РФ. Согласно им, на май 2017 года единица электроэнергии в объеме 1 кВт·ч на территории Москвы и Московской области обходится в среднем 5 руб. Расчеты производятся для всех устройств, использующих электроэнергию в качестве вида питания в течении всего года.

Расчет затрат на электроэнергию за год определяют по формуле:

$$C_{ЭЛ} = T \times W \times N, \qquad (5.3)$$

где T – плановый тариф на электроэнергию (5 руб. за 1кВт/ч);

W – величина мощности, потребляемая единицей оборудования;

N – количество оборудования

Расчет затрат на электроэнергию приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Расчет затрат на электроэнергию

Вид аппаратуры	Количество потребляемой электроэнергии, кВт · ч	Стоимость электроэнергии, руб./кВт · ч	Итоговые затраты за год, руб.
РМУ-4	0,15	5	51 510
РЛСМ-10	0,085	5	121 618
Hytera PD-685G	0.035	5	40 080
Итого ($C_{ЭЛ}$)			213 208

Под прочими расходами подразумевают все процентные выплаты по кредитному плану, налоговые отчисления, сборы, расходы сотрудников компании на вынужденные командировки, оплата сторонним лицам за обеспечение сохранности и безопасности объектов связи в нерабочее время. В соответствии с планом, выделенным на реализацию системы радиосвязи, допускаем процентное соотношение прочих расходов от капитальных затрат не менее 3%:

$$C_{ПР} = C_{КАП} \cdot 0{,}03, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

Расчет прочих расходов по формуле (5.4):

$$C_{ПР} = 23\ 894\ 000 \cdot 0{,}03 = 716\ 820\ руб.$$

Итоговый расчет годовых эксплуатационных расходов определяется по формуле:

$$C_э = C_{ФТ} + C_{АМ} + C_М + C_{ЭЛ} + C_{ПР}, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

Итоговый расчет годовых эксплуатационных расходов по формуле (5.5):

$C_э$= 1 141 394·12 + 2 389 400 + 1 433 640 + 213 208 + 716 820 = 18 449 796 руб.

Структура годовых эксплуатационных расходов представлена в табл. 5.5

Таблица 5.5

Структура годовых эксплуатационных расходов

Вид расходов	Сумма за год, руб.	Удельный вес, %	Условные обозначения
Оплата труда	13 696 728	74	$Э_{ФТ}$
Амортизационные отчисления	2 389 400	13	$Э_{АМ}$
Резервные материалы и запчасти	1 433 640	8	$Э_{М}$
Затраты на электроэнергию	213 208	1	$Э_{ЭЛ}$
Прочие расходы	716 820	4	$Э_{ПР}$
Итого	18 449 796	100	$C_Э$

На рис. 5.1. представлена диаграмма капитальных расходов системы связи стандарта DMR на участке Павловский Посад – Покров.

На рис. 5.2. представлена диаграмма годовых эксплуатационных расходов системы связи стандарта DMR на участке Павловский Посад – Покров.

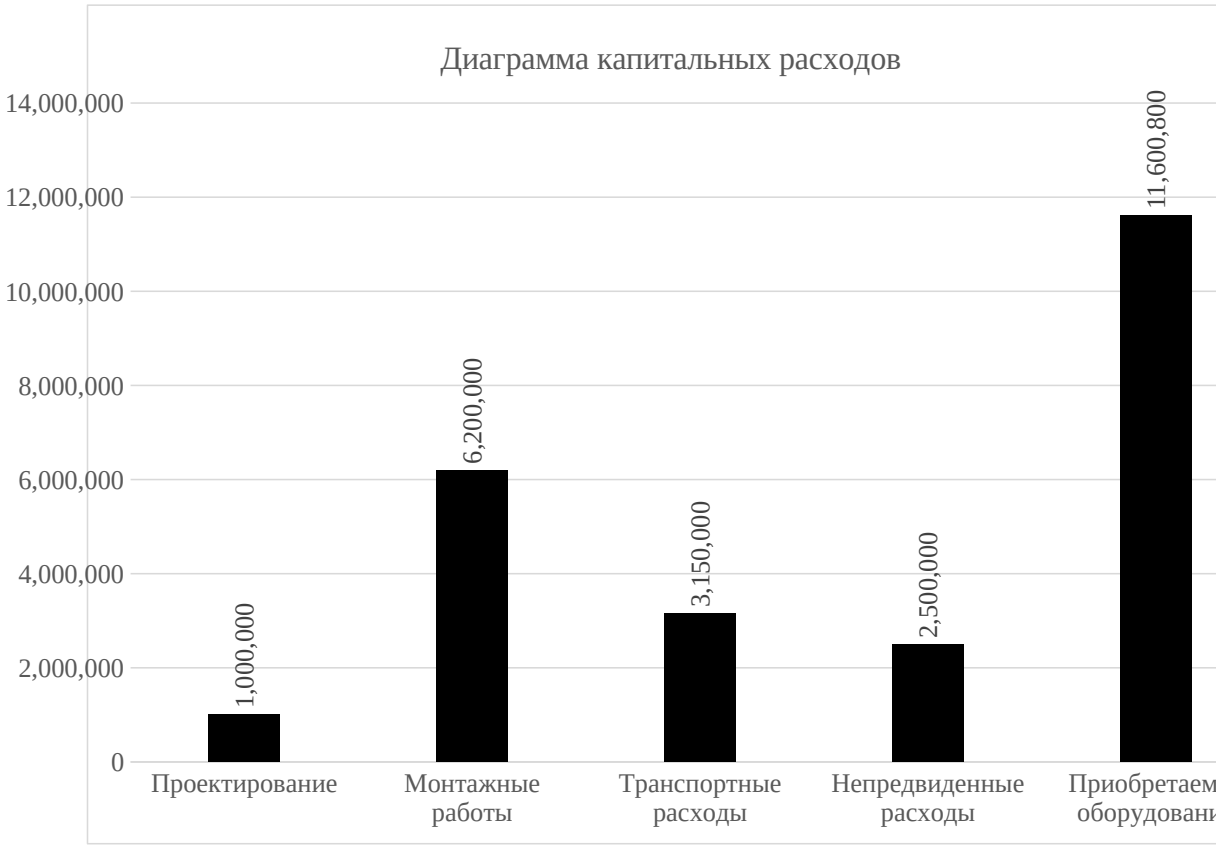


Рис. 5.1. Диаграмма капитальных вложений для системы связи стандарта DMR для участка Павловский Посад – Покров



Рис. 5.2. Диаграмма годовых эксплуатационных расходов системы связи стандарта DMR на участке Павловский Посад - Покров

6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Разработка системы молниезащиты антенны

Молниезащита – комплекс устройств, предназначенных для безопасности , сохранности зданий и , оборудования и материалов от взрывов, загораний и , вызванных молнии.

Наиболее прямой удар , при котором ее канал через , сооружение и т.п. Ток молнии 200 кА, напряжение 150 МВ, температура – 6000-30000 °С. При прямом в результате температуры в канале происходит мгновенный конструкций здания и . Нагретый , расширяясь, образует воздушную волну, здания и сооружения.

прямого проявления могут в виде электростатической и индукций. В результате электромагнитного молнии, ударяющей в или на расстоянии от него, э.д.с. Эта э.д.с. может вызывать или сильное в местах с недостаточно контактами между элементами конструкций, что в очередь привести к пожару или в зависимости от категории .

Способ защиты от выбирают в от назначения здания или , интенсивности грозовой в данном районе, количества молнией в год.

Все здания и по молниезащите разделяют на три в зависимости от значимости и особенностей по степени пожаро- [18]:

I категория – здания и , отнесенные к классам В-I и В-U. Это с выделением , паров и пыли, образовывать взрывоопасные с воздухом при нормальном технологического . Взрыв в таких сопровождается, как правило, разрушениями. Поэтому предусматривается от средней грозовой и места расположения на территории РФ.

II категория – и сооружения В-Iа и В-IIа. К этой категории помещения, в которых смеси образуют при , а также технологические установки и класса В-I. Молниезащита при грозовой деятельности 10 в год и более.

III – здания и сооружения П-I, П-Н и П-IIа. Это помещения, в которых горючие твердые и вещества, , а также наружные установки и открытые класса П-Ш, дымовые , водонапорные , вышки высотой 15 м, жилые и общественные , детские учреждения, , кинотеатры. этих объектов в местностях с грозовой 20 часов и более в год.

количество N молнией за год зданий и прямоугольной формы, не молниезащитой, можно по формуле :

$$N = \left[(S + 6h_3)(L + 6h_3) - 7{,}7h_3^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6}, \qquad (6.1)$$

где h_3 - наибольшая высота или сооружения, м;

S, L – соответственно и длина защищаемого (сооружения), м;

n – число ударов в 1 км^2 земной поверхности (плотность ударов в землю) в расположения здания (), 1/км^2 ·г.

Значения n для разной интенсивности грозовой деятельности приведены в табл. 6.2 [18].

Таблица 6.1

Среднегодовая продолжительность гроз $t_{СР}$, ч	Удельная плотность ударов молнии в землю n, 1/км^2 ·г
10-20	1
20-40	2
40-60	4
60-80	5,5
80-100	7
100 и более	8,5

Одним из мероприятий защиты от молнии установка молниеотводов. создает определенную защиты – часть от прямых молнии.

В состав входят молниеприемник, , токоотвода и заземляющего . Однако на они могут образовывать конструкцию, например, мачта или ферма представляет молниеприемник, опору и одновременно.

По типу молниеотводы разделяются на (вертикальные), (горизонтальные протяженные) и , состоящие из продольных и горизонтальных электродов, в местах . Стержневые и тросовые могут быть как стоящие, так и установленные на ; молниеприемные укладываются на неметаллическую защищаемых зданий с крышами, где равновероятно молнией их участка.

Токоотводы из металлических стержней не менее 100 мм^2, которые сваркой с и заземляющими устройствами. При токоотводах допускается не менее 50 мм. Общее заземления не более 10 Ом.

Здания и I категории защищают стоящими или изолированными . На объектах II молниеотводы устанавливают на самом объекте. того, может использована кровля. При неметаллической укладывают сетчатые . В обоих случаях от крыши через каждые м по периметру здания. III категории защищают любого . Металлическая кровля и фермы могут использованы как молниеприемники. Для от прямых молнии металлических установок также любые типы .

Для требуемой защиты могут применены один или тросовых, стержневых и молниеотводов.

Для от действия электромагнитного необходимо все находящиеся в металлические предметы, а вводы в всех коммуникаций заземлять. При этом сопротивление заземления не превышать 1 Ом.

Для от заноса опасных запрещается вводить в I категории провода линий и связи. Энергию подводить кабелями с оболочек. Ввод линий объектов II категории при допускается, но нежелателен. В III категории воздушные вводить . При этом обязательно штыри изоляторов и защитные разрядники на в здание. вид защиты предусмотрен для связи на железнодорожном .

Проверка состояния молниезащиты производиться для зданий и III категории не реже раза в три года началом сезона.

Проверке целостность и защищенность от доступных обзору молниеприемников, и контактов между , а также значение току промышленной , заземлителей стоящих молниеотводов. Это не должно превышать соответствующих замеров на приемки чем в 5 раз. В случае если сопротивления превышает замеры, то следует ревизию .

Зона больших и объектов выполняется - и четырехстержневыми молниеотводами. и радиусы различных молниеотводов при помощи номограмм.

В заземлителей молниезащиты использовать все ПУЭ заземлители электроустановок, за нулевых проводов линий электропередачи до 1 кВ. Более экономична установка стержневых или тросовых молниеотводов на объекте от каждого стержневого или каждой стойки тросового должно быть обеспечено не менее двух токоотводов. На зданиях и сооружениях с металлической кровлей в качестве молниеприемника должна использоваться сама кровля. При этом все выступающие неметаллические элементы должны быть оборудованы молниеприемниками, присоединенными к металлу кровли.

Опоры стержневых молниеотводов должны быть рассчитаны на механическую прочность как свободно стоящие конструкции. Стержневые должны быть изготовлены из стали любой марки сечением не менее 100 мм и длиной не менее 200 мм и защищены от коррозии оцинкованием, лужением или окраской.

Допускается использование любых конструкций железобетонных фундаментов зданий и сооружений (свайных, ленточных и т.п.) в качестве естественных заземлителей молниезащиты.

6.2 Расчет молниезащиты антенны

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого

совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рис. 6.2). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0.

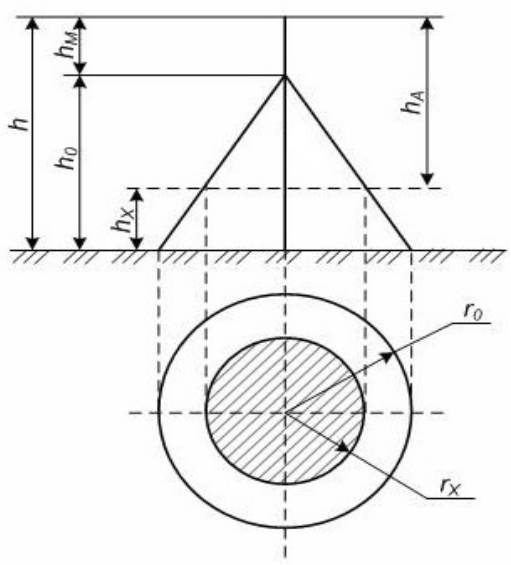


Рис. 6.2. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А – степень надежности защиты превышает 99,5%;

Б – степень надежности защиты составляет 95-99,5%.

Ожидаемое количество поражений N молнией в год производится по формулам для зданий и сооружений прямоугольной формы.

Рассчитаем количество поражений молнией в год N по формуле (6.1):

$$N = \left[(1+6\cdot 15)(1+6\cdot 15) - 7{,}7\cdot 15^2\right]\cdot 2\cdot 10^{-6} = 0{,}013$$

Выбор типа зоны защиты осуществляется в соответствии с [18] в зависимости от назначения, географического местоположения, классов взрыво- и пожароопасности защищаемого объекта, а также с учетом средней продолжительности гроз в год.

В зависимости от N и $t_{СР}$ из [18] определяем требуемый тип зоны молниезащиты (зона А).

Связь между параметрами молниеотвода в зависимости от типа зон защиты определены формулами для зоны А:

$$h_0 = 0{,}85\,h; \qquad (6.2)$$

$$r_0 = (1{,}1 - 0{,}002\,h)\left(h - \frac{h_x}{0{,}85}\right); \qquad (6.3)$$

$$r_x = (1{,}1 - 0{,}002\,h)\left(h - \frac{h_x}{0{,}85}\right), \qquad (6.4)$$

где r_x – радиус горизонтального сечения на высоте защищаемого объекта, м;

h_x – наибольшая высота защищаемого сооружения, м.

Принимая расчетную высоту молниеотвода равной 24 метра в соответствии с (6.2) - (6.4), получаем:

h_0=0,85·24=20,4 м;

r_0= (1,1-2·10^{-3}·24) · 24 = 25,248 м;

r_x= (1,1-2·10^{-3}·24) · (24-1,2·15) = 6,683 м.

На рис. 6.3. изображена зона защиты одиночного молниеотвода с размерами.

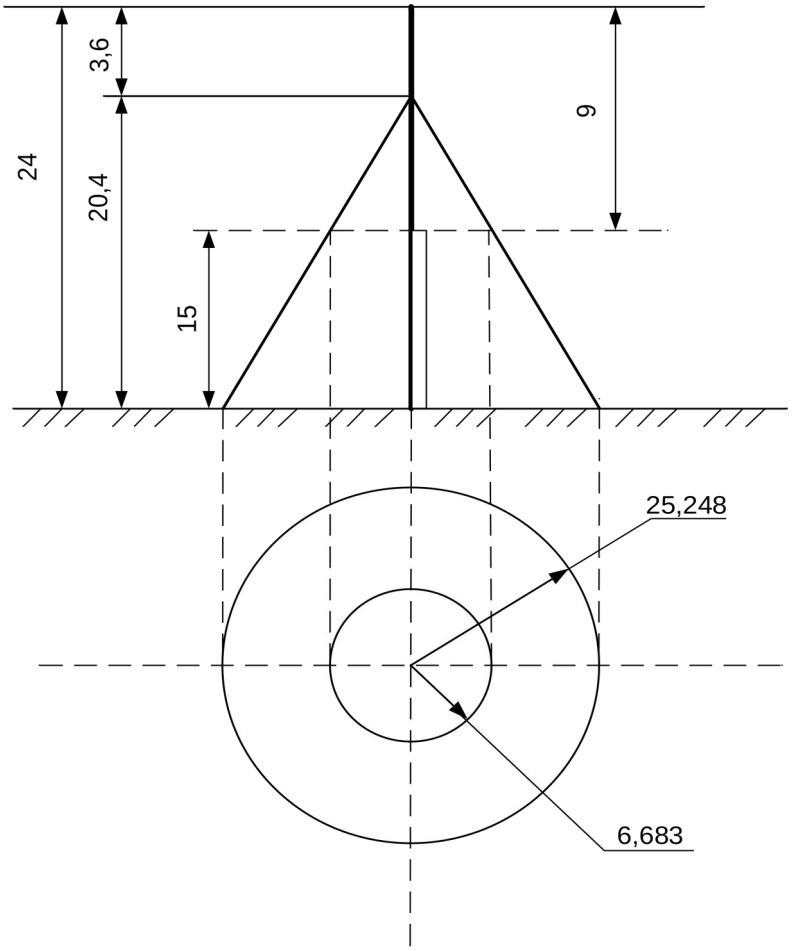


Рис. 6.3. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с размерами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте была разработана интегрированная цифровая система связи, поездной радиосвязи и передачи данных по радиоканалу (ИЦС DMR) для участка Павловский Посад-Покров Московской железной дороги.

На основании исходных данных и технических требований к сети ПРС, анализа технических характеристик применения оборудования произведены расчеты дальности связи, расчет необходимой канальной ёмкости сети связи, разработан частотно-территориальный план.

Дальность радиосвязи рассчитана с учетом двойного покрытия зон обслуживания соседних БС участка. Количество БС на участке Павловский Посад-Покров составляет 4. Средняя дальность зон покрытия БС составляет 8,5 км.

Количество абонентов на каждой станции обеспечивается качеством обслуживания трехчастотной БС, позволяющей организовать 6 каналов связи в цифровом режиме, а также канал аналоговой связи на частоте 151,825 МГц.

Частотно-территориальный план отвечает требованиям [4], а номиналы частот выбраны с учетом проверки на интермодуляционную совместимость. Для экономии частотного ресурса осуществляется повторное использование частот.

Внедрение сети связи на основе стандарта DMR позволяет достичь совместимости аналоговых и цифровых сетей связи с дальнейшим полным переходом на цифровую радиосвязь; организации передачи данных и ответственных команд; повышение энергоэффективности; снижения трудоемкости, себестоимости услуг и ресурсов.

В системе, спроектированной по стандарту DMR, организуется радиосвязь для работников, находящихся на значительном удаление от БС. Система ПРС обеспечивает организацию каналов передачи данных для автоматического управления движением поездов, передачи диагностической информации, телеуправление объектами железнодорожного транспорта. Более того, обеспечивается интеграция системы ПРС в структуры первичных цифровых сетей технологической связи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интегрированная цифровая система связи, поездной радиосвязи и передачи данных по радиоканалу (ИЦС DMR). Технические требования», утверждённые ОАО «РЖД» 01.08.2014 г.
2. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года. «Белая книга», 2015 г.
3. ETSI TS 102 361-1 V2.2.1 «Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol», февраль 2013г., http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/10236101/02.02.01_60/ts_10236101v020201p.pdf
4. Распоряжение ОАО «РЖД» № 340р от 11.02.2013г. «Об утверждении обобщенного частотного плана ОАО «РЖД» в диапазоне 160 МГц»
5. РС-46МЦ. Руководство по эксплуатации. Часть первая. ЦВИЯ.464514.001 РЭ.ОАО «Ижевский радиозавод», 2002г.

6. http://dmrassociation.org
7. ГОСТ Р 54959-2012.
8. ETSI TS 102 361-4 V1.2.1 «Technical Specification Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 4: DMR trunking protocol» сентябрь 2006г., http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/10236104/01.02.01_60/ts_10236104v010201p.pdf
9. Системы радиосвязи DMR и TETRA. Сравнительный анализ. Версия 1v2. Первод ОО «МПТ-Сервис проект». – М., 2011г.
10. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи открытого акционерного общества «Российские железные дороги». – М., «ТРАНСИЗДАТ», 2005г.
11. http://www.pulsar-telecom/ru/ru/
12. Ананьев Д.В. «Система цифровой технологической радиосвязи стандарта DMR DtranPulsar». Евразия Вести, г. Пенза, декабрь 2013 г.
13. Приказ №286 от 21 декабря 2010 г. «Об утверждении правил технической эксплуатации железных дорог Российской федерации» Министерства транспорта Российской Федерации.
14. Распоряжение № 1978р от 23 сентября 2009 г. Об утверждении праил технической эксплуатации поездной радиосвязи ОАО «РЖД».
15. Требования Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00, утверждены Постановления Минтруда России от 05.01.2001 г. №3
16. Положения об организации обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников открытого акционерного общества «Российские железные дороги», распоряжение ОАО «РЖД» от 11.06.2004 г. №2529р
17. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: Учебник / Г.Б. Куликов; Моск. гос. ун-т печати. Москва: МГУП, 2010. 408 с.

18. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87