

Утверждены
распоряжением ОАО «РЖД»
№ 2854р от 23 декабря 2013 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по организации и расчету сетей поездной радиосвязи ОАО «РЖД»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. ПРС предназначена для оперативного управления перевозочным процессом и повышения безопасности движения поездов. Ею должны пользоваться работники, участвующие в перевозочном процессе, обеспечивающие безопасность движения и находящиеся на стационарных пунктах, в поездах и на перегонах вдоль пути следования поездов.

1.2. Методические указания по организации и расчету сетей поездной радиосвязи открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (далее – Методические указания) устанавливают порядок организации и расчета сетей поездной радиосвязи на вновь организуемых и модернизируемых участках железных дорог ОАО «РЖД».

1.3. Методическими указаниями необходимо руководствоваться при проектировании сетей поездной радиосвязи на участках железных дорог с электрической и автономной тягой.

1.4. Методические указания распространяются на стационарные устройства и каналы ПРС, организуемые в гектометровом, метровом и дециметровом диапазонах волн с применением следующих радиостанций:

в гектометровом диапазоне 2 МГц с применением радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10, РС-46М, РС-46МЦ, GM-360;

в метровом диапазоне 160 МГц с применением радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10, РС-46М, РС-46МЦ, GM-300, GM-350, носимых радиостанций IC-F3GS, GP-320, GP-340;

в дециметровом диапазоне с применением радиостанций стандарта TETRA (460 МГц) и стандарта GSM-R (900 МГц), разрешенных к использованию на железнодорожном транспорте;

а также с применением радиостанций других типов, разрешенных к использованию на железнодорожном транспорте ОАО «РЖД».

1.5. Методические указания устанавливают в сетях ПРС минимально

допустимые уровни полезного сигнала, которые необходимо обеспечивать на стадии проектирования ПРС в результате выбора соответствующих технических решений.

1.6. Диспетчерские участки в зависимости от технической оснащенности и размеров движения должны оборудоваться сетями ПРС, организованными в гектометровом, метровом, дециметровом диапазонах волн.

Сети, организованные в гектометровом и метровом диапазонах волн, работают в симплексном режиме, организованные в дециметровом диапазоне работают в дуплексном режиме.

1.7. При оснащении диспетчерских участков двухдиапазонными радиостанциями, работающими в гектометровом и метровом диапазонах волн, гектометровый диапазон, как правило, должен использоваться для организации линейных и линейно-зонных сетей ПРС (совмещающих функции линейной и зонной сетей железнодорожной радиосвязи), метровый диапазон – для организации линейных и зонных сетей ПРС.

1.8. Участки высокоскоростного движения должны оборудоваться цифровой системой поездной радиосвязи стандарта GSM-R (900 МГц) и стандарта TETRA (460 МГц).

1.9. Линейные сети ПРС-С должны обеспечивать:

взаимный групповой вызов и ведение переговоров между ДНЦ и ТЧМ, находящимися в любой точке диспетчерского участка;

возможность документированной регистрации всех ведущихся переговоров с помощью регистраторов служебных переговоров синхронно с метками текущего времени и даты;

автоматический и ручной диагностический контроль, в том числе удаленный, стационарной и возимой аппаратуры с визуальным отображением результатов контроля;

групповой вызов и ведение переговоров между ТЧМ и ДСП.

1.10. Линейные и зонные цифровые сети дециметрового диапазона волн в пределах диспетчерского участка должны обеспечивать возможность:

взаимного вызова с применением индивидуального, группового и циркулярного вызовов и ведение переговоров между ТЧМ и ДНЦ;

группового вызова и ведение переговоров между ТЧМ и ДСП;

передачи с отображением на индикаторном табло команд и сообщений (команды передаются от ДНЦ к ТЧМ, сообщения – от ТЧМ к ДНЦ);

передачи от ТЧМ аварийного вызова ДНЦ при занятости канала радиосвязи;

автоматической передачи данных между управляющими комплексами диспетчерского пункта управления и локомотива;

автоматической или ручной передачи номера поезда или локомотива из

специально установленных локальных зон или при входе поезда в пределы диспетчерского участка;

автоматического и ручного диагностического контроля, в том числе удаленного, стационарной и возимой аппаратуры с визуальным отображением результатов контроля;

документированной регистрации всех ведущихся переговоров и передаваемых данных с помощью регистраторов синхронно с метками текущего времени и даты.

1.11. Зонные сети ПРС-С должны обеспечивать взаимный групповой вызов и ведение переговоров ТЧМ с ДСП, с ТЧМ встречных, вслед идущих и соединенных поездов, а также с абонентами, связанными с поездной работой или обеспечивающими безопасность движения поездов и оснащенными носимыми радиостанциями.

1.12. Радиосвязь между ТЧМ встречных, вслед идущих и соединенных поездов должна организовываться в метровом диапазоне волн. На тех участках, где требуемая дальность связи между локомотивами не обеспечивается (сложный рельеф местности, наличие тоннелей), для организации этого вида радиосвязи должен использоваться диапазон гектометровых волн.

1.13. Линейно-зонные сети ПРС-С должны обеспечивать:

взаимный групповой вызов и ведение переговоров между ДНЦ и ТЧМ, находящимися в любой точке диспетчерского участка;

взаимный групповой вызов и ведение переговоров ТЧМ с ДСП, с ТЧМ встречных, вслед идущих и соединенных поездов, с дежурными по переездам и депо;

возможность документированной регистрации всех ведущихся переговоров с помощью регистраторов служебных переговоров синхронно с метками текущего времени и даты;

автоматический и ручной диагностический контроль, в том числе удаленный, стационарной и возимой аппаратуры с визуальным отображением результатов контроля.

1.14. В каждом конкретном случае сети ПРС, работающие в том или ином диапазоне, должны выбираться в зависимости от технической оснащенности (радиосредствами, устройствами СЦБ и связи) диспетчерских участков, примыкающих к ним направлений и локомотивного парка.

Выбор вариантов должен быть экономически обоснован.

Существующая система ПРС должна модернизироваться вновь разрабатываемыми техническими средствами с учетом перспективного плана оснащения сети железных дорог.

В настоящих Методических указаниях применяются следующие обозначения и сокращения:

БИУ – блок индикации и управления
 БС – базовая станция
 БУ – блок усилительный
 ВЗУ – вводно-защитное устройство
 ВЛ – высоковольтные линии напряжением 6; 10 или 35 кВ
 ВЛС – воздушная линия связи
 ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи
 ДЗ – дроссель заграждающий
 ДН – диаграмма направленности
 ДНЦ – поездной диспетчер
 ДП – датчик положения
 ДПР – высоковольтная линия напряжением 25 кВ
 ДРС – дополнительные стационарные радиостанции
 ДСП – дежурный по станции
 ЗК-4 – запирающий контур
 ЗУ – заземляющее устройство
 ИК – излучающий кабель
 ИСЗ – индивидуальный самостоятельный заземлитель
 КЛС – кабельная линия связи
 КУ – коммутационное устройство
 ЛВС – локальная вычислительная сеть
 ЛДС – линия диспетчерской связи
 ЛТ – линейные согласующие трансформаторы
 МС – мобильная станция
 НЧ – канал низкой частоты
 ОКС – общий канал сигнализации
 ОТС – оперативно-технологическая связь
 ОТС-Ц – оперативно-технологическая связь цифровая
 ОЦК – основной цифровой канал
 ПДС – поездная диспетчерская связь
 ПП – питающий провод в системе электропитания 2х25 кВ
 ПРС – поездная радиосвязь
 ПРС-С – симплексная поездная радиосвязь
 ПУ-2000М – переходное устройство микропроцессорное цифровое
 ПУС – пульт управления стационарной радиостанции
 Р – разрядник (разрядник РВН-0,5 и ограничитель перенапряжений ОПН-0,38)

- PВ – радиостанция возимая
- РК – разделительные конденсаторы
- РС – радиостанция стационарная
- СК-6 – согласующий контур
- СМ – специальные конденсаторы связи
- СН-1, СН-2 – блоки согласованных нагрузок
- СПД – сеть передачи данных
- СПДР-Т – система передачи данных и речи диапазона 160 МГц в тоннелях для обеспечения движения соединенных поездов
- СР – распорядительная станция
- СУ – антенно-согласующее устройство
- ТНЦ – локомотивный диспетчер
- ТЧ – канал тональной частоты
- ТЧМ – машинист поездного локомотива, моторвагонного поезда, специального самоходного подвижного состава
- УКПР – устройство компенсации потерь радиосигнала
- ЭЧЦ – энергодиспетчер
- AckC (Acknowledgment Center) – центр подтверждения аварийных вызовов
- AUC (Authentication Centre) – центр аутентификации
- BSC (Base Station Controller) – контроллер базовой станции
- BTS (Base Transceiver Station) – базовая приемо-передающая станция
- EIR (Equipment Identification Register) – регистр идентификации оборудования
- Ethernet – пакетная технология передачи данных преимущественно локальных компьютерных сетей, использующая различные протоколы, например семейство протоколов TCP/IP. Ethernet описывается стандартами IEEE группы 802.3.
- E1 – первичный цифровой поток передачи данных со скоростью передачи 2048 кбит/с, разделенный на 32 временных интервала (тайм-слота), соответствующий первичному уровню европейского стандарта иерархии PDH
- FAR (Functional Addressing Registry) – регистр функциональной адресации
- GCR (Group Call Register) – регистр групповых вызовов
- GSM-R (Global System for Mobile communications — Railway) – стандарт цифровой железнодорожной системы мобильной связи
- HLR (Home Location Register) – домашний регистр местоположения
- IN (Intelligent Network) – интеллектуальная сеть
- IP (Internet Protocol) – сетевой протокол негарантированной доставки данных

LA (Location Area) – локальная зона

MSC (Mobile Switching Centre) – центр коммутации мобильной связи

MUX (Multiplexer) – мультиплексор

NMC (Network Management Center) – центр управления сетью

PBX (Private Branch eXchange – частная телефонная станция) – телекоммуникационный центр диспетчерской связи

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) – плезиохронная цифровая иерархия – иерархические серии цифровых скоростей передачи и цифровых транспортных структур, стандартизированных Рекомендациями ITU-T G.707 – G.709, G.774, G.780 – G.784, G.957, G.958

RBC (Radio Block Center) – элемент системы управления движением поездов

REC (Record) – запись (система регистрации и записи переговоров)

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронная цифровая иерархия – иерархические серии цифровых скоростей передачи и цифровых транспортных структур, стандартизированных Рекомендациями ITU-T G.702, G.711 – G.757

SMSC (Short Message Service Centre) – центр обработки коротких сообщений

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) – протокол управления передачей/интернет протокол

TETRA (TErrestrial TRunked RADio) – стандарт цифровой транкинговой системы мобильной связи

TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) – временный идентификационный номер мобильного абонента

TRAU/TCE (Transcoding Rate Adaptation Unit / Transcoder) – блок перекодирования и адаптации по скорости передачи / транскодер

VLР (Visitors Location Register) – гостевой регистр местоположения (регистр перемещения)

VMSC (Voice Mail Service Center) – центр услуг голосовой почты

II. ПОРЯДОК ОРГАНИЗАЦИИ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

2.1. Сети гектометрового диапазона волн ПРС-С

2.1.1. Линейные и линейно-зонные сети ПРС-С в гектометровом диапазоне волн должны организовываться с использованием стационарных радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46М, РС-46МЦ, возимых радиостанций РВС-1, РЛСМ-10, распорядительных станций СР-Ц, СР-234М и коммутационных станций ОТС в цифровых и цифро-аналоговых сетях связи, а также аппаратуры других типов, разрешенных к применению на железнодорожном транспорте ОАО «РЖД».

Линейные сети ПРС-С должны строиться по радиопроводному принципу с установкой РС на промежуточных пунктах. РС должны подключаться к специально выделенному каналу связи аналоговых или цифровых систем связи, организованному в пределах диспетчерского участка.

2.1.2. Поездная радиосвязь должна обеспечивать устойчивую двустороннюю связь машинистов поездных локомотивов, мотор-вагонных поездов, специального самоходного подвижного состава с диспетчером поездным в пределах всего диспетчерского участка:

- с дежурными по железнодорожным станциям, ограничивающим перегон;

- с машинистами встречных и вслед идущих локомотивов, мотор-вагонных поездов, специального самоходного подвижного состава, находящихся на одном перегоне;

- с дежурными по переездам и локомотивных депо в пределах одного перегона;

- с начальником (механиком-бригадиром) пассажирского поезда и помощником машиниста при выходе его из кабины на расстояние, необходимое для ограждения поезда и при удалении его от оси пути следования поезда в пределах действия носимой радиостанции.

До внедрения цифровой системы поездной радиосвязи разрешается обеспечивать радиосвязь машинистов поездных локомотивов, мотор-вагонных поездов и специального самоходного подвижного состава при следовании по перегону с дежурным по ближайшей железнодорожной станции, ограничивающей перегон, при условии устойчивой радиосвязи с поездным диспетчером. Порядок взаимодействия при этом машинистов, диспетчера поездного и дежурных по железнодорожным станциям, обеспечивающий безопасность движения поездов, и перечень таких перегонов устанавливаются, соответственно, владельцем инфраструктуры, владельцем железнодорожного пути необщего пользования.

2.1.3. Выполнение требований, приведенных в подпункте 2.1.2, должно осуществляться за счет использования:

- направляющих линий для канализации высокочастотной энергии: специально подвешиваемых одно- и двухпроводных линий (волноводов) на опорах контактной сети или на отдельно стоящих опорах; высоковольтных линий электропередачи, проводов воздушных линий связи;

- стационарных Г-образных антенн (или антенн другого типа, разрешенных к применению в ОАО «РЖД»);

- дополнительных РС, устанавливаемых на протяженных перегонах с выносом пульта управления на станцию, ограничивающую перегон.

Технические решения по обеспечению требуемой дальности связи

должны выбираться с учетом конкретных условий (длины перегонов, вида тяги, характеристики движения, экономической целесообразности и др.).

2.1.4. При вызове ДНЦ со стороны ТЧМ к проводному каналу связи должна подключаться только одна РС, обеспечивающая наибольший уровень сигнала.

2.1.5. При составлении канала связи в линейной сети со стороны ДНЦ должно обеспечиваться избирательное подключение РС к проводному каналу связи. Управление режимом «прием-передача» этих РС должно осуществляться с помощью тональных кодовых посылок.

2.1.6. При отсутствии направляющих линий (как правило, на участках с автономной тягой, где используются кабельные линии связи), а также на малодейственных участках железных дорог линейные сети ПРС-С могут организовываться в метровом диапазоне волн. В отдельных случаях РС метрового диапазона должны использоваться для организации «вставок» в линейную сеть гектометрового диапазона при условии оборудования локомотивов, мотор-вагонных поездов и специального самоходного подвижного состава, обращающихся на данных участках, радиостанциями метрового диапазона.

2.1.7. При использовании «вставок» метрового диапазона волн в линейную сеть ПРС-С гектометрового диапазона к линейному каналу ДНЦ должны подключаться РС гектометрового и метрового диапазонов волн на соответствующих станциях.

2.2. Сети метрового диапазона волн ПРС-С

2.2.1. Зонные сети ПРС-С должны организовываться в метровом диапазоне волн при помощи стационарных радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46МЦ, РС-46М, возимых радиостанций РВС-1, РЛСМ-10, GM-300, GM-350 и носимых радиостанций GP-320, GP-340, «IC-F3GS», а также радиостанций других типов, разрешенных к применению на железнодорожном транспорте ОАО «РЖД».

2.2.2. Зонные сети должны обеспечивать связь ТЧМ с ДСП, с ТЧМ встречных, вслед идущих и соединенных поездов, с дежурными по переездам и локомотивным депо, с начальником (механиком-бригадиром) пассажирского поезда и помощником машиниста при выходе его из кабины на расстояние, необходимое для ограждения поезда.

2.2.3. Зонные сети должны обеспечивать связь начальников (механиков-бригадиров) пассажирских поездов с машинистами поездных локомотивов.

2.2.4. Дальность радиосвязи зонных сетей ПРС-С должна быть следующей.

Между ДСП и ТЧМ радиосвязь должна обеспечиваться в пределах

территории железнодорожной станции. При этом обязательным условием должно являться наличие линейной сети ПРС-С, обеспечивающей устойчивую связь в пределах прилегающих к станции перегонов.

Между ТЧМ и начальником (механиком-бригадиром) пассажирского поезда, помощником машиниста, находящимся за пределами поезда и оснащенным носимой радиостанцией, дальность радиосвязи должна обеспечиваться в пределах действия носимой радиостанции.

Дальность радиосвязи между ТЧМ и абонентами, находящимися в поезде – в пределах поезда.

Дальность радиосвязи между ТЧМ и абонентами сети ПРС, не перечисленными в настоящем пункте Методических указаний, должна соответствовать требованиям, приведенным в п. 2.1.2. Методических указаний.

2.2.5. Линейные сети ПРС-С метрового диапазона волн организуются аналогично линейным сетям гектометрового диапазона волн, упомянутым в пункте 2.1. Методических указаний.

2.2.6. Линейные сети ПРС-С в метровом диапазоне волн должны организовываться с использованием стационарных радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46М, РС-46МЦ, возимых радиостанций РВС-1, РЛСМ-10, распорядительных станций СР-Ц, СР-234М, коммутационных станций ОТС в цифровых и цифро-аналоговых сетях связи, а также аппаратуры других типов, разрешенных к применению на железнодорожном транспорте ОАО «РЖД».

2.3. Организация сетей ПРС-С на протяженных перегонах

2.3.1. На протяженных перегонах, где невозможно обеспечить на всей их длине связь с ТЧМ каждого из ДСП станций, ограничивающих эти перегоны, должны устанавливаться дополнительные стационарные радиостанции (ДРС) типов РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46М, РС-46МЦ или аналогичные, управляемые со стороны как ДСП, так и ДНЦ. Количество ДРС зависит от протяженности перегона и определяется расчетом.

2.3.2. ДРС должны размещаться в местах, где имеются условия, обеспечивающие их функционирование: в помещениях закрытых отдельных пунктов, обслуживаемых усилительных пунктов, пунктов КТСМ и т.п. или в специально устанавливаемых контейнерах.

Место размещения ДРС должно обеспечивать выполнение требований по механическим и климатическим воздействиям, пожарной безопасности, предъявляемым к аппаратуре железнодорожной радиосвязи. Также должна быть предусмотрена возможность подключения ДРС к линейному каналу ДНЦ и подключение охранно-пожарной сигнализации.

2.3.3. Управление ДРС может быть обеспечено:

На рис. 2.2 приведен вариант подключения радиостанций к диспетчерской линии ПРС.

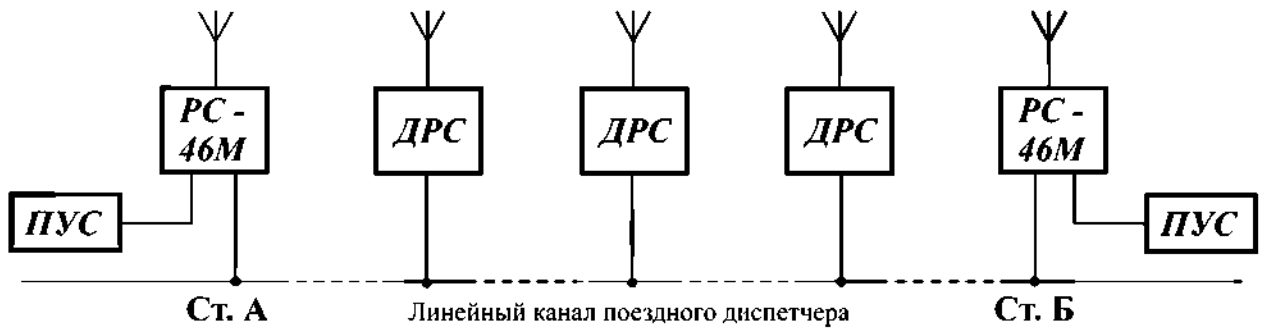


Рис. 2.2. Схема подключения радиостанций к диспетчерской линии ПРС

2.3.6. На участках, оснащенных радиостанциями РС-46М, РС-46МЦ (аналоговый вариант), обеспечение радиосвязи на протяженных перегонах может осуществляться с помощью ДРС, управляемых с распорядительной станции СР-234М, например, вариант на три РС (рис.2.3). При этом показан вариант использования общего диспетчерского канала ПРС-С. В этом случае ДРС присваиваются дополнительные вторые комбинации вызывных сигналов. Аналогично эти сигналы обеспечивают вызов ДСП в результате работы схемы выбора при вызове ДСП со стороны ТЧМ. Этот вариант целесообразно использовать применительно к наиболее протяженным перегонам.

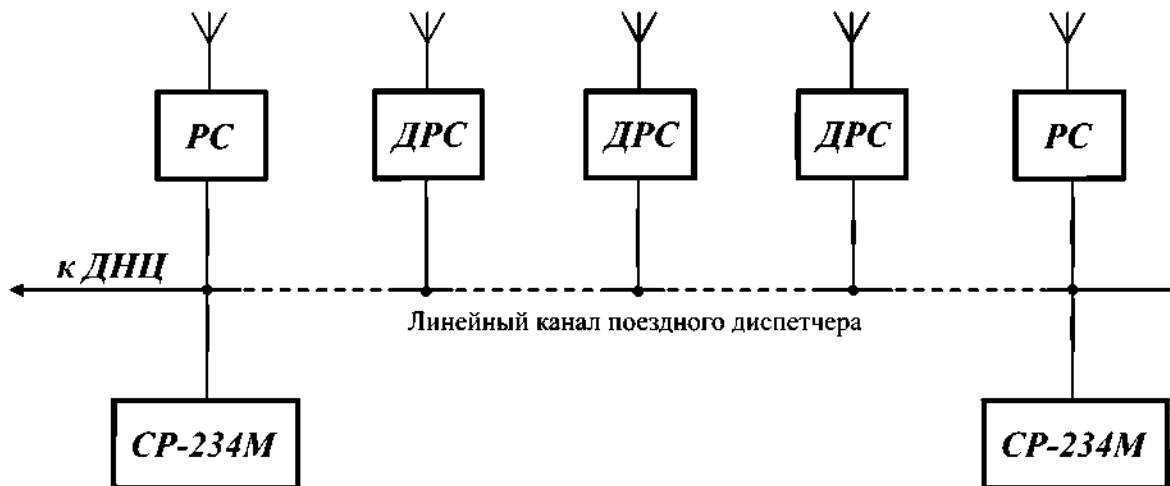


Рис. 2.3. Схема организации ПРС с помощью ДРС, управляемых с распорядительной станции СР-234М

2.3.7. Применение стационарных радиостанций РС-46М, выполняющих дополнительно распорядительные функции, и распорядительных станций СР-234М, управляющих небольшим количеством (до семи) РС, возможно только при наличии отдельного линейного канала поездного диспетчера, выделенного для поездной радиосвязи.

2.3.8. На участках, оснащенных радиостанциями РВС-1-12, радиосвязь на протяженных перегонах может быть обеспечена за счет работы

радиостанций в режимах малой диспетчерской станции и закрытой станции.

Для работы радиостанции РВС-1-12 в режиме малой диспетчерской станции используется панель управления РКМ48, подключаемая к пульту управления ПУ-С, предварительно запрограммированная на соединения с соответствующими радиостанциями, находящимися в одной IP-сети. Панель позволяет запрограммировать адреса до 36 радиостанций и диспетчерской станции. Переговоры, осуществляемые с использованием панели РКМ48, проводятся по выделенным логическим каналам IP-сети независимо друг от друга и независимо от параллельно установленных соединений между диспетчерской станцией и любым другим абонентом сети, не задействованным в соединениях. Таким образом, все переговоры могут проводиться одновременно без взаимного мешающего влияния. Ограничением является лишь пропускная способность IP-сети. Для организации одного симплексного канала требуется около 80 кбит/с.

В режим закрытой станции радиостанция РВС-1-12 может быть переведена с пульта ПУ-С (Клавиша «F» - «Меню 1», «Закрытая станция»). При работе в этом режиме производится переадресация вызовов ДСП, поступающих из радиоканала, в линейный канал, и далее на радиостанцию, адрес которой запрограммирован в радиостанции, работающей в режиме закрытой станции.

2.3.9. Радиостанция РЛСМ-10-40 позволяет вести переговоры через ДРС, работающие в режиме закрытой станции, с подключением к ДРС по линейному каналу в режиме малой диспетчерской станции. При этом поддерживается до 4 ДРС, работающих в режиме закрытых станций.

Управление радиостанциями, работающими в режиме закрытых станций, может осуществляться как по одной, общей с диспетчером линии, так и по отдельной линии диспетчерской связи.

В случае, если управление осуществляется по общей с диспетчером линии, у радиостанции, с которой ведется управление ДРС, клавише «MP» при конфигурировании должно быть присвоено значение «Главная». У радиостанций, работающих в режиме закрытых станций, клавиша «MP» должна иметь значение «Закрытая».

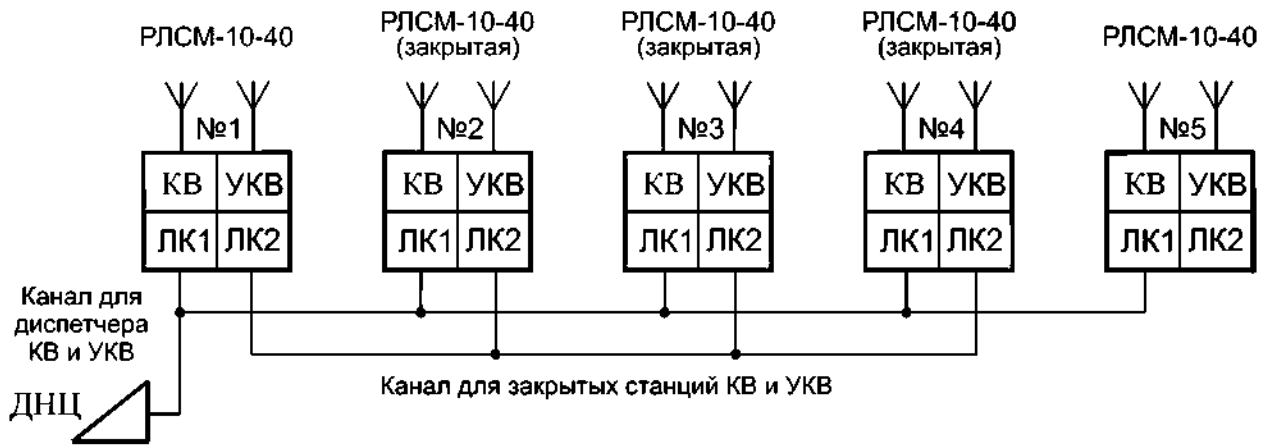


Рис. 2.4. Пример организации связи с закрытыми станциями на участке, оборудованном радиостанциями РЛСМ-10-40

Организация связи с ДРС, работающими в режиме закрытых станций, по отдельной линии может быть выполнена по схеме, показанной на рисунке 2.4. В этом случае режим работы ДРС зависит от того, по какой линии поступила команда управления.

2.3.10. В пределах одного направления диспетчерского участка не допускается установка разнотипных РС, кроме РС с дополнительными распорядительными функциями, предназначенными для управления ДРС на протяженных перегонах.

2.4. Организация радиосвязи в тоннелях в диапазоне МВ

2.4.1. Проектирование радиоканалов диапазона 160 МГц в тоннелях должно осуществляться в соответствии с Типовыми материалами для проектирования «Система передачи данных и речи диапазона 160 МГц в тоннелях для обеспечения движения соединенных поездов (СПДР-Т)» (411103-ТМП), утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 22 ноября 2011 г. № 2515р.

2.4.2. Схема организации СПДР-Т в тоннелях и на подходах к ним зависит от протяженности тоннеля, количества путей в тоннеле, вида тяги, используемого на участке, где расположен тоннель, характера рельефа местности на участках приближения к тоннелю.

Все тоннели могут быть разделены на три типа:

тип 1 – короткие однопутные тоннели длиной до 1 км, имеющие до одной усилительной секции излучающего кабеля (то есть секции, имеющей на концах усилители трактов передачи и приема соответственно), со стандартной организацией системы передачи данных и речи, и типе трассы радиосвязи 1 или 2 на подходах к тоннелю, определенном в соответствии с приложением 4 к настоящим Методическим указаниям;

тип 2 – однопутные тоннели средней протяженности, длиной от 1 до 2 км, с двумя или более усилительными секциями излучающего кабеля, со

стандартной организацией системы передачи данных и речи, и типе трассы 1 или 2 на подходах к тоннелю;

тип 3 – тоннели повышенной протяженности, длиной более 2 км, со спецификой внутри тоннеля и на подходах к нему, включая: двухпутные тоннели; сложный рельеф местности на подходе к тоннелю, тип трассы радиосвязи 3 – 5.

Классификация тоннелей, расположенных на железных дорогах ОАО «РЖД», в соответствии с перечисленными типами, приведена в Типовых материалах для проектирования 411103-ТМП.

2.4.3. Тоннели типа 1 и 2 могут переходить в тип 3, вследствие особенностей, связанных с нестандартным решением организации радиосвязи соединенных, длинносоставных и тяжеловесных поездов. Не исключается возможность организации радиосвязи в тоннелях, особенно коротких (прямые тоннели протяженностью ориентировочно до 100 м), без подвески излучающих кабелей. В некоторых случаях может оказаться целесообразной подвеска излучающего кабеля за пределами тоннеля. Таким образом, для принятия оптимального экономически оправданного решения необходимо на этапе предпроектных обследований проводить предварительные натурные измерения по прохождению радиосигналов в тоннелях и на подходе к ним.

2.4.4. При оборудовании системой СПДР-Т однопутных тоннелей на двухпутных участках каждый их тоннелей оборудуется своей независимой системой СПДР-Т, при этом необходимо устанавливать по две антенны на каждом портале тоннеля. В связи со стесненными условиями на порталных площадках может оказаться невозможным разнесение антенн для избежания взаимных влияний радиосигналов трактов передачи и трактов приема друг на друга, излучаемых в свободное пространство. В таких случаях следует предусматривать объединение антенно-фидерных трактов двух систем посредством применения сумматоров.

2.4.5. Канал радиосвязи для различных положений ведущего и ведомого локомотивов (хвостового вагона) относительно тоннеля организуется:

при расположении ведущего (ведомого) локомотива (головного локомотива) в тоннеле, а ведомого (ведущего) (хвостового вагона) – вне тоннеля: локомотивная антенна ведущего локомотива – излучающий кабель – усилитель – стационарная антенна – локомотивная антенна ведомого локомотива (антенна на сцепке хвостового вагона);

при расположении ведущего и ведомого локомотива (головного локомотива и хвостового вагона) в тоннеле: локомотивная антенна ведущего локомотива – секция n излучающего кабеля – усилитель – секция $n+1$ излучающего кабеля – локомотивная антенна ведомого локомотива (антенна

на сцепке хвостового вагона);

при расположении ведущего и ведомого локомотивов (головного локомотива и хвостового вагона) вне тоннеля (тоннель находится между локомотивами (между головным локомотивом и хвостовым вагоном): локомотивная антенна ведущего локомотива – стационарная антенна – излучающий кабель – усилитель – излучающий кабель – усилитель – стационарная антенна – локомотивная антенна ведомого локомотива (антенна на сцепке хвостового вагона).

2.4.6. Схемы организации СПДР-Т для тоннелей различных типов представлены на рисунках 2.5 и 2.6.

2.4.7. В состав системы СПДР-Т входят: устройства усиления радиосигнала - блоки усилительные (БУ), блок индикации и управления, датчики положения (ДП), излучающий кабель (ИК), низкочастотный кабель, стационарные антенны диапазона МВ, система электропитания, система заземления, система мониторинга СПДР-Т, подключенная к ЕСМА, локомотивные радиомодемы.

Основным элементом СПДР-Т является блок усилительный, обеспечивающий работоспособность системы за счет усиления радиосигналов до уровней, при которых осуществляется надежная связь между локомотивами соединенных, длинносоставных и тяжеловесных поездов.

Блок индикации и управления (БИУ) используется для локального мониторинга системы. Для осуществления удаленного мониторинга и передачи информации БИУ оснащен портом Ethernet.

Датчик положения состава поезда обеспечивает включение стационарного оборудования системы путем подачи сигнала на плату автоматики усилительных блоков.

Излучающий кабель применяется для распространения радиочастотного сигнала в тоннелях. Разнесение трактов передачи и приема в системе обеспечивается за счет использования двух излучающих кабелей, подвешиваемых на противоположных стенах тоннеля.

2.4.8. Стационарные антенны в системе СПДР-Т используются для обеспечения требуемого радиопокрытия на участках приближения-удаления к тоннелям. Антенны должны устанавливаться с обеих сторон тоннеля (на порталах) по две антенны на каждый портал для организации трактов приема и передачи соответственно. Используемые антенны должны иметь максимально возможный коэффициент усиления с учетом ограничений по габаритам приближения строений. В качестве антенн, удовлетворяющих данным требованиям, могут быть рекомендованы антенны Y5 VHF(L), АСН-5/160. Характеристики антенн приведены в приложении 8 к Методическим указаниям.

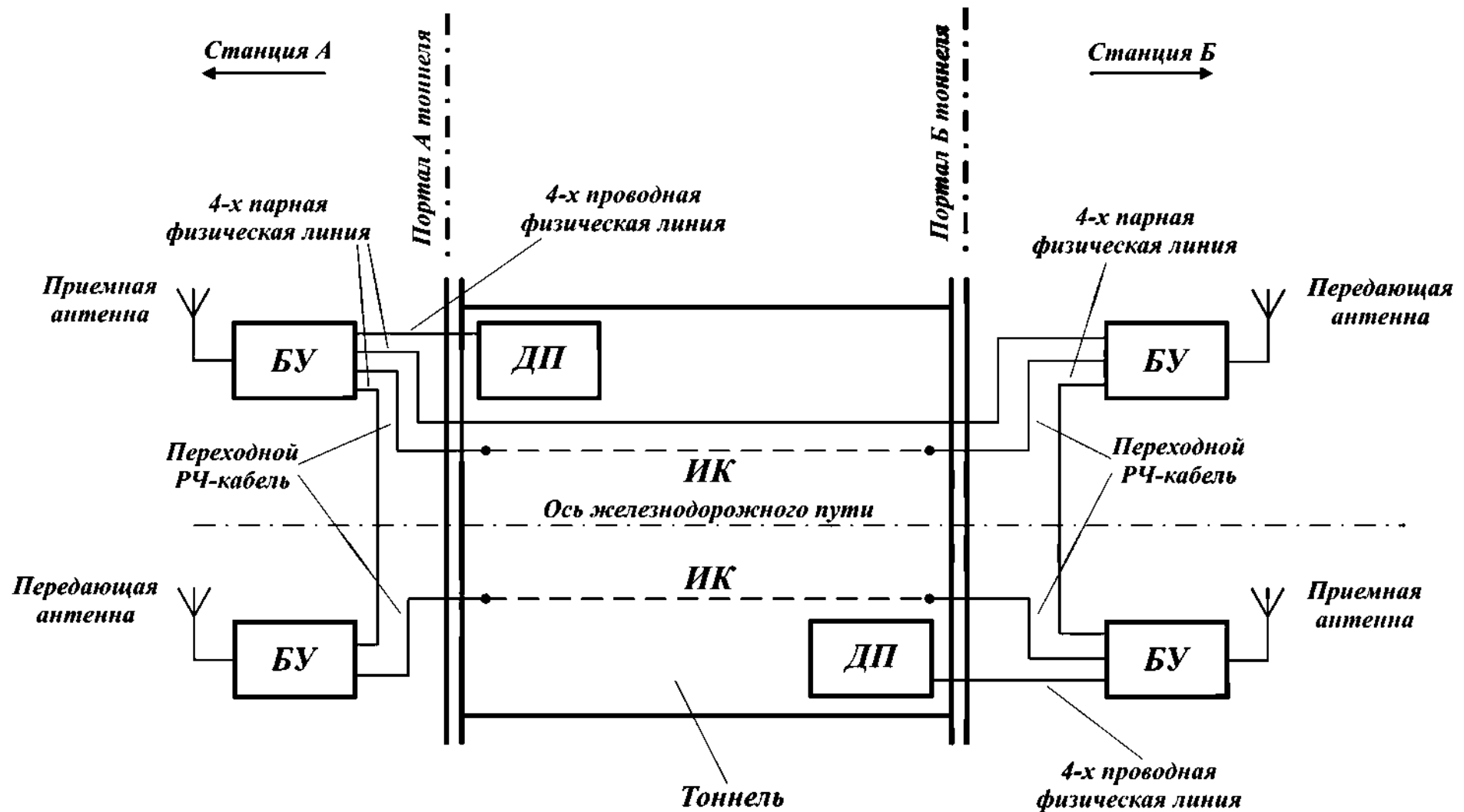


Рис. 2.5. Схема организации СПДР-Т в тоннеле типа 1.

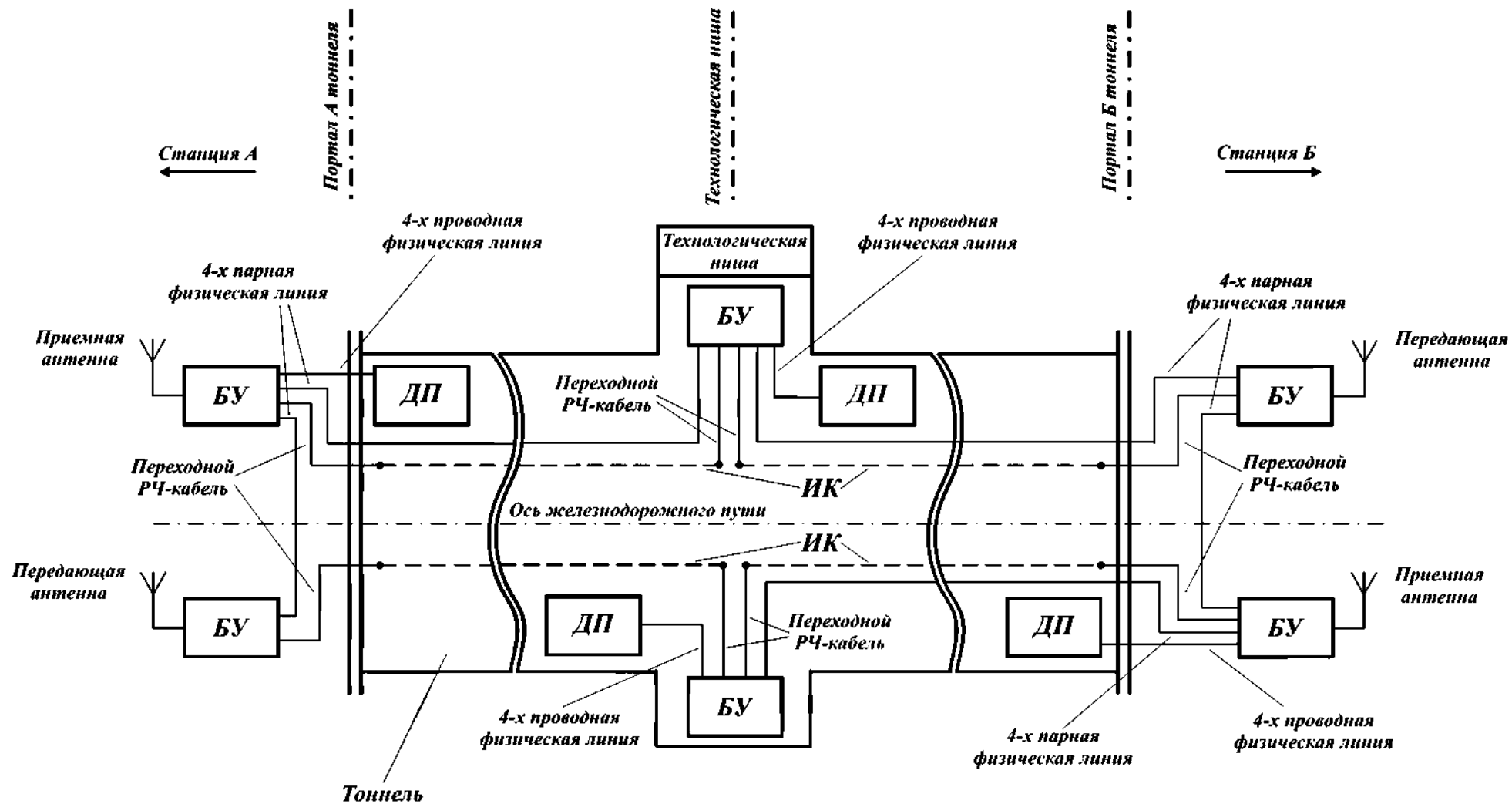


Рис. 2.6. Схема организации СПДР-Т в тоннелях типов 2 и 3.

2.5. Организация резервирования стационарных радиостанций поездной радиосвязи

2.5.1. На железнодорожных участках, обеспеченных двухдиапазонными (ГМВ и МВ) стационарными и возимыми радиостанциями ПРС, в качестве резервных радиостанций необходимо использовать радиостанции МВ диапазона. При этом резервирование может считаться реализованным только в том случае, если дальность радиосвязи в МВ диапазоне удовлетворяет требованиям ПТЭ.

2.5.2. На железнодорожных участках, на которых обращается тяговый подвижной состав, оборудованный радиостанциями только одного диапазона ГМВ, в качестве резервных стационарных радиостанций следует использовать дополнительные радиостанции ГМВ диапазона.

2.5.3. Резервирование с использованием второй радиостанции диапазона ГМВ необходимо производить в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 2.7. При резервировании должна осуществляться коммутация:

- цепей питания радиостанций;
- пультов управления стационарных (основного и резервного);
- линии диспетчерской связи;
- цепей подключения регистраторов служебных переговоров и речевых информаторов;
- антенного фидера.

Для упрощения схемы на рисунке 2.7. коммутация цепей каждого устройства условно показана одним ключом. Реальное число требуемых коммутационных ключей определяется количеством проводов, соединяющих радиостанцию с соответствующим внешним устройством. Например, линия диспетчерской связи может быть двух- или четырехпроводной, и соответствующее ей устройство коммутации должно иметь два или четыре ключа.

2.5.4. Устройства коммутации следует конструктивно объединять в блоке резервирования.

2.5.5. Для осуществления коммутации цепей необходимо использовать коммутационные устройства (КУ), управляемые напряжением от источника питания. Подача управляющего напряжения на все КУ должна производиться одним общим тумблером резервирования, который целесообразно опломбировать.

2.5.6. Цепи питания основной и резервной радиостанций необходимо подключать к источнику электроэнергии через отдельные автоматические выключатели или предохранители.

2.5.7. Коммутацию цепей питания радиостанции следует выполнять с

помощью специального КУ, допускающего работу с этими напряжениями и с токами, соответствующими мощности, потребляемой основной и резервной радиостанцией. Например, может быть использовано реле первого класса надежности.

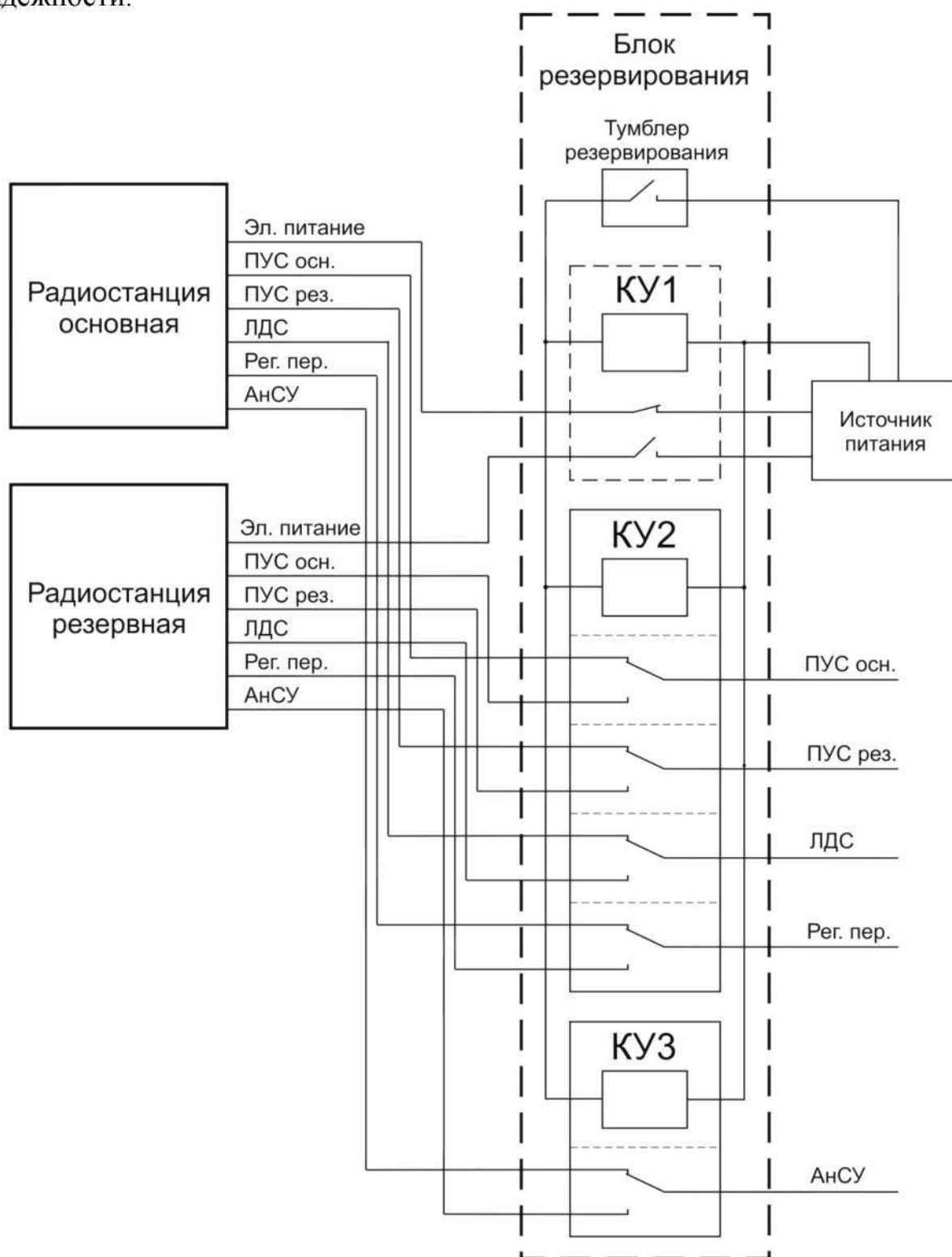


Рис. 2.7. Схема организации резервирования стационарной радиостанции поездной радиосвязи.

2.5.8. В том случае, если в схеме резервирования используются элементы коммутации цепей 220В, необходимо обеспечить выполнение соответствующих требований по защите персонала от прямого и косвенного прикосновения к токоведущим частям, а также учёт этих требований при разработке технологических процессов обслуживания данного оборудования.

2.5.9. Для упрощения и повышения безопасности схемы резервирования из нее может быть исключено КУ, коммутирующее цепи питания радиостанций. В этом случае отключение питания основной радиостанции и включение питания резервной радиостанции при переходе на нее будет необходимо производить с помощью соответствующих тумблеров включения/выключения электропитания радиостанций.

2.5.10. Коммутация слаботочных цепей основного и резервного пультов управления, линии диспетчерской связи, цепей подключения регистратора служебных переговоров, должна выполняться с помощью реле первого класса надежности (или иного КУ, обеспечивающего не меньшую надежность). На схеме рисунка 2.7. для коммутации перечисленных слаботочных цепей используется КУ2. В реальной схеме в зависимости от количества коммутируемых каналов может потребоваться более одного КУ.

2.5.11. В отдельных случаях для упрощения схемы резервирования допускается использование с основной радиостанцией только основного пульта управления, а с резервной – только резервного. При использовании такого решения коммутация цепей подключения пультов управления при переходе на резервную радиостанцию не требуется.

2.5.12. Для коммутации высокочастотного коаксиального фидера, идущего от радиостанции к общему для основной и резервной радиостанций антенно-согласующему устройству, следует использовать высокочастотное КУ, например высокочастотное антенное реле РЭВ-14 или РЭВ-15 (на рисунке 2.7. – КУ3).

2.5.13. При организации резервирования радиостанций не допускается использовать второе устройство возбуждения. При нахождении двух рядом расположенных устройств возбуждения возможен выход из строя приемника одной из радиостанций.

2.5.14. Для организации резервирования в сетях радиосвязи, построенных на радиостанциях и диспетчерских станциях, имеющих стыки с сетью передачи данных Ethernet, целесообразно предусмотреть режим резервирования устройств. Резервируемые блоки должны включать в себя основной и резервный комплекты, обеспечивать переключение стационарных радиостанций на резервные по результатам тестирования и передачу сообщения о переключении на диспетчерскую станцию.

2.6. Организация цифровых сетей технологической радиосвязи стандартов TETRA (460 МГц) и GSM-R (900 МГц)

2.6.1. На рисунке 2.8 представлена структурная схема сети стандарта TETRA. На схеме использованы следующие обозначения: BTS – оборудование базовой станции (БС), соединенное с управляемым коммутационным блоком по линии E1. Оборудование БС выполняет основные функции, связанные с передачей радиосигналов: сопряжение с мобильной связью (МС), шифрование линий связи, пространственно-разнесенный прием, управление выходной мощностью мобильных радиостанций, управление радиоканалами и т.д.

Связь подвижного абонента с другими абонентами, как подвижными, так и стационарными, осуществляется через управляемый коммутационный блок. Управляемый коммутационный блок имеет гибкую модульную

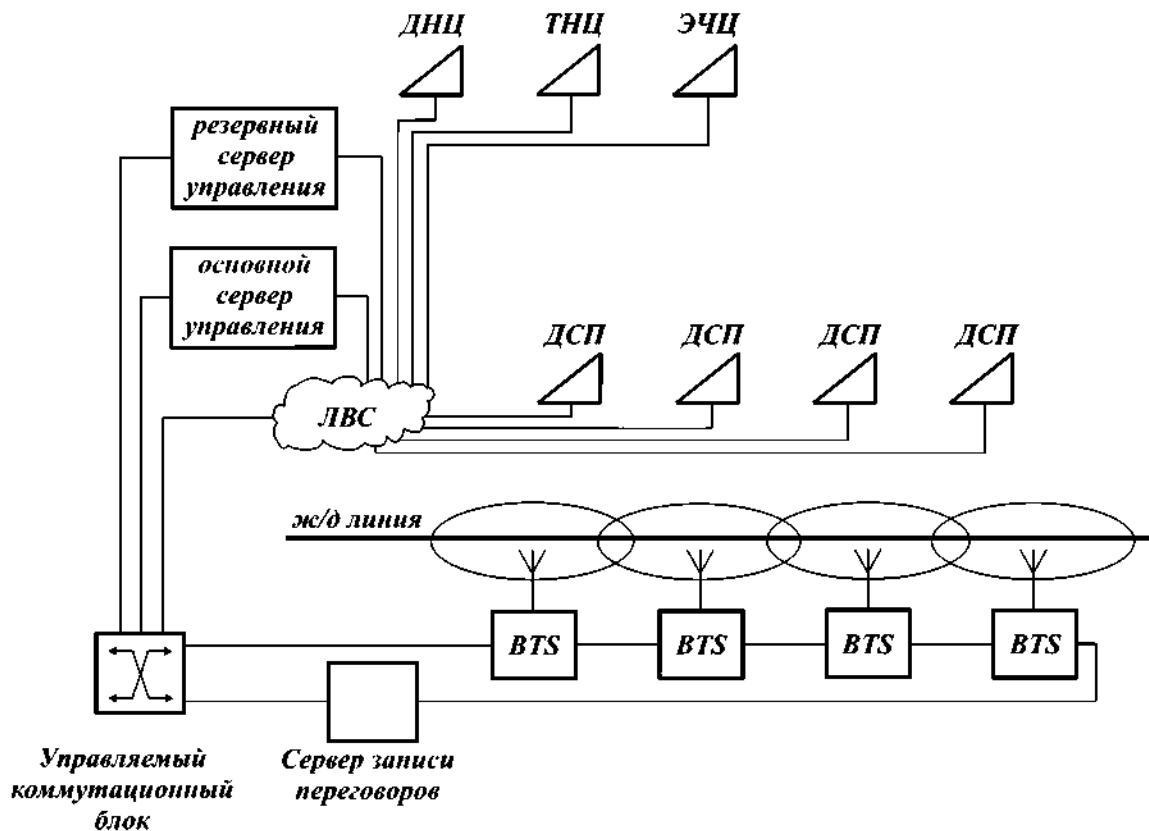


Рис. 2.8. Структурная схема организации сети стандарта TETRA

структуру, позволяющую использовать большое число интерфейсов разного типа. Он выполняет функции сопряжения с другими сетями и управления централизованными базами данных. Все переговоры, связанные с управлением движением, регистрируются и записываются сервером записи служебных переговоров.

Сервер управления обеспечивает управление и обслуживание сети, контроль за ее состоянием. Основной сервер резервируется горячим резервом.

2.6.2. Функциональное построение, принятое в стандарте GSM-R,

иллюстрируется структурной схемой (рис 2.9), на которой: BTS (Base Transceiver Station) – базовая приемо-передающая станция, MSC (Mobile Switching Centre) – центр коммутации мобильной связи, RBC (Radio Block Center) – элемент системы управления движением поездов, PBX – телекоммуникационный центр диспетчерской связи, SMSC (Short Message Service Centre) – центр обработки коротких сообщений, VMSC (Voice Mail Service Center) – центр услуг голосовой почты, AckC (Acknowledgment Center) – центр подтверждения аварийных вызовов, IN (Intelligent Network) – интеллектуальная сеть.

Оборудование, входящее в состав сети стандарта GSM-R, имеет следующее функциональное назначение.

2.6.2.1. Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу базовых станций и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. Через MSC организуется связь с другими сетями (PBX, GSM-R смежных и других железных дорог и т.д.), в этом случае в MSC осуществляется согласование между различными протоколами и интерфейсами этих сетей. MSC обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме того, MSC управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления. Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся подвижным абонентам. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. В стандарте GSM-R предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя регистры положения HLR и перемещения VLR.

2.6.2.2. В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов станции. Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента, использующийся для опознания подвижной станции в AUC (Authentication Centre) – центре аутентификации.

Практически HLR (Home Location Register) – домашний регистр местоположения представляет собой справочную базу данных о постоянно «прописанных» в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о перемещении абонента, включая данные о временном идентификационном номере абонента (TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) – временный идентификационный номер мобильного абонента) и соответствующем VLR (Visitors Location

Register) – гостевой регистр местоположения (регистр перемещения). Для функциональной адресации используется соответствующий регистр FAR, групповые и циркулярные вызовы обеспечивает GCR (Group Call Register) – регистр групповых вызовов. Для записи информации, связанной с управлением движения поездов, оборудуется REC (Record) – сервер регистрации и записи служебных переговоров.

2.6.2.3. Второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижениями подвижной станции из зоны в зону, – регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере (идентификаторе) локальной зоны LA (Location Area), которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции.

Для сохранности данных, находящихся в VLR и HLR, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

2.6.2.4. EIR (Equipment Identification Register) – регистр идентификации оборудования, содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования подвижной станции.

2.6.2.5. NMC (Network Management Center) – центр управления сетью, позволяющий обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM-R. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, управление трафиком и диспетчерское управление при аварийных ситуациях (например, выход из строя устройства или перегрузка узлов). Кроме того, он контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC.

2.6.2.6. TRAU/TCE Transcoding Rate Adaptation Unit / Transcoder) – блок перекодирования и адаптации по скорости передачи / транскoder – обеспечивает преобразование выходных сигналов канала передачи речи и данных MSC (64 кбит/с ИКМ) в цифровой сигнал со скоростью 13 кбит/с, что соответствует рекомендациям GSM по радиоинтерфейсу (Рек. GSM 04.08).

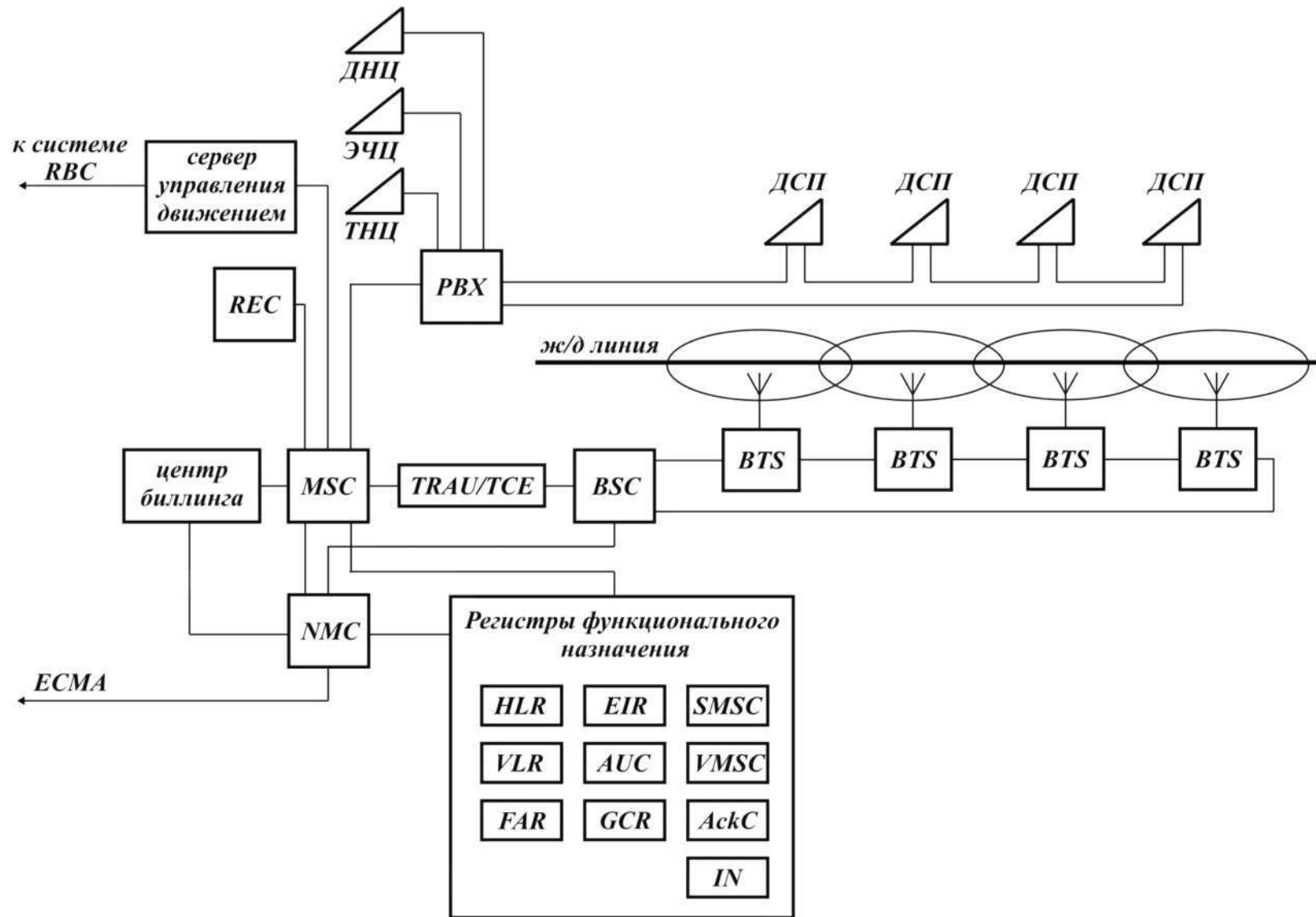


Рис. 2.9. Структурная схема организации сети стандарта GSM-R

III. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ КАНАЛОВ В СЕТЯХ ПРС

3.1. Организация линейных каналов ПРС-С в цифровых сетях связи

3.1.1. Для линейных каналов ПРС-С в цифровых сетях связи технологического сегмента должны выделяться групповые каналы ОЦК.

3.1.2. Групповые каналы ОЦК должны организовываться в первичных мультиплексорах систем передачи SDH (PDH) или в коммутационных станциях ОТС-Ц.

3.1.3. В качестве СР должны использоваться коммутационные станции ОТС-Ц, настроенные для работы с линейными каналами ПРС. В отдельных случаях в качестве СР могут использоваться аналоговые распорядительные станции СР-234М.

3.1.4. В качестве РС должны использоваться радиостанции РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46М и РС-46МЦ.

3.1.5. Подключение РС к цифровым сетям связи по аналоговому стыку должно осуществляться по четырехпроводной схеме. Если выбор РС осуществляется на СР при использовании общего канала сигнализации (ОКС), то разрешается подключать РС по двухпроводной схеме.

Подключение радиостанций с аналоговым интерфейсом осуществляется к соответствующему линейному блоку коммутационной станции, а затем к первичному мультиплексору.

3.1.6. Аналоговые ответвления линейных каналов должны подключаться к цифровым сетям по двухпроводной схеме.

3.1.7. Подключение радиостанции РС-46МЦ с цифровым интерфейсом к коммутационным станциям ОТС-Ц должно осуществляться по интерфейсу (E1) G.703.

3.1.8. При сопряжении по четырехпроводной схеме с использованием адаптеров радиостанций АПК4 необходимо использовать следующие измерительные уровни:

передача в сторону РС..... плюс 4 дБ;
прием от РС..... минус 13 дБ;

3.1.9. При сопряжении по двухпроводной схеме необходимо использовать следующие измерительные уровни:

передача в сторону РС..... плюс 5 дБ;
прием от РС..... минус 14 дБ.

3.1.10. Схема организации линейных каналов ПРС-С в цифровых сетях связи приведена на рис. 3.1.

3.1.11. При организации линейных каналов в цифровых системах передачи могут использоваться каналы IP-сети с подключением стационарных радиостанций по интерфейсу Ethernet в соответствии с

протоколом IEEE-802.3. Технология сетевого взаимодействия распорядительных станций и стационарных радиостанций поездной радиосвязи должна соответствовать стандартным протоколам IP-сети.

Возможная схема организации линейной сети ПРС при использовании IP-сети в качестве проводного канала показана на рисунке 3.2.

3.1.12. В случае использования в сети ПРС системы передачи для смешанного трафика (TDM и Ethernet) подключение оборудования может быть выполнено в соответствии со схемой, приведенной в качестве примера на рисунке 3.3.

На схеме показано одновременное подключение к сети ПРС оборудования как с цифровыми (Ethernet и E1), так и с аналоговыми интерфейсами.

В схеме используется следующее оборудование: коммутационная станция с одновременно функционирующими линейными интерфейсами: Ethernet, E1 и аналоговым; стационарные радиостанции с Ethernet-интерфейсом; стационарные радиостанции с E1-интерфейсом, стационарные радиостанции с аналоговым интерфейсом; автоматизированное рабочее место АРМ ПРС; преобразователь Ethernet, E1 / аналог.

3.1.13. При организации сети со смешанным трафиком необходимо руководствоваться следующими принципами.

3.1.13.1. При проектировании линейного канала поездной радиосвязи необходимо предусматривать, по возможности, оборудование с линейными интерфейсами Ethernet.

При отсутствии такой возможности должно использоваться оборудование с линейными интерфейсами E1 или аналоговыми.

3.1.13.2. Стационарные радиостанции с одинаковыми линейными интерфейсами должны быть сгруппированы по участкам. Для организации радиосвязи на аналоговом ответвлении цифровые сигналы с ближайшего цифрового выхода линейного канала поездной радиосвязи должны быть преобразованы с помощью преобразователя Ethernet, E1 / аналог (на базе блока РПО коммутационной станции).

3.1.13.3. В качестве коммутационных следует использовать коммутационные станции СР-Ц-04, а в качестве стационарных радиостанций: РВС-1 с Ethernet-интерфейсом (ЦВИЯ. 464514.005-12, -13, -14) и РС-46МЦ с цифровым E1 или аналоговым интерфейсом (ЦВИЯ. 464514.001-06, -07, -08, -16, -17, -18). Коммутационная станция СР-Ц-04 предназначена для управления работой линейных сетей поездной и ремонтно-оперативной радиосвязи. К ней подключаются до 12 кругов поездной и ремонтно-оперативной радиосвязи. Каждый круг может содержать до 60 стационарных радиостанций.

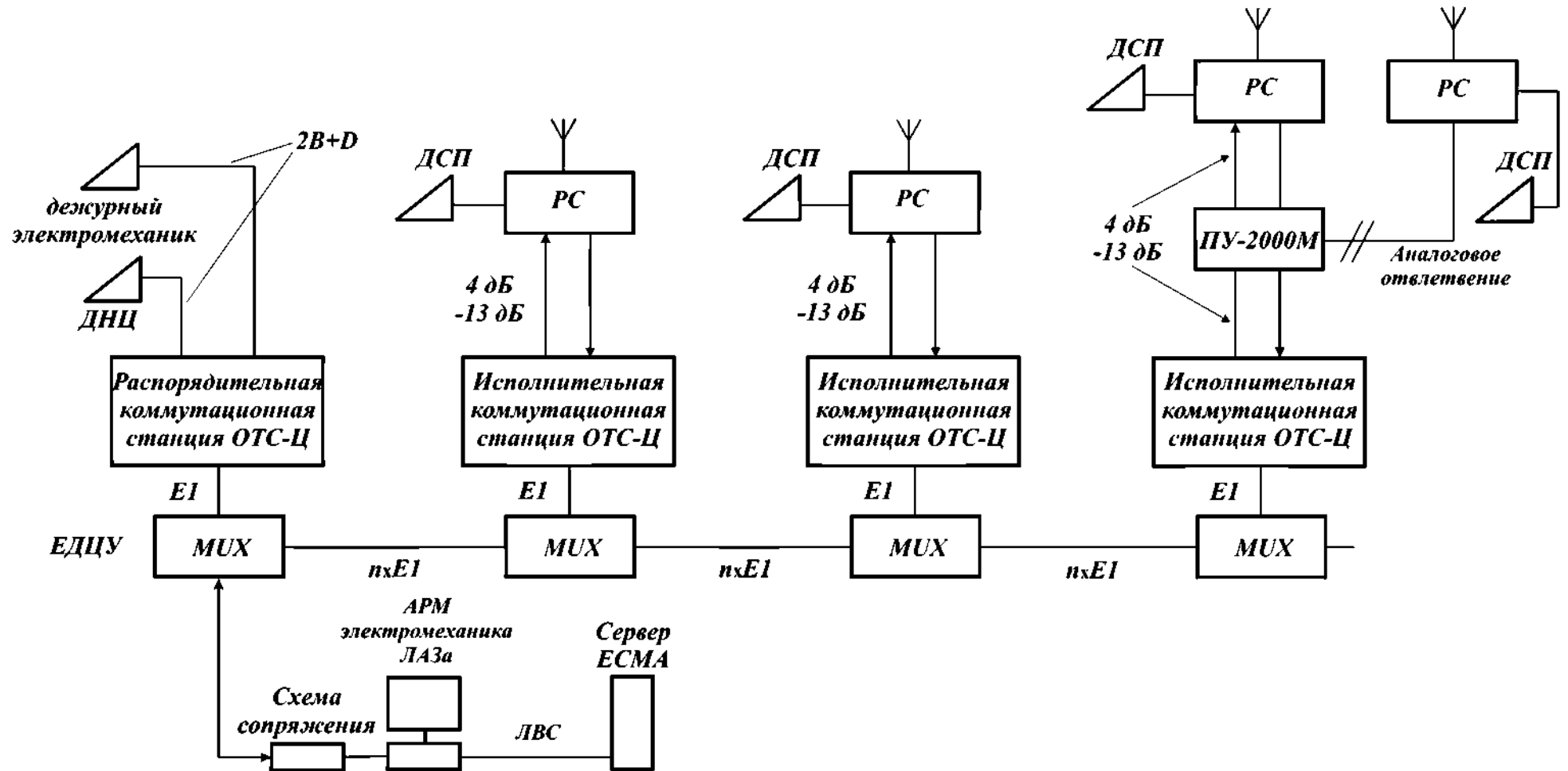


Рис. 3.1. Схема организации линейных каналов ПРС-С в цифровых сетях

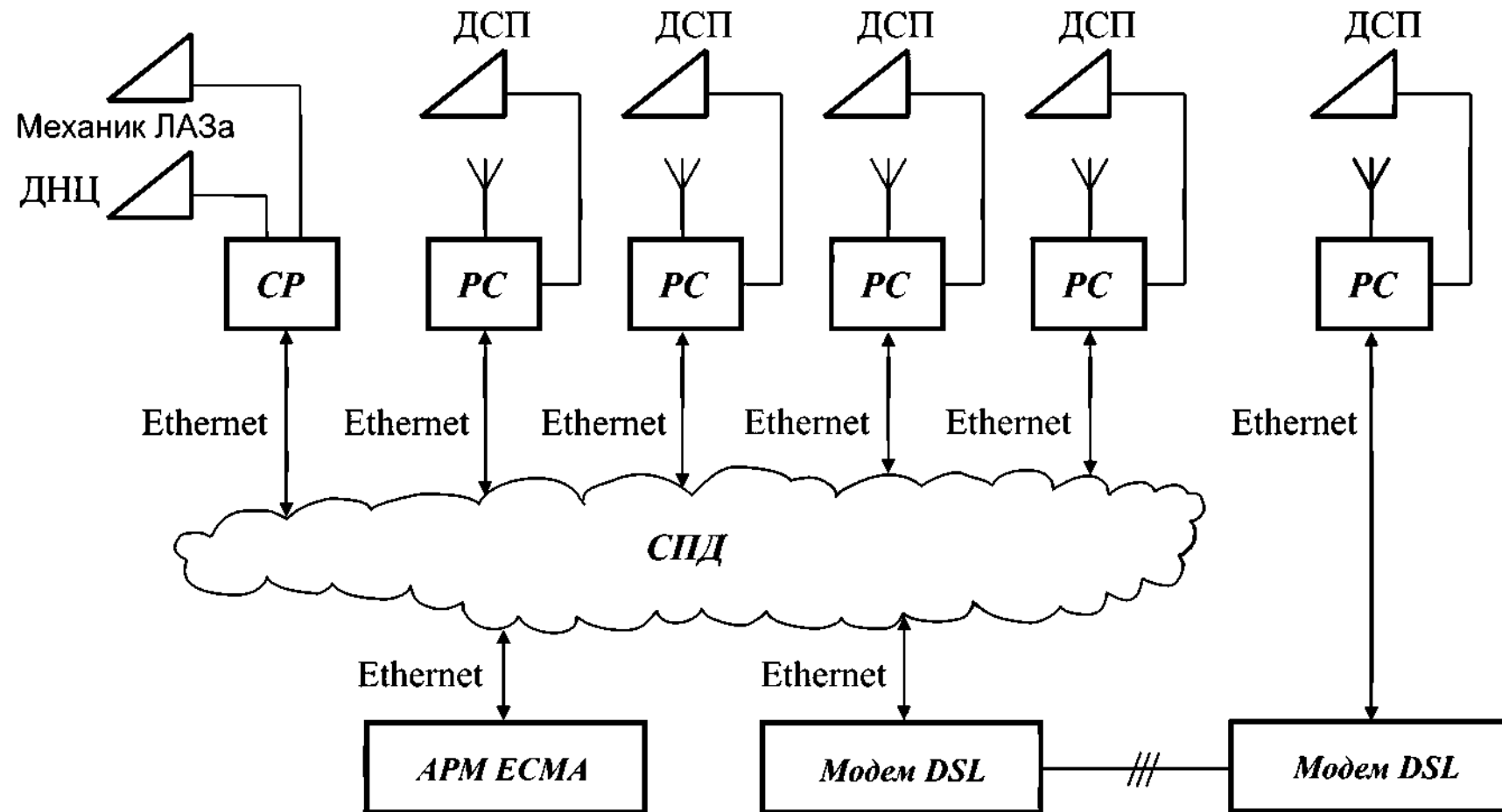


Рис. 3.2. Пример схемы организации линейной сети ПРС при использовании IP-сети в качестве проводного канала

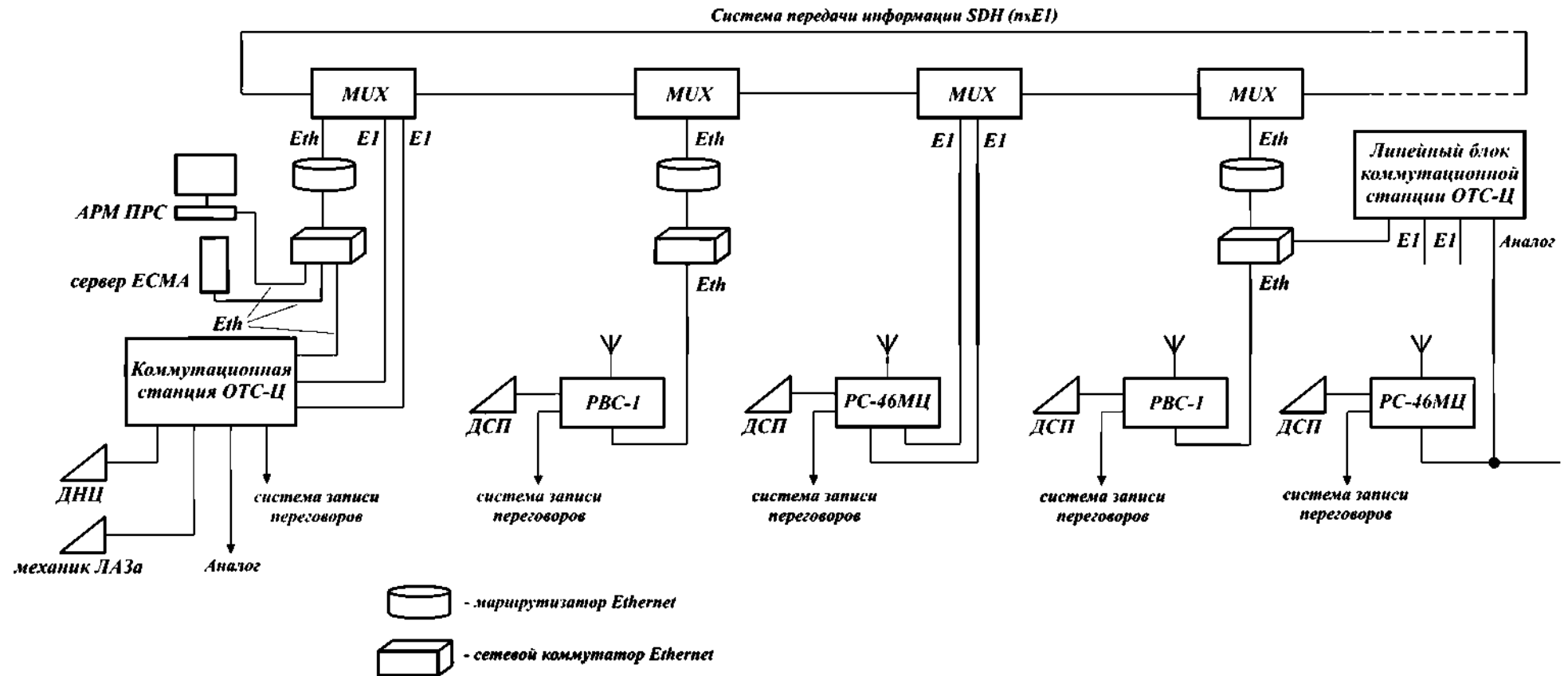


Рис. 3.3. Пример схемы организации поездной радиосвязи на базе системы передачи для смешанного трафика, коммутационной станции, стационарных радиостанций с цифровыми и аналоговыми интерфейсами

Коммутационная станция состоит из блока РПО и пультов Superset 4150 с консолями. Блок РПО имеет внутренний 100% резерв. К блоку РПО по двухпроводному Ur0-интерфейсу подключаются до 12 пультов. На каждые три или более кругов устанавливается один пульт дежурного электромеханика, с которого обеспечивается подключение к любой стационарной радиостанции этих кругов. Пульты могут быть удалены от блока РПО на расстояние до 1,5 км при подключении их к РПО экранированным кабелем - витая пара 5-й категории.

3.2. Организация линейных каналов ПРС-С в аналоговых сетях связи

3.2.1. Линейные каналы ПРС-С в аналоговых сетях связи, как правило, должны быть выделенные, несовмещенные с каналами ПДС.

3.2.2. В качестве выделенных каналов связи для сети ПРС-С должны использоваться групповые каналы НЧ, прямые каналы ТЧ для подтягивания, а также различные сочетания выше перечисленных каналов в зависимости от построения диспетчерского участка и применяемых на нем средств связи.

3.2.3. Проводной канал связи сети ПРС-С должен удовлетворять следующим требованиям.

Групповой канал НЧ

Полоса эффективно передаваемых частот, Гц:

КЛС без дуплексных усилителей	300-3400
КЛС с дуплексными усилителями	300-2400

Номинальный уровень измерительного сигнала на согласованной нагрузке, дБ:

на входе	плюс 5,0
на выходе	минус 14

Соотношение с/ш в точках подключения СР и РС, дБ, $\geq$ 26

Допустимые затухания канала связи на частоте 1000 Гц, дБ, $\leq$ 19

Групповой канал ТЧ

Полоса эффективно передаваемых частот, Гц 300-3400

Номинальный уровень измерительного сигнала на согласованной нагрузке, дБ:

на входе	минус 13
на выходе	плюс 4

3.2.4. К аппаратуре сети ПРС-С, подключаемой к линейному каналу связи, относятся: распорядительные станции, устройства сопряжения ПУ-ВЧ (например, ПУ-2000М), стационарные радиостанции.

3.2.5. Аппаратура сети ПРС-С, подключаемая к каналам связи, должна обеспечивать:

Входное и выходное сопротивление при подключении к

каналам НЧ и ТЧ, организованным по КЛС и ВЛС:

при высокоомном подключении к КЛС (ВЛС), кОм, не менее 10 (20)
 при согласованном подключении к КЛС, Ом, 470±120
 при согласованном подключении к ВЛС, Ом, 1400±200

Входное и выходное сопротивления при подключении к каналам ТЧ в диапазоне рабочих частот, Ом, 600±120

Среднее значение психофизического напряжения собствен. шумов на линейном выходе на нагрузке 600 Ом:

для РС, мВ, не более 0,3

для СР, мВ, не более 0,1

Регулировку уровней сигналов в режиме передачи в двухпроводную линию, дБ, не менее 19

Затухание асимметрии на входе и выходе аппаратуры:

при подключении к каналам НЧ относительно земли на частоте 1000 Гц, дБ, не менее 74

при подключении к каналам ТЧ, дБ, не менее 57

3.2.6. При подключении аппаратуры сети ПРС-С к каналам НЧ, организованным по КЛС, должно использоваться кодовое управление РС.

3.2.7. Избирательное подключение РС к каналам связи и посылка вызова на СР должны осуществляться с помощью двухчастотных кодовых сигналов.

Номинальные значения частот, используемых в кодовых комбинациях, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Номера частот	2	6	7	9	12	14	16	17	19	20
Частота, Гц	1071	1207	1241	1309	1411	1479	1547	1581	1649	1683

В таблицах 3.2. и 3.3. приведены перечни кодовых комбинаций, используемых для избирательного подключения стационарных радиостанций РС-46М, РС-46МЦ соответственно к первой (СИП1) и второй (СИП2) распорядительным станциям.

3.2.8. Для передачи сигналов команд управления и контроля должны использоваться кодовые комбинации, приведенные в таблице 3.4.

Таблица 3.2

Перечень кодовых комбинаций СИП1

Номер комбинации	F1	F2	Номер комбинации	F1	F2	Номер комбинации	F1	F2
1	2	7	11	7	19	21	19	20
2	2	19	12	7	20	22	20	2

3	2	20	13	14	6	23	20	6
4	6	7	14	14	7	24	20	7
5	6	14	15	14	19	25	20	14
6	6	19	16	14	20	26	20	19
7	6	20	17	19	2	27	2	14
8	7	2	18	19	6	28	14	2
9	7	6	19	19	7			
10	7	14	20	19	14			

Таблица 3.3

Перечень кодовых комбинаций СИП2

Номер комбинации	1	2	Номер комбинации	1	2	Номер комбинации	1	2
29	16	2	39	17	6	49	12	7
30	16	6	40	17	7	50	12	14
31	16	7	41	17	9	51	12	19
32	16	9	42	17	12	52	12	20
33	16	12	43	17	14	53	9	6
34	16	14	44	17	16	54	9	14
35	16	17	45	17	19	55	9	19
36	16	19	46	17	20	56	9	20
37	16	20	47	12	2			
38	17	2	48	12	6			

Таблица 3.4

Команда	Кодовая комбинация	
	Номера частот	Частота, Гц
«Передача»	36-38	2227-2295
«Прием»	38-36	2295-2227
«Отбой»	2-6	1071-1207
«Контроль»	6-2	1207-1071
«Блокировка»	-	1343

3.2.9. На участках с электрической тягой переменного тока аппаратура ПРС-С к проводному каналу связи должна подключаться через вводно-защитные устройства ВЗУ, обеспечивающие электробезопасность обслуживающего персонала и защиту аппаратуры от опасных напряжений.

3.2.10. Схема организации линейных каналов ПРС-С в аналоговых сетях связи приведена на рис. 3.4.

3.3. Организация мониторинга состояния стационарных радиостанций и радиоканалов поездной радиосвязи.

3.3.1. Состояние всех стационарных радиостанций поездной радиосвязи должно дистанционно контролироваться с использованием системы мониторинга. Результаты дистанционного контроля радиостанций передаются на сервер ЕСМА. Подключение к серверу ЕСМА осуществляется в соответствии со схемами, показанными на рисунках 3.1. – 3.4.

3.3.2. Мониторинг включает два вида проверки:

дистанционный контроль состояния стационарных радиостанций поездной радиосвязи с использованием встроенных средств самодиагностики радиостанций (проводится, как правило, ежедневно);

дистанционный контроль качества каналов радиосвязи на перегонах, основанный на анализе прошедшего через радиоканал низкочастотного сигнала (проводится, как правило, ежемесячно).

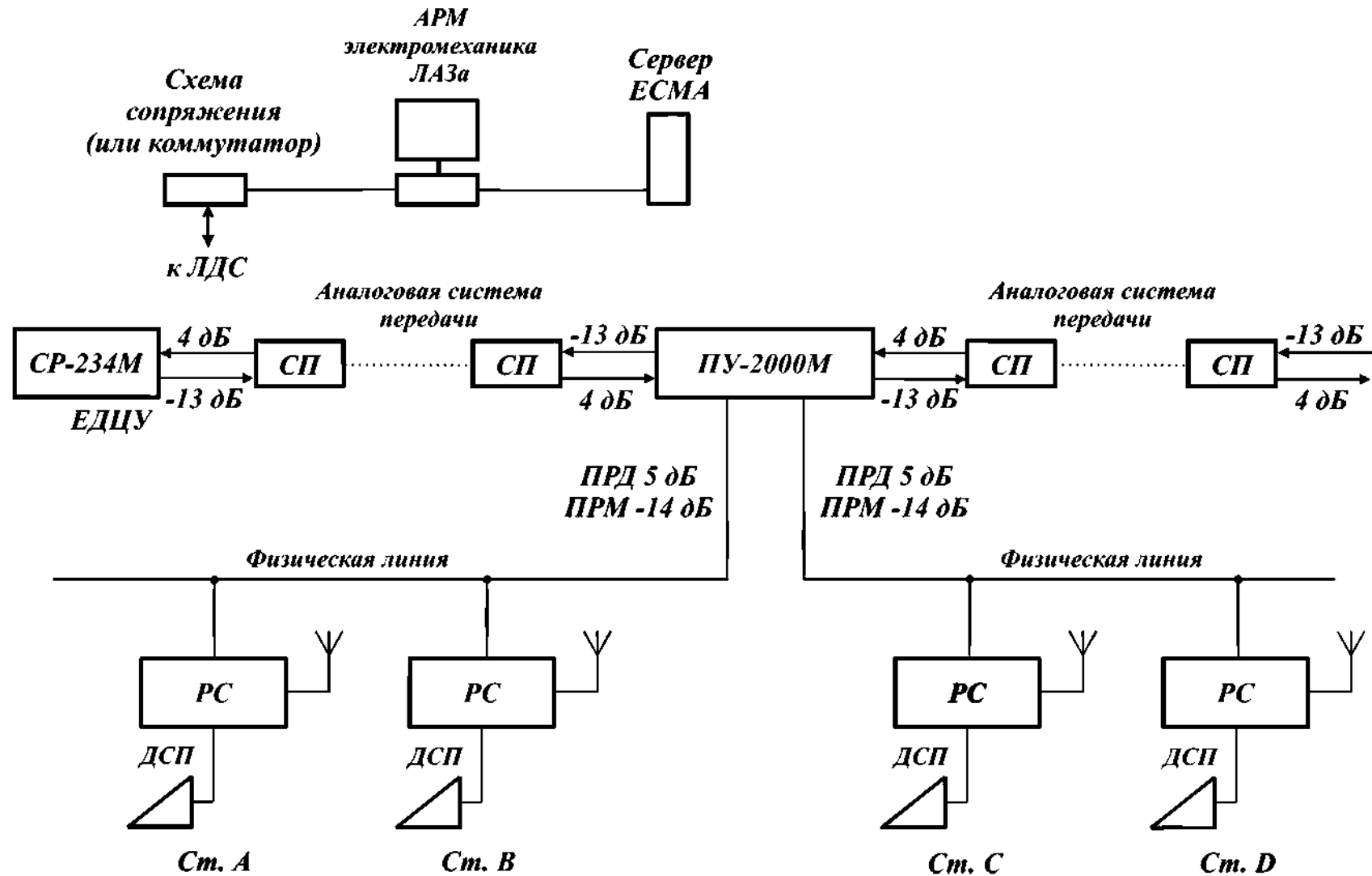


Рис. 3.4. Схема организации линейных каналов ПРС-С в аналоговых сетях связи

3.3.3. В зависимости от технической оснащенности сети поездной радиосвязи возможны несколько вариантов организации системы мониторинга.

3.3.3.1. В случае, если используемая на участке распорядительная станция поездной радиосвязи не позволяет проводить мониторинг радиостанций с отправкой результатов проверки на сервер ЕСМА (например, СР-234М), то мониторинг радиостанций следует проводить с применением программы «АРМ контроля». Компьютер с «АРМ контроля» подключается к линиям диспетчерской связи (далее – ЛДС), к которым подсоединены подлежащие мониторингу радиостанции. Подключение компьютера производится с использованием схемы сопряжения. Вид схемы зависит от вида используемой ЛДС (двух- или четырехпроводный канал) и от количества подключаемых к «АРМ контроля» групповых каналов. Различают три варианта схемы подключения:

схема подключения небольшого количества двухпроводных окончаний физических линий;

схема подключения небольшого количества четырехпроводных окончаний каналов тональной частоты;

подключение через программируемый коммутатор. Данная схема применяется в случае необходимости автоматического переключения каналов, а также при большом количестве подключаемых к «АРМ контроля» групповых каналов (ЛДС).

3.3.3.2. При использовании на участке цифровых распорядительных станций СР-Ц дистанционный контроль стационарных радиостанций и радиоканалов осуществляется с помощью программного обеспечения распорядительных станций, позволяющего отправлять результаты проверки на сервер ЕСМА.

3.3.4. Если в ходе мониторинга выявлена неисправность радиостанции (радиоканала), то это событие отображается в ЕСМА и сопровождается сигнализацией на пульте дежурного работника ЦТО. Дежурный работник ЦТО должен инициировать устранение неисправности, внести все необходимые записи в электронный лист регистрации событий, и, убедившись в том, что неисправность устранена, закрыть электронный лист регистрации данного события.

IV. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ В ГЕКТОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

4.1. Энергия высокой частоты в диапазоне гектометровых волн должна передаваться от передатчика к приемнику в системе ПРС как за счет полей излучения, так и за счет полей индукции. Второй способ нашел

большее распространение, так как высокочастотная энергия передатчика концентрируется и направляется вдоль трассы железной дороги с помощью направляющих линий, благодаря чему в условиях интенсивных промышленных помех обеспечиваются требуемые дальность и качество связи.

4.2. В качестве направляющих линий должны использоваться линии, выполненные с применением сталемедных проводов, подвешенных на опорах контактной сети, опорах ВЛ, отдельно стоящих опорах, на элементах конструкций тоннелей и других искусственных сооружений. В зависимости от вида тяги, наличия ВЛ электропередачи, требований по обеспечению дальности связи, направляющими линиями могут служить специально подвешиваемые волноводные провода (одно- и двухпроводные волноводы), цветные цепи воздушных линий связи; провода ДПР, ВЛ и ПП. Не разрешается использовать в качестве направляющих линий экранирующие провода и тросы группового заземления.

4.3. Подвеску однопроводного волновода следует предусматривать на основных направлениях железных дорог.

Кроме того, подвеску однопроводного волновода следует предусматривать при электрической тяге постоянного тока, если отсутствуют линии ВЛ, а расположение имеющихся линий ВЛС не отвечает требованиям, указанным в пункте 4.8; при электрической тяге переменного тока и подвеске проводов ДПР с разных сторон путей на перегонах протяженностью свыше 12 км; при автономной тяге – в случае, когда ВЛС не отвечает требованиям, приведенным в пункте 4.8, и необходимая дальность связи не может быть обеспечена с помощью стационарных антенн.

На участках с автономной тягой однопроводный волновод не следует применять с подвешиванием на самостоятельных опорах (кроме тоннелей), поскольку в этом случае сигнал испытывает повышенное погонное затухание, и дальность связи оказывается очень низкой.

На участках электротяги переменного тока для увеличения дальности связи на протяженных перегонах следует использовать противофазное возбуждение пары проводов, подвешенных с одной стороны путей.

4.4. Подвеску двухпроводного волновода следует предусматривать:

на перегонах, где требуемая дальность связи не может быть обеспечена при использовании других типов направляющих линий;

на участках со сложным рельефом местности, где обращаются длинносоставные, скоростные и тяжеловесные поезда;

в местах высокочастотных обходов тяговых подстанций постоянного и переменного тока; при наличии кабельных вставок на ВЛ;

в тоннелях длиной свыше 300 м и на перегонах, содержащих несколько тоннелей.

4.5. Для повышения эффективности использования проводов ДПР, ПП и ВЛ в качестве направляющих линий следует применять противофазное возбуждение двух высоковольтных проводов; предусматривать высокочастотную обработку отпаев от проводов ВЛ, высокочастотных обходов тяговых подстанций и разъединителей, находящихся при нормальных условиях эксплуатации в разомкнутом состоянии.

4.6. Провода ДПР, ПП и ВЛ могут использоваться в качестве направляющих линий поездной радиосвязи на однопутных участках постоянного и переменного тока; на двухпутных участках переменного тока, электрифицированных по системе 2х25 кВ, и участках, электрифицированных по системе однофазного переменного тока в случае подвески обоих проводов ДПР на перегоне с одной стороны путей; на двухпутных участках постоянного тока; на двухпутных участках переменного тока при длине перегонов не более 12 км и подвеске проводов ДПР с разных сторон путей.

4.7. Сталеалюминевые провода ВЛ, подвешенные на отдельно стоящих опорах, могут использоваться в качестве направляющих линий на одно- и двухпутных участках с автономной тягой, если ВЛ проходит по равнинной или слабопересеченной местности на расстоянии не более 20 м от оси пути (в среднем по перегону).

4.8. Использование сталемедных проводов ВЛС в качестве направляющих линий следует предусматривать на одно- и двухпутных участках с автономной тягой, если линия связи не имеет кабельных вставок и проходит по равнинной или слабопересеченной местности (сталемедные провода ВЛС находятся не ниже 2 м над уровнем головки рельса). При этом расстояние от оси пути до ВЛС в среднем по перегону не должно превышать 30 м при автономной тяге. ВЛС не рекомендуется использовать в качестве направляющих линий, если в ближайшие годы планируется их замена на кабельные.

4.9. Стационарные антенны следует предусматривать при отсутствии в пределах станции направляющих проводов; на участках с автономной тягой, если воздушные линии связи на прилегающих к станции перегонах имеют кабельные вставки или отходят от железнодорожного полотна в середине перегона на расстояние свыше 30 м либо проходят по сильно пересеченной местности, когда провода линии связи снижаются на 2 м и ниже над уровнем головки рельса; на крупных станциях с большим путевым развитием, где расстояние между направляющей линией и наиболее удаленным путем превышает 80 и 50 м для ВЛС, 60 и 35 м для проводов ВЛ на участках с автономной и электрической тягой постоянного тока соответственно, 45 м – для проводов ДПР, подвешенных с одной стороны

путей в пределах станции. В последнем случае к стационарной радиостанции одновременно должны подключаться антенна и возбуждающие провода направляющих линий.

4.10. В качестве стационарных антенн следует применять Г-образные антенны, длина горизонтальной части которых

$$l_T = 0,25 \lambda - 0,5 H,$$

где: λ – длина волны, м; H – длина снижения, м.

4.11. При организации сети поездной радиосвязи с использованием направляющих линий должны быть приняты меры по обеспечению электробезопасности обслуживающего персонала и аппаратуры радиосвязи от электрического и магнитного влияния тяговой сети постоянного и переменного тока, линий высокого напряжения, а также грозových разрядов.

Защита персонала и аппаратуры от опасных влияний должна осуществляться за счет разрядников и заземляющих устройств, сооружаемых в соответствии с требованиями нормативных документов.

V. СТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ ГЕКТОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

5.1. Высокочастотное возбуждение направляющих линий

5.1.1. В большинстве случаев подключение РС к проводам направляющих линий осуществляется индуктивным способом, то есть посредством возбуждающих проводов, подвешиваемых параллельно проводам направляющих линий. Возбуждающие провода подключаются к СУ, входящему в состав РС. СУ должно соединяться с РС коаксиальным кабелем.

Возбуждающий провод представляет собой отрезок провода из цветного металла или антенного канатика общей длиной 40-42 м (несколько больше $\frac{1}{4}\lambda$), состоящий из горизонтальной части и снижения. Горизонтальная часть подвешивается параллельно направляющему проводу (под ним или сбоку от него), ее длина должна быть не менее 35 м.

Горизонтальная часть возбуждающего провода должна находиться на расстоянии:

0,25 м от проводов цветной цепи воздушной линии связи ВЛС;

0,5 м от волноводного провода;

0,6 м от проводов ВЛ 6 и 10 кВ;

0,8 м от проводов линии ДПР, ПП и ВЛ 35 кВ.

Возбуждение направляющих линий производится синфазной или противофазной волной. При синфазном возбуждении электромагнитная волна распространяется по волновому каналу, образованному между направляющим проводом (волноводом) и землей, а при противофазном

возбуждении – между двумя направляющими проводами. При противофазном возбуждении постоянная затухания направляющей линии значительно меньше, чем при синфазном возбуждении.

5.1.2. Высокочастотное возбуждение однопроводного волновода должно осуществляться по схеме, приведенной на рис. 5.1.

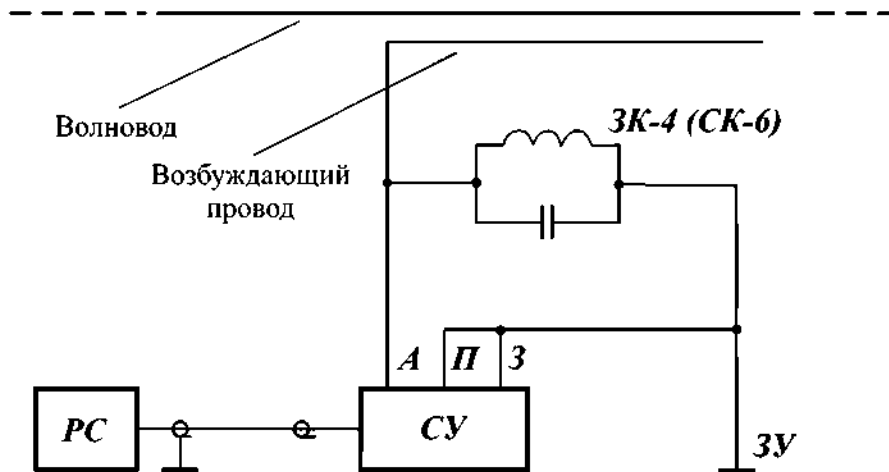


Рис. 5.1. Схема высокочастотного возбуждения однопроводного волновода

Коаксиальный кабель, соединяющий СУ с РС, должен иметь волновое сопротивление 50 Ом для радиостанций РВС-1, РВС-1-12, РЛСМ-10-40, РС-46М, РС-46МЦ, а также затухание на частоте 2130 кГц не более $(0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м. Таковы, например, кабели, представленные в таблицах П.10.1 и П.10.2. В таблице П.10.1 представлены кабели отечественного производства, соответствующие требованиям «Технического регламента о пожарной безопасности». В таблице П.10.2 представлены кабели зарубежного производства.

Заземление возбуждающих проводов должно производиться через ЗК-4 (или СК-6) на ЗУ.

5.1.3. В местах анкеровки волновода его высокочастотное возбуждение должно выполняться по схеме рис. 5.2. При этом необходимо, чтобы СУ находилось со стороны анкеровки, а изолированный конец возбуждающего провода был направлен в сторону, противоположную анкеровке.

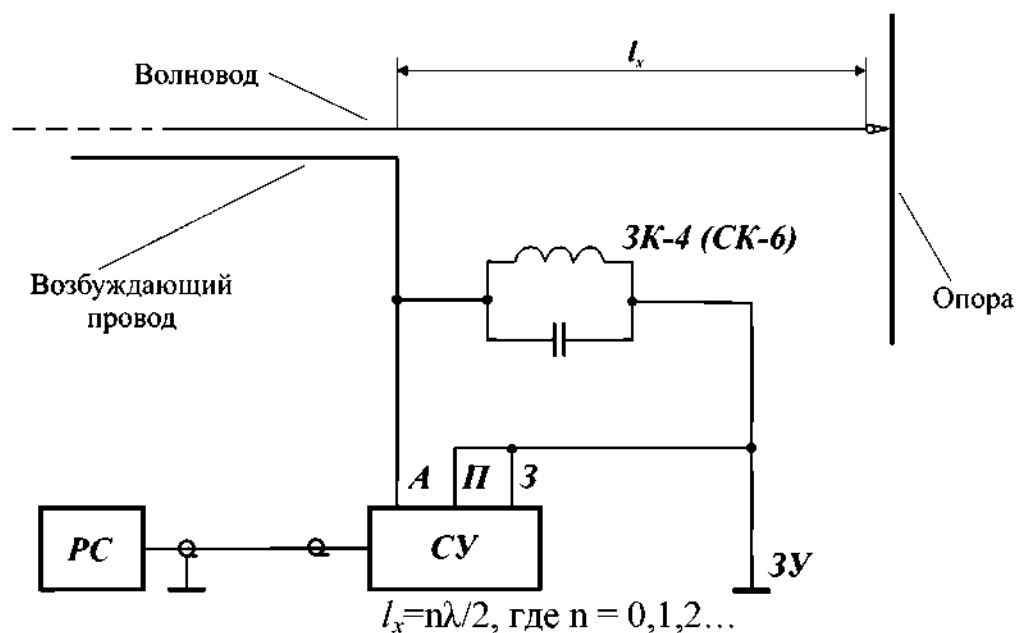


Рис. 5.2. Схема высокочастотного возбуждения однопроводного волновода в местах анкеровки

Длина отрезка волновода от анкеровки до возбуждающего провода l_x может быть равна нулю или кратна целому числу полуволн (70 м). Согласованная нагрузка на конце волновода в этом случае не устанавливается.

5.1.4. Симметричное высокочастотное возбуждение однопроводного волновода с разрывом волноводного провода должно осуществляться по схеме рис. 5.3., утвержденной ЦСС.

Применение данного способа возбуждения однопроводного волновода позволяет снизить или устранить взаимное мешающее влияние между стационарными радиостанциями поездной радиосвязи.

Данную схему следует применять для тех стационарных радиостанций поездной радиосвязи, на которых существует мешающее влияние от соседних стационарных радиостанций.

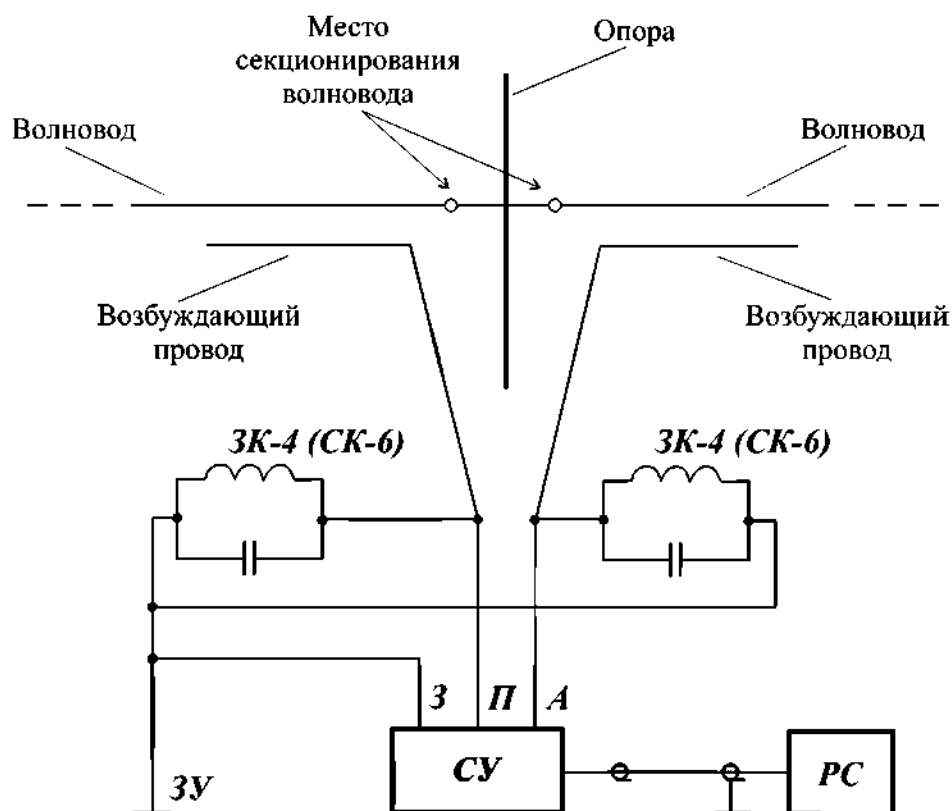


Рис. 5.3. Схема симметричного высокочастотного возбуждения однопроводного волновода

5.1.5. Подключение стационарных радиостанций к волноводному проводу через линейный трансформатор ЛТ-1Б осуществляется по схемам, представленным на рис. 5.4. для участков с электротягой переменного тока и на рис. 5.5. для участков с электротягой постоянного тока и с автономной тягой.

Применение данных схем позволяет уменьшить потери энергии в точке подключения радиостанции к направляющей линии, и за счет этого увеличить дальность связи. Схемы следует использовать, прежде всего, на перегонах большой длины, на которых возникают затруднения с обеспечением требуемой дальности радиосвязи.

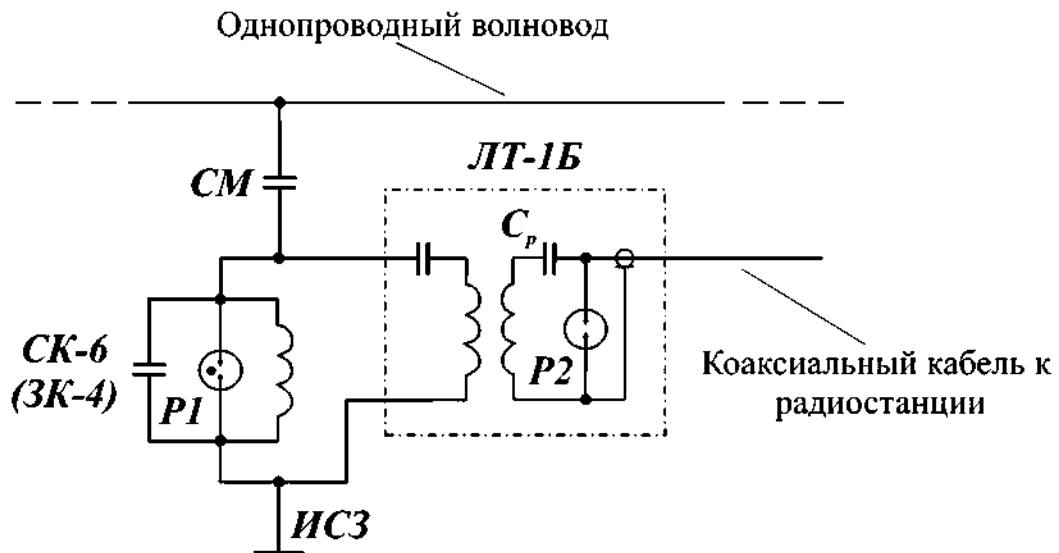


Рис. 5.4. Схема подключения стационарных радиостанций через линейный трансформатор к волноводному проводу на участках с электрической тягой переменного тока

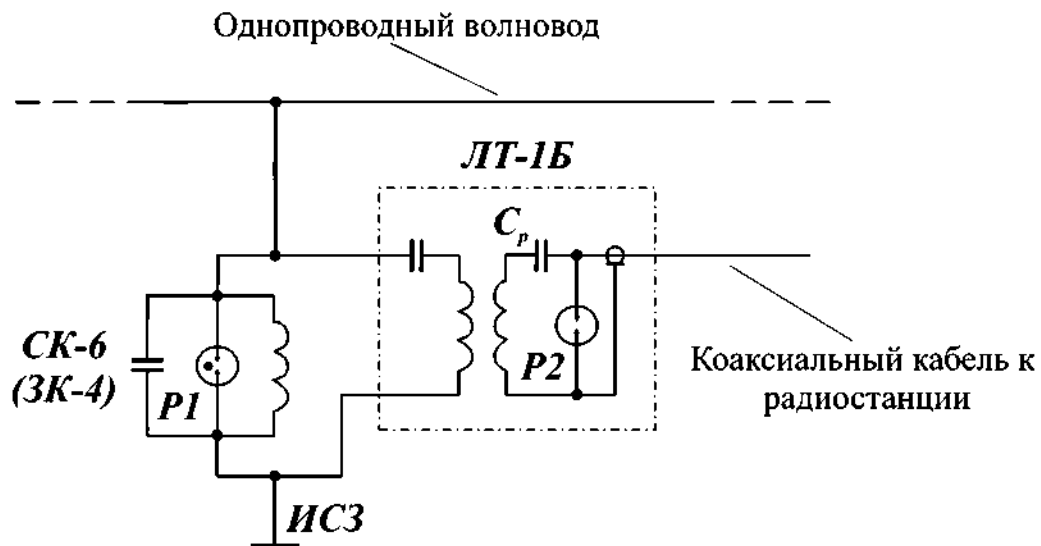


Рис. 5.5 Схема подключения стационарных радиостанций через линейный трансформатор к волноводному проводу на участках с электрической тягой постоянного тока и с автономной тягой

При присоединении стационарной радиостанции к волноводу, проходящему транзитом через станцию, применяется трансформатор ЛТ-1Б.

При анкеровке волноводного провода на станции присоединение должно выполняться на расстоянии не более 10 м от места анкеровки с использованием трансформатора ЛТ-1. При невозможности обеспечения присоединения на таком расстоянии, следует использовать другие схемы высокочастотного возбуждения волноводного провода.

На участках с электротягой переменного тока необходимо использовать конденсаторы связи $СМ$ типа $СММ - 20/\sqrt{3} - 35$.

В качестве конденсатора C_p должен применяться конденсатор емкостью не менее 0,05 мкФ на рабочее напряжение не менее 400 В. Дополнительный конденсатор устанавливается внутри корпуса трансформатора ЛТ между обмоткой трансформатора и центральной жилой коаксиального кабеля, идущего к стационарной радиостанции.

Для защиты приемопередатчика от перенапряжений, возникающих на рабочей частоте радиостанции, должны устанавливаться разрядники. В качестве разрядника P1 необходимо использовать разрядник с напряжением пробоя 170 – 230 В (тип P-83), а в качестве P2 – разрядник с напряжением пробоя 80 – 100 В (тип P-73В). Разрядник P1 необходимо размещать внутри корпуса кожуха контура, а разрядник P2 – внутри корпуса линейного трансформатора.

Все элементы схемы присоединения следует соединять биметаллическим проводом диаметром 4 мм с применением типовых соединителей, поставляемых изготовителем контуров и трансформаторов.

5.1.6. Высокочастотное возбуждение двухпроводного волновода должно осуществляться по схеме рис. 5.6. Расстояние между проводами направляющей линии в месте возбуждения и, соответственно, расстояние между возбуждающими проводами должно быть не менее 1 м.

Расстояние между осями контуров, укрепленных на одной траверсе, должно быть не менее 400 мм.

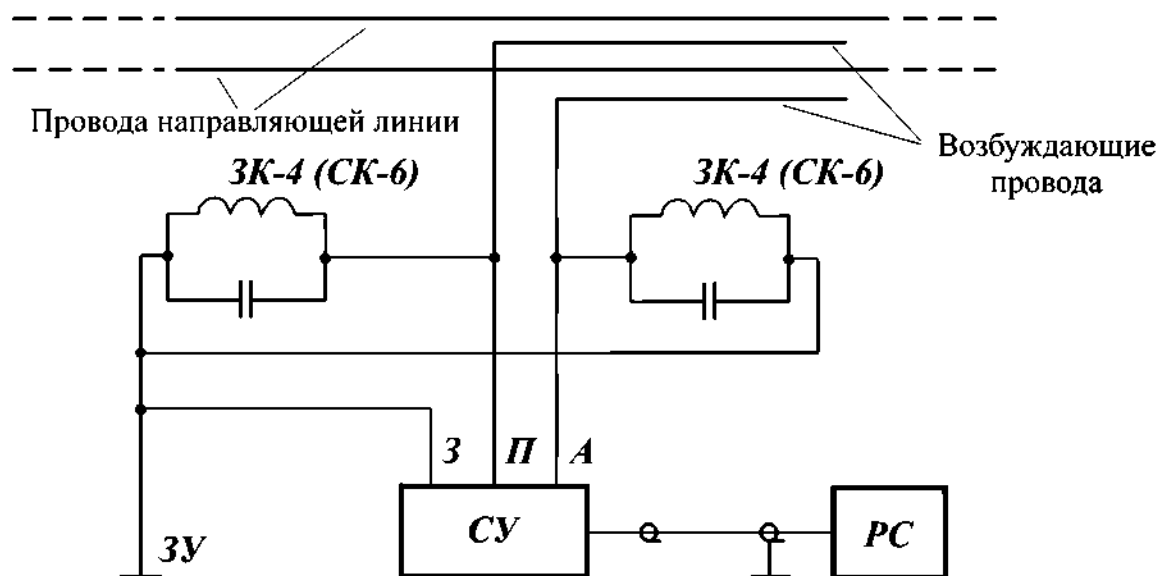


Рис. 5.6. Схема высокочастотного возбуждения двухпроводной направляющей линии

5.1.7. Высокочастотное возбуждение проводов цветной цепи воздушной линии связи должно осуществляться по схемам рис. 5.7. Устройство СУ

устанавливается на столбе линии связи и соединяется с радиостанцией с помощью коаксиального кабеля.

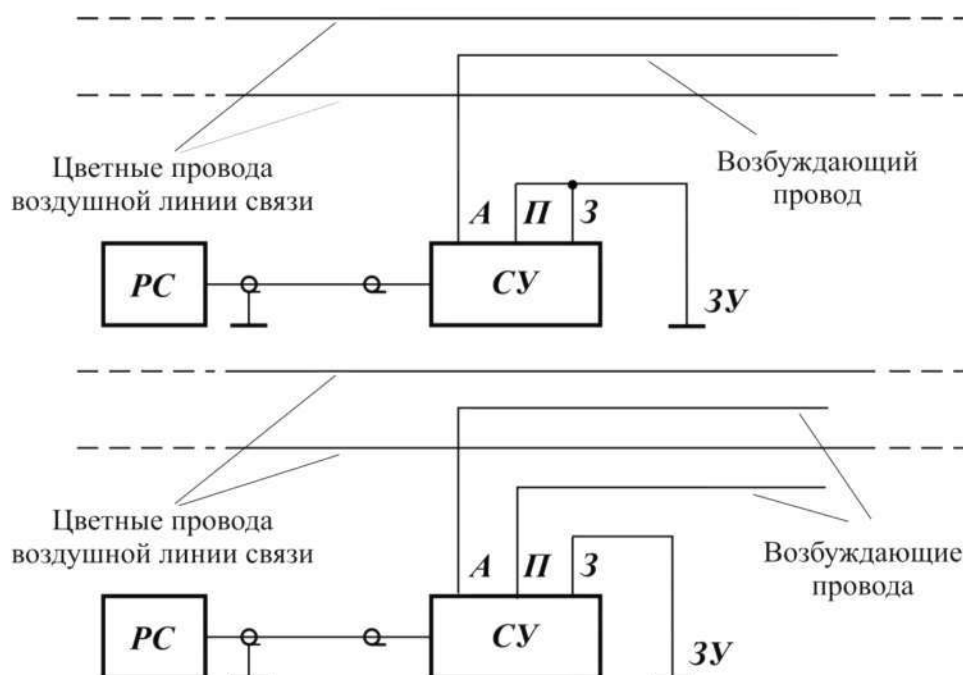


Рис. 5.7. Варианты схемы высокочастотного возбуждения проводов цветной цепи воздушной линии связи

5.1.8. На промежуточных пунктах, где ВЛС имеют кабельные вводы, возбуждение цветных проводов ВЛС осуществляется по схеме рис. 5.8.

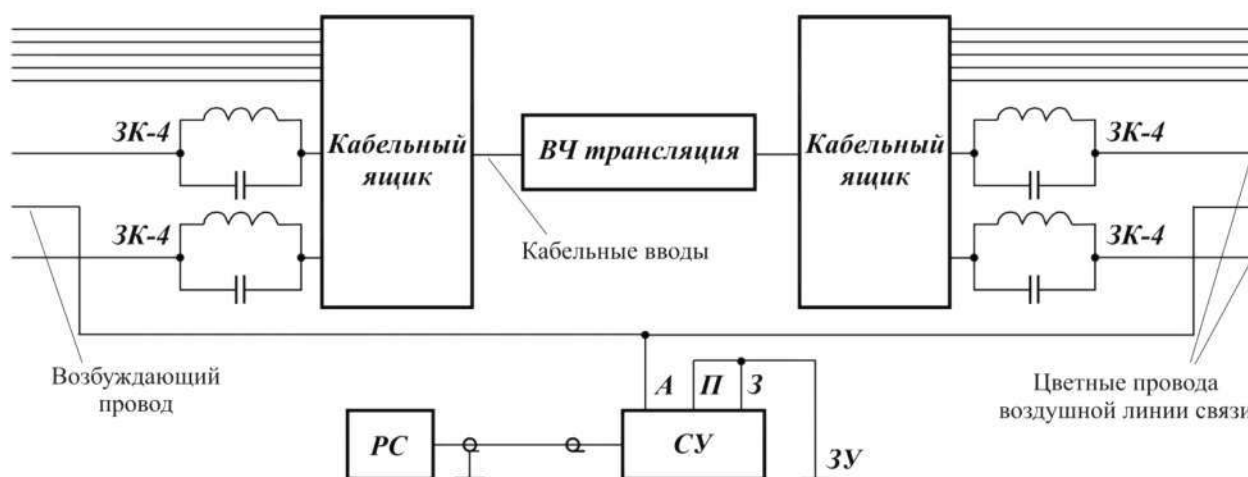


Рис. 5.8. Схема высокочастотного возбуждения проводов цветной цепи воздушной линии связи при наличии кабельных вводов

Возбуждающие провода обоих направлений должны подвешиваться

симметрично по отношению к проводам цветной цепи и соединяться между собой однопроводной воздушной соединительной линией, к средней точке которой непосредственно должно подключаться СУ.

Если соединительную линию невозможно выполнить воздушной, то в этом случае к возбуждающим проводам обоих направлений должны подключаться СУ, которые соединяются с РС коаксиальными кабелями через линейный трансформатор ЛТ-3. Длины кабелей могут быть произвольными.

ЗК-4, включаемые в каждый провод цветной цепи, необходимы для того, чтобы токи радиочастоты не ответвлялись в кабельные вставки (фильтр пробка).

5.1.9. ЗУ должно находиться от опоры на расстоянии 1,5 – 3 м. Заземляющий проводник, металлический проводник, соединяющий линейные устройства с заземлителем, должен быть защищен от механических повреждений и изолирован от опоры. Заземляющий проводник должен прокладываться в асбестоцементных, полиэтиленовых трубах или на деревянных подставках изолировано от приводов, проводов заземления на рельсы, групповых заземлений и других проводов, проложенных по опорам контактной сети. В качестве заземляющего проводника должен использоваться стальной прутки диаметром не менее 12 мм при электротяге постоянного тока и не менее 10 мм при электротяге переменного тока в соответствии с Инструкцией по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах № ЦЭ-191, утвержденной 10 июня 1993 года. Сопротивление ЗУ не должно превышать 10 Ом. При низкой удельной проводимости почвы ($\sigma < 10^{-2}$ 1/Ом·м) следует дополнительно прокладывать в земле три-четыре провода. Провода, укладываемые в земле, должны быть биметаллическими и надежно соединяться с заземлителем; расстояние между проводами 1÷1,5 м.

Допускается, как исключение, заземлять линейные и станционные устройства ПРС на рельс вместо ЗУ в районах вечной мерзлоты и в районах со скальным грунтом, где из-за низкой проводимости грунта затруднительно выполнить ЗУ сопротивлением не более 10 Ом.

5.1.10. Высокочастотное возбуждение двух- и трехпроводных направляющих линий должно быть противофазным для создания межпроводной волны, распространяющейся с наименьшим затуханием (рис. 5.9).

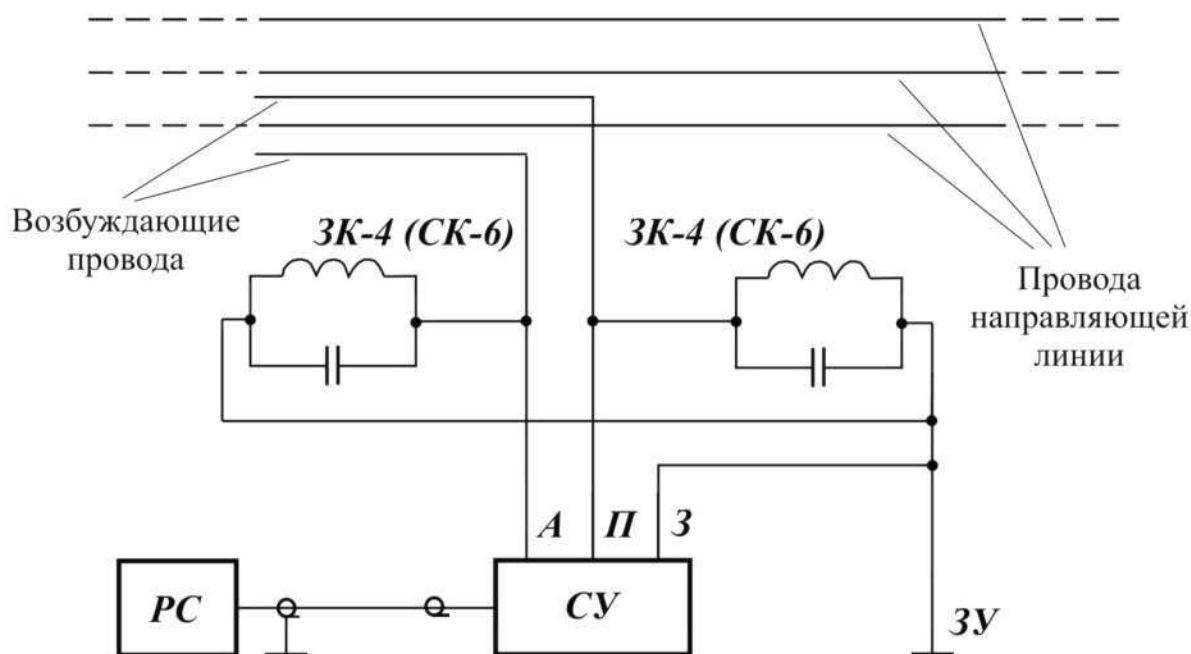


Рис.5.9. Схема высокочастотного возбуждения ВЛ

Схема возбуждения проводов ДПР, подвешенных с одной стороны пути, или двухпроводной направляющей линии, состоящей из проводов ДПР и ПП, находящихся на одном кронштейне, а также двухпроводной направляющей линии, состоящей из волноводного провода и провода ДПР или волноводного провода и ПП, аналогична приведенной на рис. 5.6.

Возбуждающие провода должны подвешиваться на двух специально установленных опорах, находящихся на расстоянии 38 – 42 м друг от друга и примерно на одинаковом расстоянии от опор контактной сети. На этих же опорах должны закрепляться и возбуждаемые провода высоковольтных линий.

Для обеспечения электробезопасности каждый из возбуждающих проводов должен быть соединен с ЗУ через ЗК-4, если расстояние от тяговой подстанции превышает 5 км, или через СК-6, если это расстояние меньше 5 км. Расстояние между осями контуров, укрепленных на одной траверсе, должно быть не менее 400 мм.

Противофазное возбуждение двухпроводной направляющей линии, состоящей из волноводного провода и провода ДПР, следует производить аналогично схеме, приведенной на рис. 5.6.

5.1.11. В тех случаях, когда возникают сложности с размещением возбуждающих проводов на опорах контактной сети, стационарные радиостанции допускается присоединять к проводам высоковольтных линий через СМ и блок линейного трансформатора ЛТ-1В (рис. 5.10).

Характеристики блоков линейных устройств приведены в приложении № 1 к Методическим указаниям.

При использовании стационарных радиостанций РС-46М, РС-46МЦ, РК-1 в центральную жилу кабеля, соединяющего радиостанции со схемой возбуждения, должен включаться дополнительный конденсатор емкостью не менее 0,05 мкФ на рабочее напряжение не менее 400 В.

Для проводов ДПР и ВЛ 35 кВ должны использоваться конденсаторы СМП – $66/\sqrt{3} - 4,4$ или СМПВ – $66/\sqrt{3} - 4,4$, а для ВЛ 6 (10) кВ: СММ – $20/\sqrt{3} - 74$ или СМП – $66/\sqrt{3} - 107$.

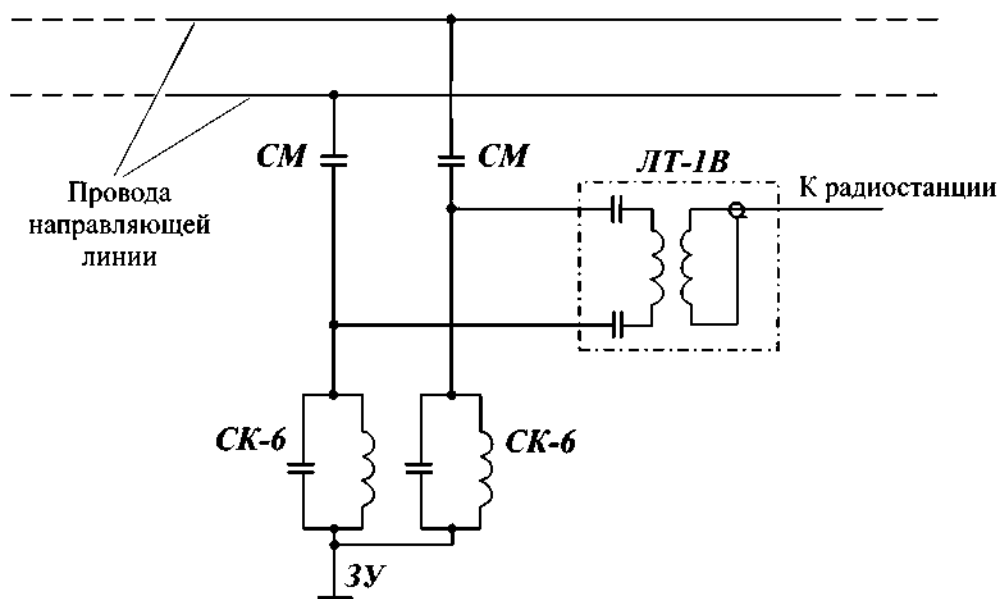


Рис. 5.10. Схема присоединения стационарной радиостанции к направляющей линии через СМ и блок ЛТ-1В

5.1.12. Во всех схемах возбуждения направляющих проводов, применяемых на участках с автономной и электротягой, экранирующие оплетки коаксиальных кабелей должны заземляться только в месте установки радиостанций, а у согласующих устройств они должны быть гальванически изолированы от заземления устройств возбуждения по постоянному току и току промышленной частоты, чтобы избежать протекания по кабелям уравнивающих токов, вызванных разностью потенциалов заземляющих устройств. Гальваническую изоляцию должно обеспечивать конструктивное исполнение СУ радиостанции.

Корпуса РС (шкафы радиооборудования) должны заземляться на общий контур заземления объекта (служебно-технического здания поста ЭЦ, дома связи) отдельным медным проводом, или медной шиной, или другим проводом, материал и минимальное сечение которого рекомендовано заводом-изготовителем в инструкции по эксплуатации радиостанции.

5.2. Стационарные антенны

5.2.1. Стационарные Г-образные антенны должны иметь высоту не менее 15 м над поверхностью земли, при этом горизонтальная часть антенны должна располагаться выше находящихся поблизости строений и сооружений, а общая длина горизонтальной части и снижения должна соответствовать требованиям, содержащимся в пункте 4.10 Методических указаний. В качестве антенного провода должен использоваться провод марки МА или МТ сечением не менее 10 мм^2 , изолируемый от мачт тремя орешковыми изоляторами. Мачты следует оборудовать устройствами спуска и подъема антенны. Горизонтальную часть антенн следует располагать параллельно железнодорожному пути.

5.2.2. Для снижения потерь высокочастотной энергии снижение антенны следует удалять от стен и крыш зданий и других сооружений на расстояние не менее 0,5 м, либо выполнять на мачте, удаленной от здания. Снижение должно подключаться к СУ, которое соединяется с РС коаксиальным кабелем. При размещении РС в одноэтажном здании либо на последнем этаже здания СУ должно устанавливаться внутри помещения. Ввод снижения в здание должен осуществляться через проходные изоляторы (антенные вводы) либо через фарфоровые трубки.

5.2.3. Стационарные антенны должны оборудоваться рабочими заземлениями с сопротивлением не более 10 Ом. При установке СУ в здании в качестве рабочего заземления должно использоваться защитное заземление объекта. Для соединения СУ с заземлением следует использовать стальные шины, ленты или оголенные провода сечением не менее 16 мм^2 , или иным сечением, определенным для конкретных условий в соответствии с ГОСТ Р 50571.10-96.

В грунтах с низкой проводимостью почвы ($\sigma < 10^{-2} \text{ 1/Ом}\cdot\text{м}$) наряду с устройством рабочего заземления антенны необходимо предусматривать укладку в землю на глубину 0,2-0,3 м четырех-пяти проводов вдоль горизонтальной части антенны и симметрично по отношению к ней. Длина проводов должна быть равна примерно расстоянию между мачтами; расстояние между проводами 1,5-2 м. Укладываемые в землю провода должны соединяться с рабочим заземлением.

5.3. Одновременная работа радиостанций на несколько нагрузок

При необходимости подключения к РС двух и более нагрузок - нескольких схем возбуждения направляющих проводов или стационарной антенны и направляющих проводов (рис. 5.11) согласование сопротивлений должно выполняться с помощью линейного трансформатора ЛТ-3.

При подключении к РС трех нагрузок присоединение РС должно осуществляться в соответствии со схемой на рис. 5.12.

Линейные трансформаторы ЛТ-3 должны устанавливаться в помещении рядом с РС.

В случае, если в результате деления сигнала от РС при подключении к ней нескольких нагрузок через ЛТ-3 уровень сигнала на нагрузке оказывается недостаточным, вместо ЛТ-3 может быть использовано устройство компенсации потерь радиосигнала (УКПР).

УКПР заменяет линейные трансформаторы и предназначено для деления выходного высокочастотного сигнала радиостанции на 2, 3 или 4 нагрузки с последующим усилением до первоначального уровня.

При выходе УКПР из строя обеспечивается его высокочастотный обход, происходит пассивное деление мощности и УКПР становится полным аналогом линейного трансформатора.

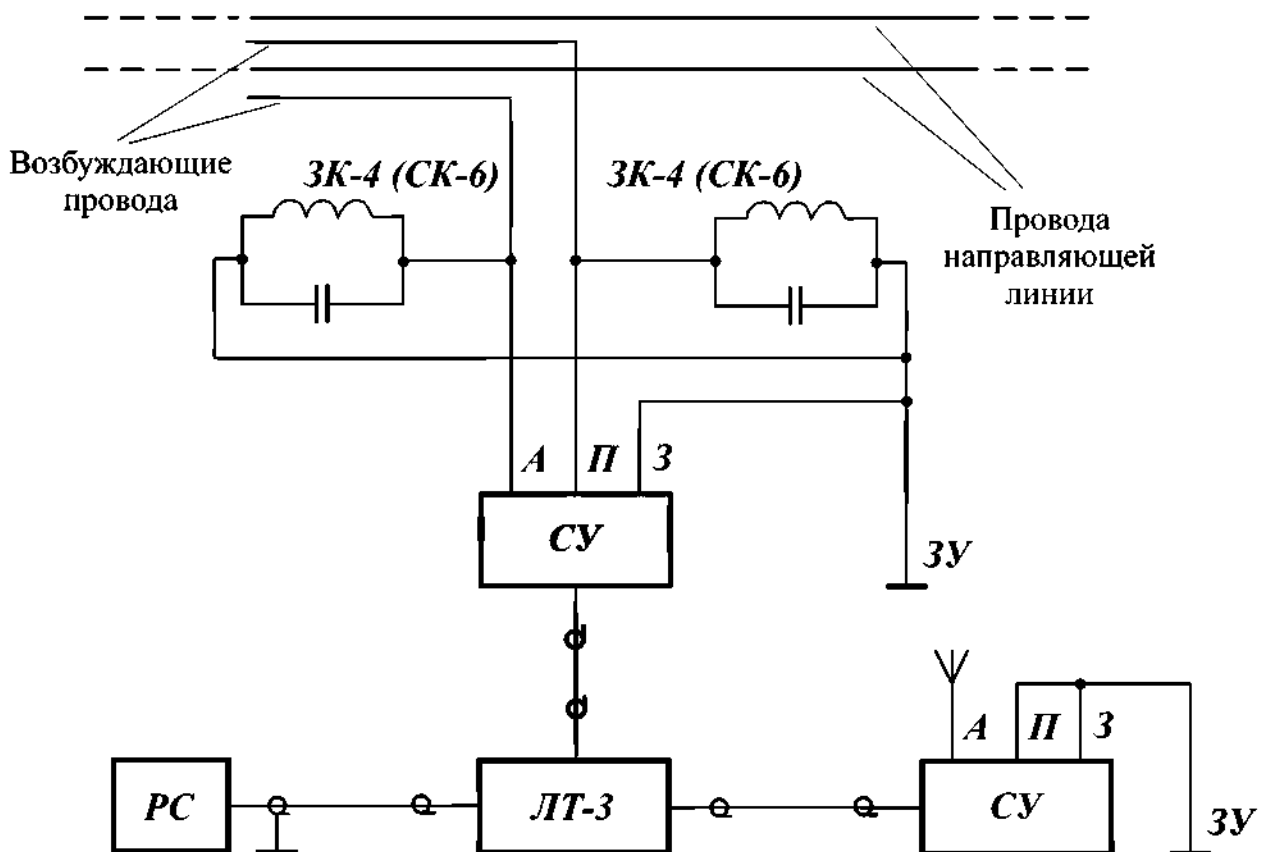


Рис. 5.11. Схема подключения радиостанции при работе на две нагрузки

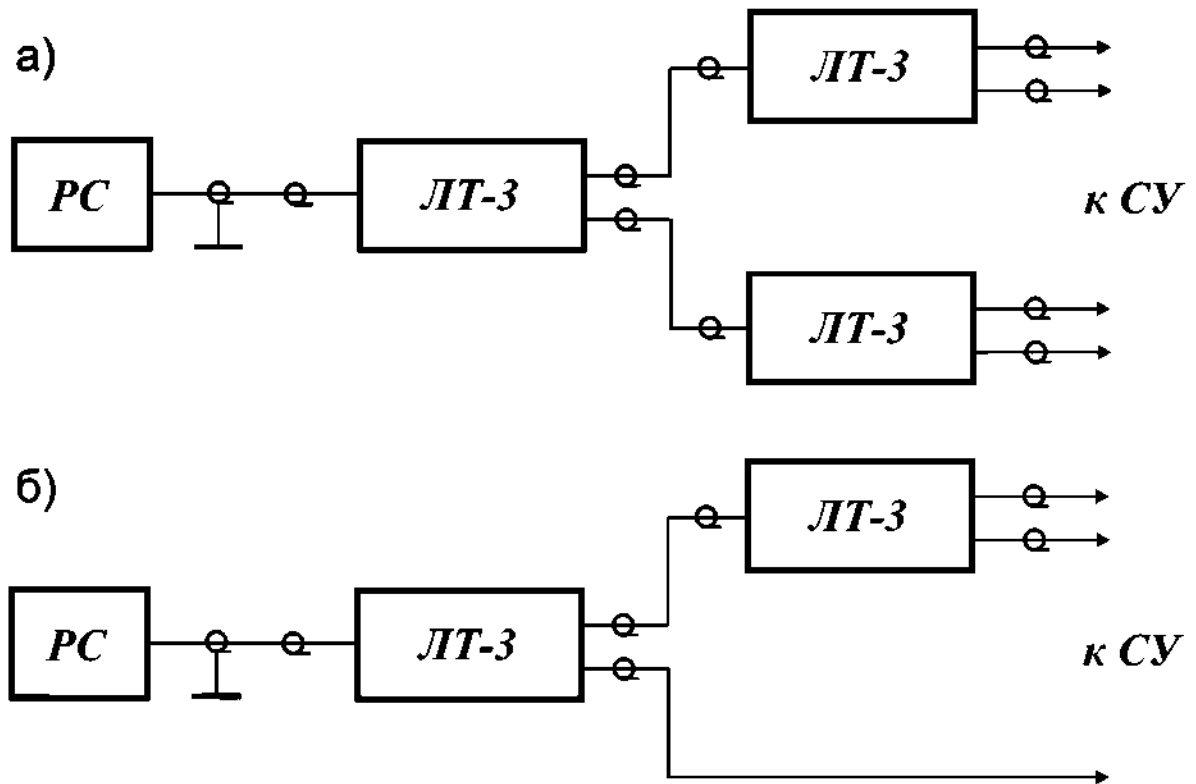


Рис. 5.12. Схемы подключения радиостанции при работе на четыре (а) и три (б) нагрузки

VI. ЛИНЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ ГЕКТОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

6.1. Одно- и двухпроводные волноводы

6.1.1. На электрифицированных участках железных дорог постоянного и переменного тока волноводные провода должны подвешиваться на опорах контактной сети с полевой стороны в соответствии с пунктом 2.2. Правил устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог, утвержденных МПС России 11 декабря 2001 г. № ЦЭ-868, а от кабеля ВОЛС на расстоянии не менее 0,3 м. Расстояние между проводами двухпроводной волноводной линии должно быть на открытых участках 600 ± 50 мм, в тоннелях 500 ± 100 мм.

6.1.2. При наличии на опорах контактной сети троса группового заземления волноводные провода должны подвешиваться выше троса на расстоянии не менее 0,8 м, в отдельных случаях при невозможности удовлетворения требований приближения строения и условий взаимного расположения проводов различного назначения допускается подвешивать волноводные провода выше троса на расстоянии не менее 0,5 м.

6.1.3. В районах I и II степеней гололедности при длине пролетов между опорами контактной сети не более 70 м для волноводов должна

применяться сталемедная проволока марки БСМ диаметром 4 мм, в районах III и IV степени гололедности – диаметром 6 мм той же марки.

6.1.4. Волноводные провода должны подвешиваться на телефонных изоляторах ТФ-20 или высоковольтных штыревых изоляторах, устанавливаемых на деревянных кронштейнах на расстоянии 800 мм от опоры без ограничительных штырей. Допускается применение металлических неизолированных кронштейнов с изоляторами ТФ-20 и полимерных кронштейнов. Металлические кронштейны для подвески волноводных проводов должны включаться в цепь заземления опоры. На участках постоянного тока заземленные кронштейны должны быть изолированы от опор изолирующими прокладками сопротивлением не менее 10 кОм.

Проходная емкость изоляторов (емкость, измеренная между проводом, закрепленным на изоляторе, и опорным штырем), не должна превышать 6 пФ.

6.1.5. В местах подключения силовых трансформаторов к проводам ВЛ продольного электроснабжения расстояние между волноводными проводами и проводами отвода (шлейфа), идущими к трансформаторам, должно быть не менее 2 м. В местах прохождения волноводных проводов вблизи светофорной колонки расстояние между проводами и щитом светофора в статическом положении также должно быть не менее 2 м на участках с электротягой постоянного и переменного тока.

6.1.6. При изменении сторонности подвески одно- и двухпроводных волноводов переход проводов через контактную сеть электрифицированных железных дорог должен выполняться подземным способом. При этом в пределах блок-участка автоблокировки допускается только один подземный переход, а в пределах одного перегона допустимое число переходов должно определяться расчетом. Расстояние по горизонтали от кабеля подземного перехода до фундамента ближайшей опоры контактной сети вдоль оси пути должно быть не менее 10 м.

Если из-за большого числа кабельных (подземных) переходов требуемая дальность связи не обеспечивается, то изменение сторонности подвески волноводных проводов следует выполнять воздушным способом в соответствии с подпунктом 2.25.7 Правил устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог, утвержденных МПС России 11 декабря 2001 г. № ЦЭ - 868.

Допускается выполнять воздушный переход с прокладкой волноводных проводов по ригелю жесткой поперечины или по дополнительно устанавливаемым опорам.

Воздушный переход волноводных проводов на участках железных

дорог с электротягой переменного тока следует выполнять только по ригелю жесткой поперечины.

При выполнении воздушного перехода волноводных проводов по ригелю жесткой поперечины расстояние между точками закрепления волноводных проводов должно исключать возможность касания проводов контактной сети и арматуры, находящейся под напряжением, волноводными проводами при их обрыве.

При пересечении волноводных проводов с контактной сетью воздушным способом с применением дополнительных опор следует применять изолированные сталеалюминиевые или медные провода, покрытые атмосферостойкой изоляцией с пробивным напряжением не менее удвоенного рабочего напряжения пересекаемых высоковольтных линий. Коэффициент запаса прочности изолированных проводов при наихудших метеорологических условиях должен быть не менее 1,5. Дополнительно устанавливаемые опоры должны быть железобетонными и должны располагаться на расстоянии не менее 5 м от крайнего рельса электрифицированного пути.

Пересечение в местах сопряжения анкерных участков не допускается.

На перегонах скоростных участков движения поездов (160-200 км/ч) пересечения должны выполняться только подземным способом.

6.1.7. Подземный переход волноводных проводов должен выполняться по схеме, представленной на рис. 6.1. Соединение волноводных проводов с коаксиальным кабелем должно осуществляться с помощью блоков линейных трансформаторов ЛТ-1 для однопроводного волновода и ЛТ-1А для двухпроводного (приложение № 1 Методических указаний). Оплетка коаксиального кабеля не должна заземляться.

6.1.8. ЛТ и разрядники РВН-0,5 должны устанавливаться на опорах на высоте не менее 3 м над уровнем земли и на расстоянии не менее 2 м от нижнего провода линий продольного электроснабжения ВЛ и ДПР. Наряду с разрядниками РВН-0,5 могут применяться ограничители перенапряжений типа ОПН-0,38.

ЛТ должен заземляться на ИСЗ, находящийся от опоры на расстоянии 1,5–3 м. Сопротивление ИСЗ должно быть не более 60 Ом.

Заземляющий проводник, соединяющий ЛТ с ИСЗ, должен быть изолирован от опоры и защищен от механических повреждений. Коаксиальный кабель и провод, соединяющий оба ИСЗ, должны прокладываться в защитной асбестоцементной, полимерной или другой неметаллической трубе, уложенной под верхним строением пути на глубине, обеспечивающей их целостность при проведении работ по ремонту пути.

В качестве заземляющего проводника должен использоваться стальной

пруток диаметром не менее 12 мм при электротяге постоянного тока и не менее 10 мм при электротяге переменного тока. Волновое сопротивление коаксиального кабеля, используемого на переходах, должно быть 50 Ом.

Примечание: если в пределах одного перегона выполнено более двух подземных переходов, то сопротивление ИСЗ не должно превышать 10 Ом.

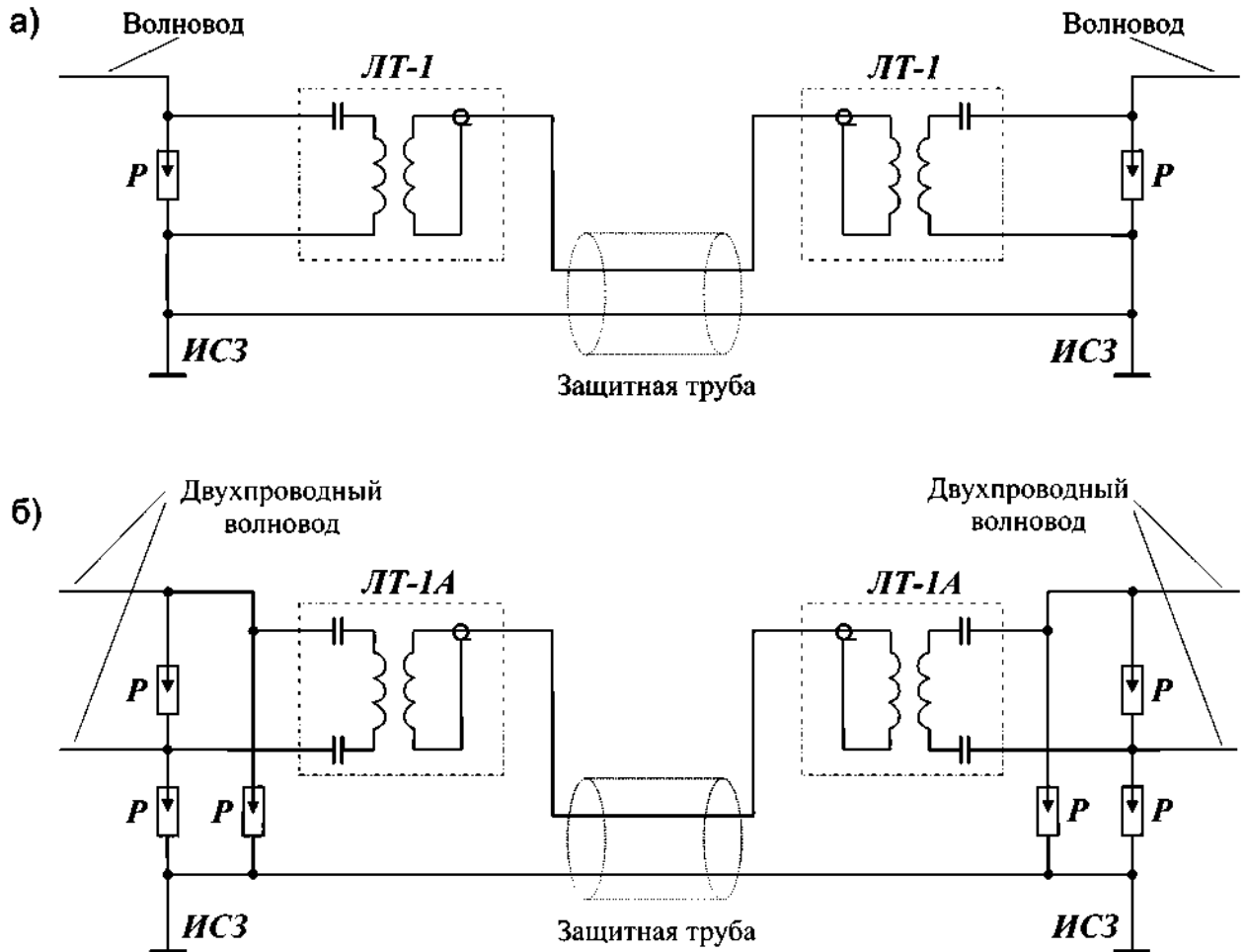


Рис. 6.1. Схемы подземного перехода однопроводного (а) и двухпроводного (б) волноводов с применением линейных трансформаторов

6.1.9. При переходе от однопроводного волновода к двухпроводному (рис. 6.2), а также при разветвлении волноводов (рис. 6.3) согласование входных сопротивлений линий должно осуществляться с помощью блоков ЛТ.

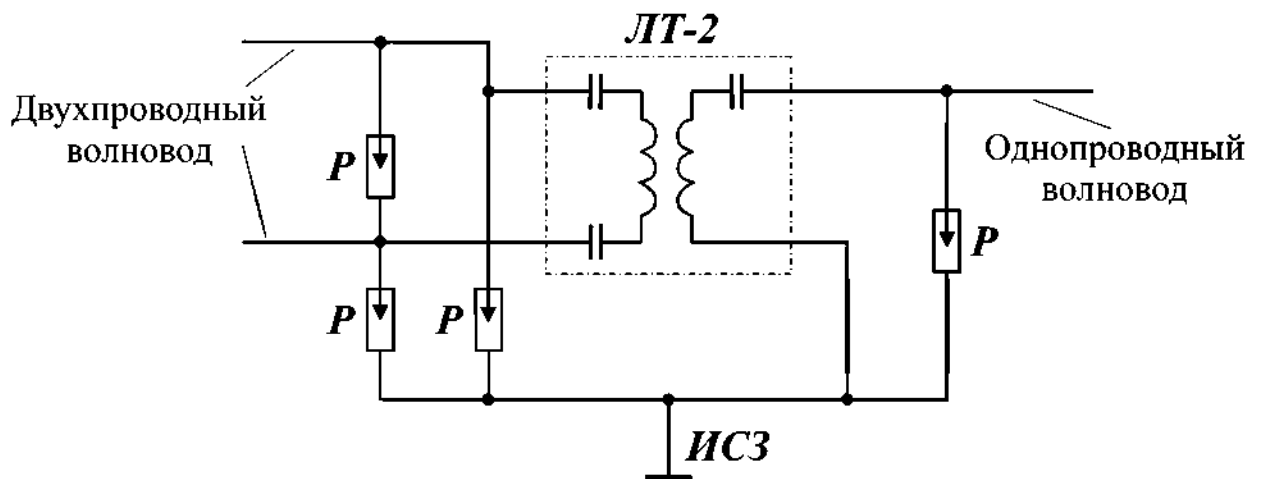


Рис. 6.2. Схема соединения однопроводного волновода с двухпроводным

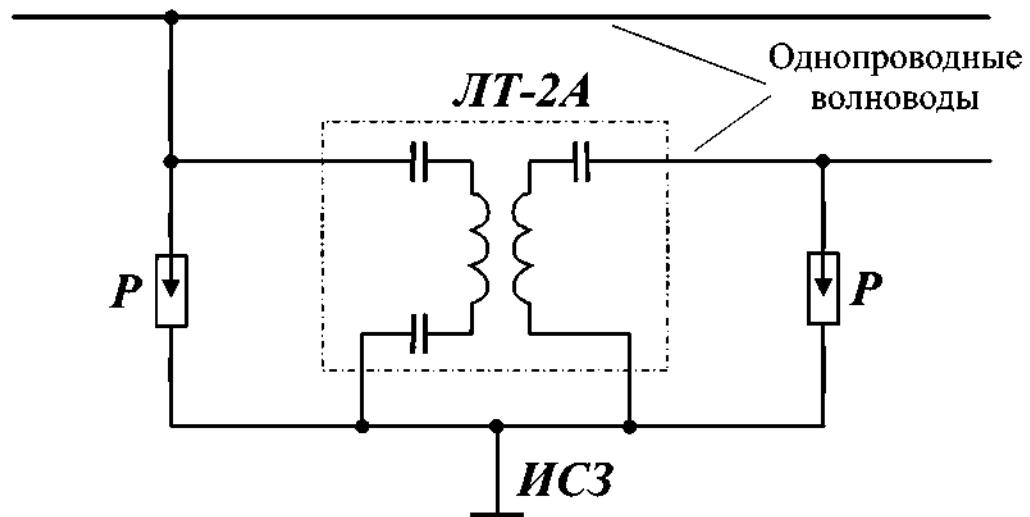


Рис. 6.3. Схема подключения ответвления от однопроводного волновода

Варианты схем разветвления направляющих линий многочисленны, но реализация их практически одинакова. В качестве примера приведены схема ответвления от однопроводного волновода (рис. 6.3) и схема подключения коаксиального кабеля к однопроводному волноводу (рис. 6.4).

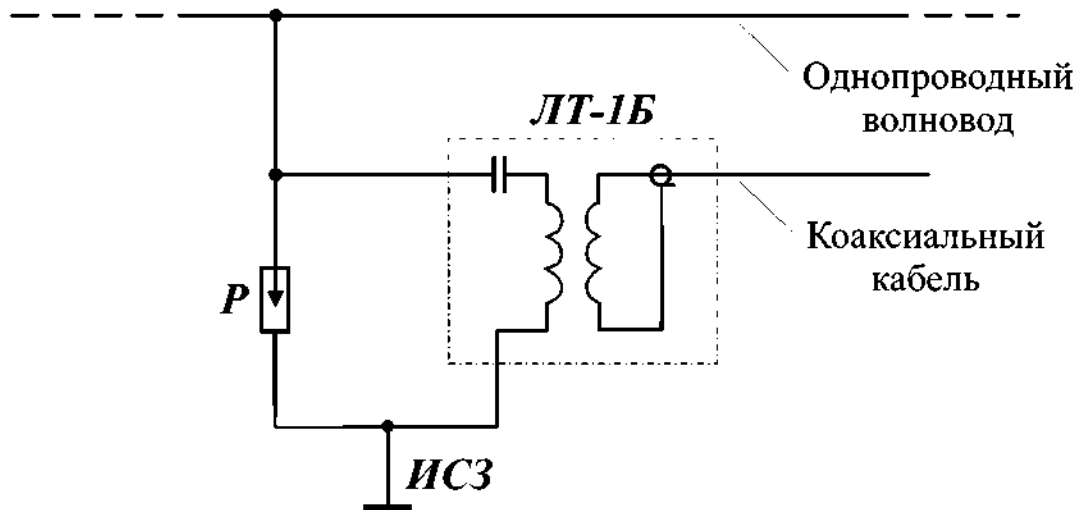


Рис. 6.4. Схема подключения коаксиального кабеля к однопроводному волноводу

Во всех схемах (рис. 6.2-6.4) требования к заземлению те же, что установлены в подпункте 6.1.8.

6.1.10. Волновод на участках с автономной и электрической тягой постоянного тока должен быть гальванически непрерывным, а на участках с электротягой переменного тока – разделяться на секции.

6.1.11. Секции волновода должны соединяться между собой через РК, обладающие сопротивлением не более 25 Ом для радиочастотных сигналов и не менее 10 кОм для тока частотой 50 Гц.

РК должны выдерживать напряжение переменного тока не менее 4 кВ (эффективное значение) в интервале температур от минус 60 до плюс 50° С и влажности воздуха 98%. Следует применять герметизированные конденсаторы типа КБГП-4 кВ-0,1 мкФ $\pm 20\%$ или блоки РК комплекса линейных устройств поездной радиосвязи.

6.1.12. Длина секции волновода должна выбираться такой, чтобы результирующее напряжение на концах ее, наведенное от электрического и магнитного влияний, не превышало 250 В при вынужденном режиме, в том числе и при электрической плавке гололеда, и 1000 В в режиме короткого замыкания контактной сети. Расчет наведенных на волноводных секциях напряжений приведен в приложении № 2 к Методическим указаниям.

6.1.13. Для снижения напряжения, наведенного от электрического влияния контактной сети и высоковольтных линий, подвешенных на опорах контактной сети, каждая секция волновода должна быть заземлена на ИСЗ, не соединенный электрически с рельсовыми цепями, используемыми в качестве обратного провода, по которому электрический ток возвращается на тяговую подстанцию.

6.1.14. Заземление каждой секции волновода должно осуществляться через высокочастотный заградитель, сопротивление которого (Z) для радиочастотных сигналов должно быть не менее 10 кОм, а для тока частотой 50 Гц (r) – не более 5 Ом.

В качестве высокочастотных заградителей должны применяться ЗК-4 ($Z = 15$ кОм, $r = 0,02$ Ом), если расстояние до тяговой подстанции превышает 5 км, или СК-6 ($Z = 10$ кОм, $r = 0,002$ Ом), если это расстояние меньше 5 км (рис. 6.5, а).

6.1.15. Подключение заземления к волноводному проводу должно производиться в середине секции с допустимым отклонением не более 10% от ее длины и на расстоянии не менее 100 м от места подключения рогового разрядника.

6.1.16. Заземляющий проводник ИСЗ должен прокладываться в асбестоцементных, полиэтиленовых трубах или на деревянных подставках изолированно от опор контактной сети, приводов, проводов заземления на рельсы, групповых заземлений и других проводов, проложенных по опорам контактной сети. При этом не должно осуществляться заземление секции на опорах, на которых установлены ограничители перенапряжений, а также приводы разъединителей и трансформаторы напряжения.

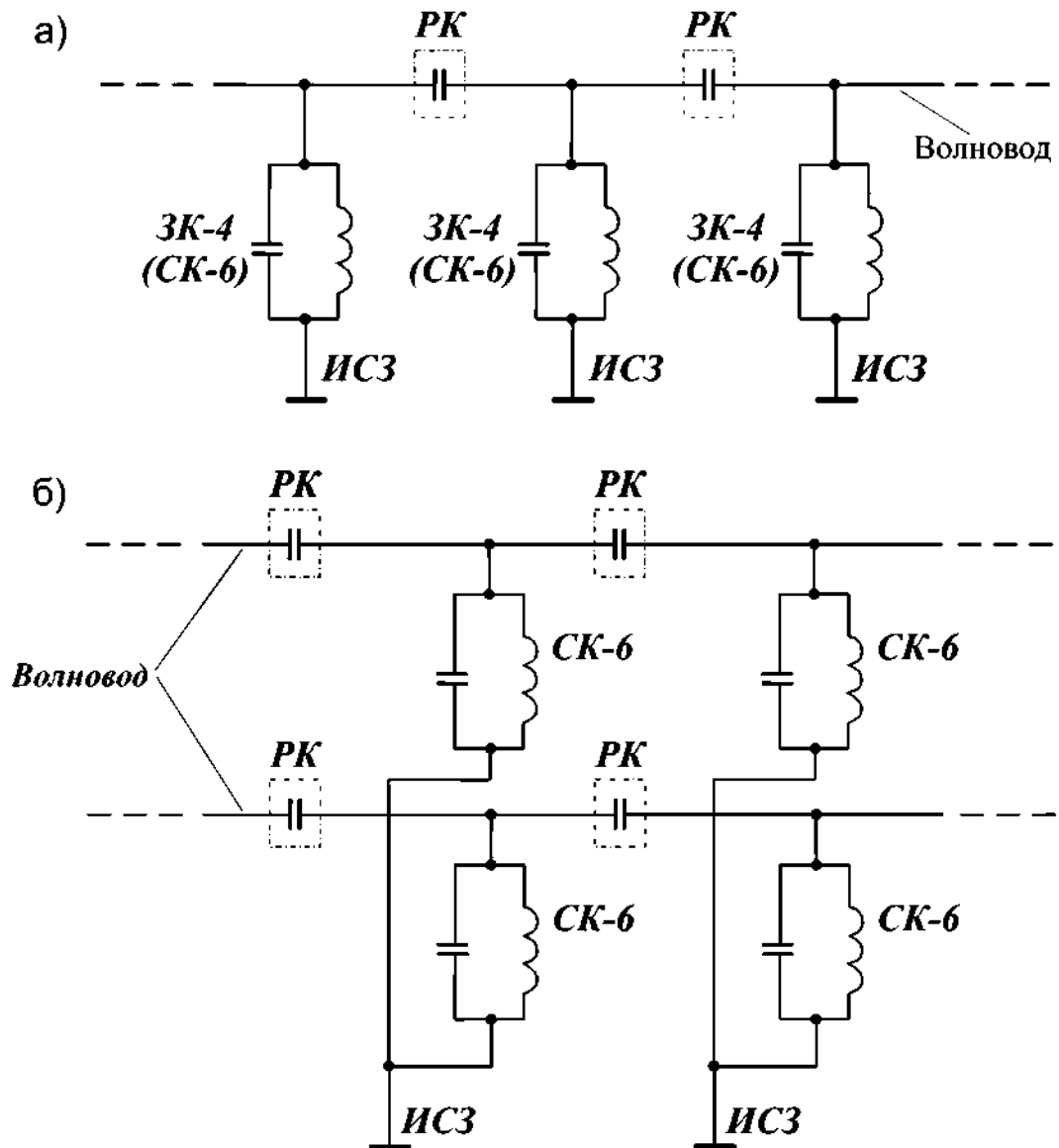


Рис. 6.5. Схемы секционирования однопроводного (а) и двухпроводного (б) волновода

6.1.17. Секционирование двухпроводного волновода должно осуществляться аналогично однопроводному (рис. 6.5, б).

6.1.18. В местах анкервки волноводный провод должен быть нагружен на сопротивление, равное его волновому сопротивлению, за исключением случая, где в местах анкервки волновода высокочастотное возбуждение осуществляется по схеме рис. 5.2 Методических указаний, для чего должны использоваться СН-1 для однопроводного волновода и СН-2 – для двухпроводного (рис. 6.6). Для защиты от перенапряжения параллельно блоку согласованных нагрузок должны подключаться Р. СН-1, СН-2 и Р должны заземляться на один и тот же ИСЗ (сопротивление ИСЗ должно быть не более 60 Ом).

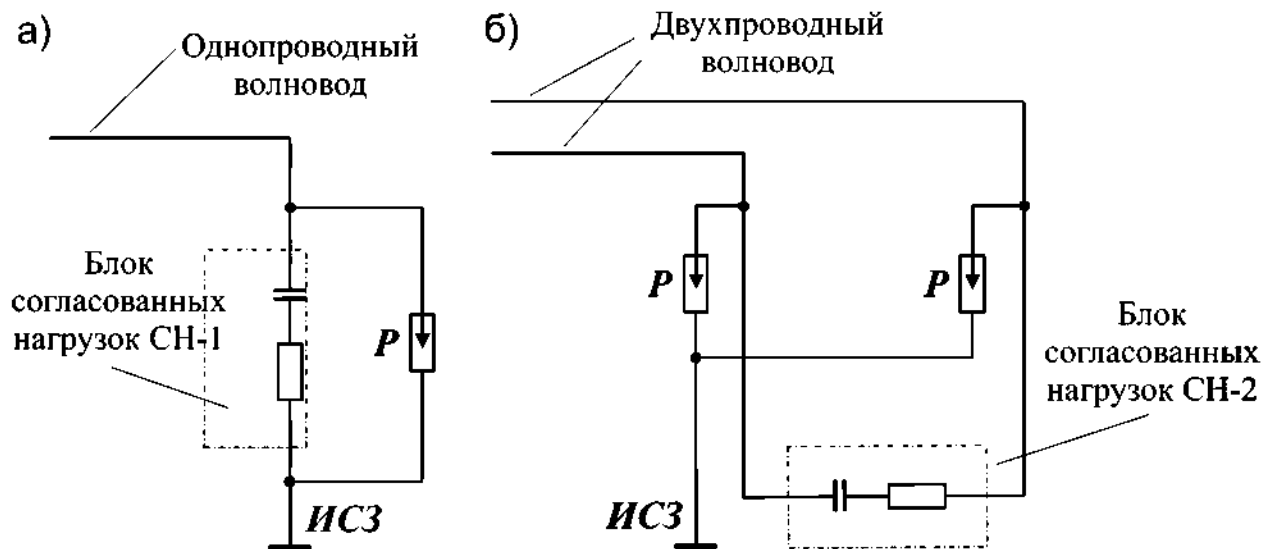


Рис. 6.6. Схемы анкерки однопроводного (а) и двухпроводного (б) волноводов

6.2. Высокочастотная обработка высоковольтных линий

6.2.1. При использовании высоковольтных проводов в качестве направляющих линий должны предусматриваться меры по обеспечению распространения радиочастотных сигналов по ним с минимальным затуханием.

Для этого должны быть предусмотрены высокочастотные обходы тяговых подстанций и разъединителей и высокочастотная обработка трансформаторов и отпаев, подключаемых к высоковольтным проводам. Последняя заключается в применении высокочастотных заградителей, включаемых последовательно в провода отводов от высоковольтных проводов.

При противофазном возбуждении пары «волноводный провод – провод ДПР» высокочастотная обработка провода ДПР не должна производиться.

6.2.2. Высокочастотная обработка отпаев и трансформаторов, подключенных к высоковольтным проводам, должна предусматриваться при использовании этих проводов в качестве направляющих линий и должна предназначаться для уменьшения утечки токов высокой частоты в местах подключения отпаев и трансформаторов, а также для снижения уровня радиопомех в высоковольтных проводах, проникающих в них со стороны потребителей электроэнергии.

6.2.3. Наиболее эффективным способом высокочастотной обработки отпаев и трансформаторов должно быть включение высокочастотных заградителей в провода отводов в местах их присоединения к высоковольтным проводам. Схемы включения заградителей приведены для

однофазных КТПО и трехфазных КТПТ трансформаторов, подключенных к проводам ДПР (рис. 6.7, а) и для трансформаторов, подключенных к проводам ВЛ (рис. 6.7, б). Если длина проводов отводов не превышает 15 м, то высокочастотные заградители могут включаться непосредственно у трансформаторов.

6.2.4. В качестве высокочастотных заградителей в большинстве случаев следует применять контуры ЗК-4, но на участках с электротягой переменного тока при расстоянии между трансформатором и ближайшей тяговой подстанцией менее 10 км должны использоваться контуры СК-6. Для высокочастотной обработки трансформаторов мощностью до 35 кВА, подключенных к ДПР (рис. 6.7, в), и до 8 кВА, подключенных к ВЛ (рис. 6.7 г), могут использоваться ДЗ комплекса линейных устройств поездной радиосвязи.

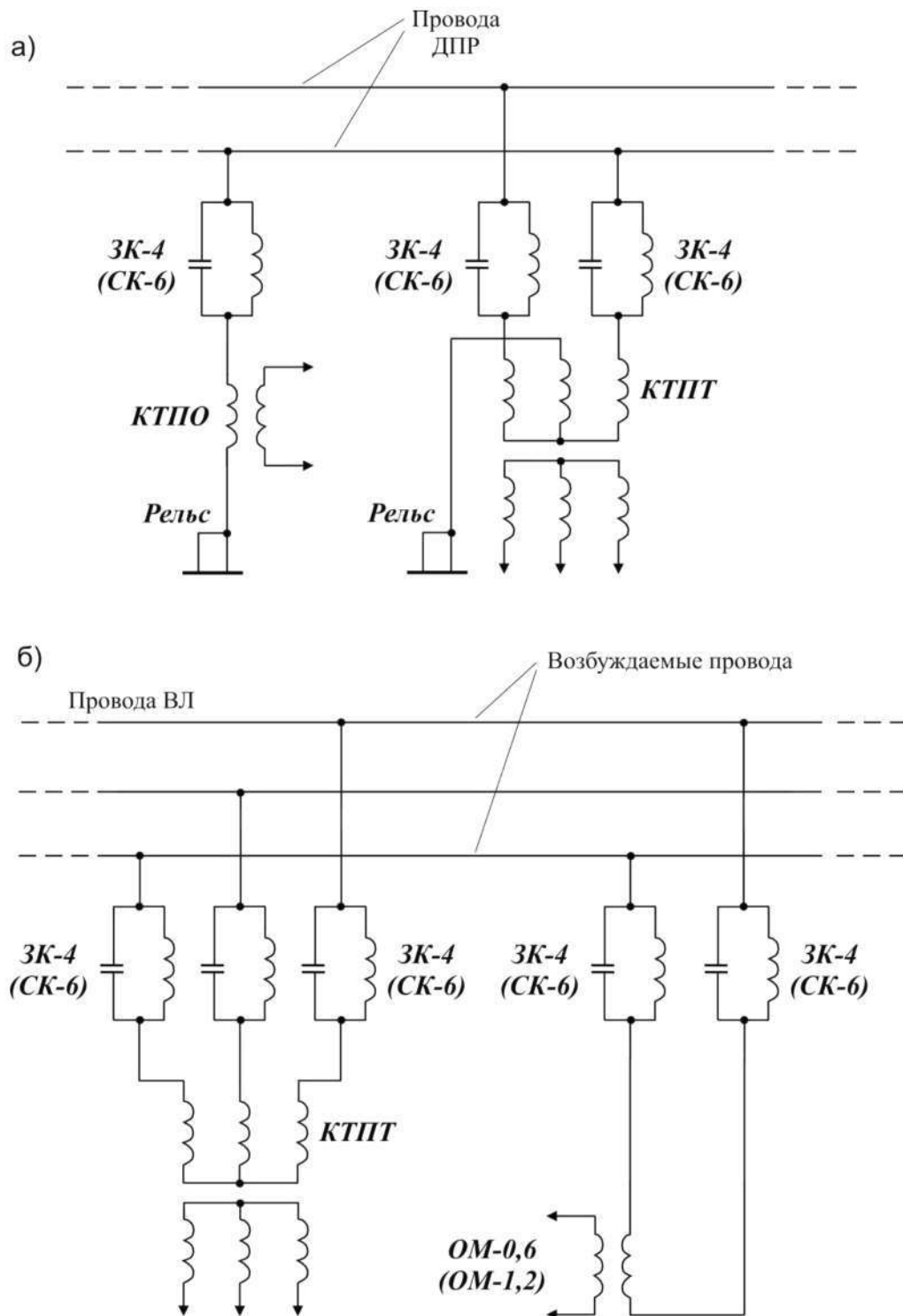


Рис. 6.7. а), б) Схемы высокочастотной обработки силовых трансформаторов

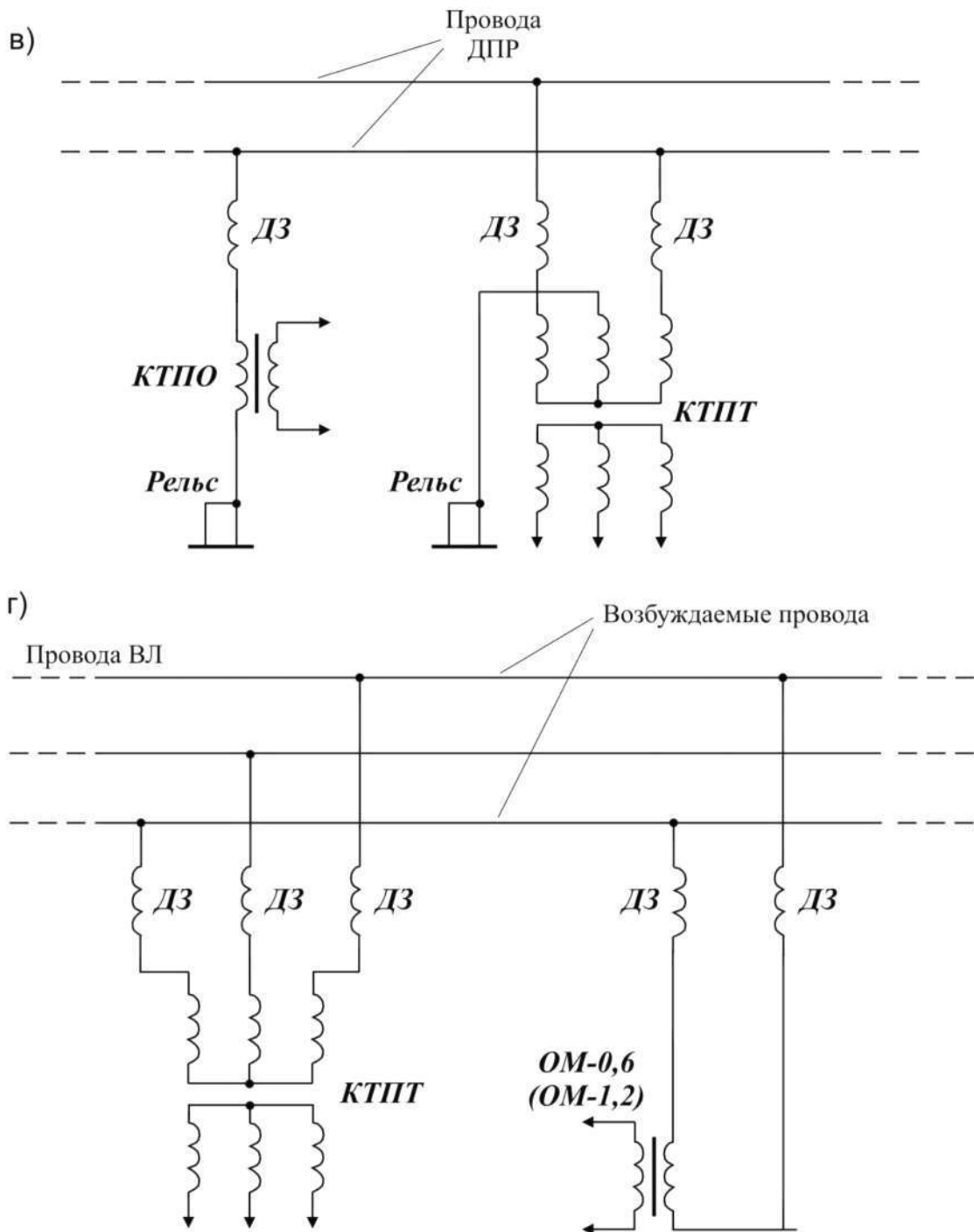


Рис. 6.7. в), г) Схемы высокочастотной обработки силовых трансформаторов

6.2.5. Высокочастотная обработка автотрансформаторных пунктов АТП, подключаемых к питающему проводу на участках, электрифицированных по системе 2х25 кВ, не должна производиться. Затухание, вносимое одним таким автотрансформатором в тракт передачи высокочастотной энергии в системе ДПР-ПП, составляет 4 дБ.

6.2.6. Схема высокочастотного обхода тяговой подстанции должна

состоять из высокочастотной перемычки, соединяющей высоковольтные провода разных направлений по току высокой частоты, и высокочастотных заградителей, настроенных на частоту поездной радиосвязи и предотвращающих возможность отвлечения токов высокой частоты в сторону подстанции.

Высокочастотная перемычка должна иметь малое сопротивление на частоте поездной радиосвязи и большое – для токов промышленной частоты. В схеме перемычки следует использовать СМ типов СМП – $66/\sqrt{3} - 4,4$ или СМПВ – $66/\sqrt{3} - 4,4$ для проводов ДПР, ПП, ВЛ 35 кВ и СММ – $20/\sqrt{3} - 74$ (107) для проводов ВЛ 6; 10 кВ.

В качестве высокочастотных заградителей, включаемых в провода ДПР и ВЛ, рекомендуется применять контуры СК-6, максимальный рабочий ток которых составляет 85 А.

На участках, где должна проводиться электрическая плавка гололеда, а также в случае, когда ток нагрузки превышает 85 А, в каждый провод линии ДПР или ВЛ необходимо включать по два контура. При этом расстояние между осями контуров должно быть не менее 400 мм.

При передаче радиочастотных сигналов по системе проводов ДПР-ПП (на участках, электрифицированных по системе 2х25 кВ) в качестве высокочастотных заградителей должны использоваться заградительные петли.

Заградительная петля должна подвешиваться на расстоянии 0,5–0,7 м от высоковольтного провода и должна представлять собой отрезок провода длиной $34,5 \pm 0,5$ м, один конец которого должен соединяться с высоковольтным проводом перемычкой, а второй свободен. Короткозамкнутый конец заградительной петли должен находиться со стороны тяговой подстанции. Разомкнутый конец петли анкеруется на той же опоре, на которой к высоковольтной линии должна подключаться высокочастотная перемычка.

6.2.7. Полная схема высокочастотного обхода тяговой подстанции для системы проводов ДПР и ВЛ (рис. 6.8, а) отличается от схемы системы проводов ДПР-ПП (рис. 6.8, б) типом заградителей. Высокочастотная перемычка должна быть любой – с низковольтной соединительной линией (рис. 6.8, а) или без нее (рис. 6.8, б), где все элементы высокочастотной перемычки следует устанавливать на одной опоре, до которой продлены высоковольтные провода. Контуры СК-6, подключенные к перемычкам и служащие для контроля исправности СМ, должны быть настроены в резонанс на частоту поездной радиосвязи и заземлены на контур ЗУ. Требования к ЗУ те же, что установлены в подпункте 5.1.7 Методических указаний. Допускается заземление контуров СК-6 выполнять на контур заземления тяговой подстанции, при этом сопротивление заземления не должно превышать 10 Ом. В случае пробоя любого из конденсаторов на

тяговой подстанции должна сработать защита, снимающая напряжение с высоковольтных проводов при их соединении с контуром ЗУ. Затухание, вносимое схемами (рис. 6.8) в тракт передачи сигналов поездной радиосвязи, не должно превышать 1 дБ.

6.2.8. Для высокочастотного обхода разъединителей следует использовать высокочастотную перемычку (рис. 6.9), состоящую из СМ. Контуры СК-6 должны быть заземлены на контур ЗУ. Требования к ЗУ те же, что установлены в подпункте 5.1.7 Методических указаний.

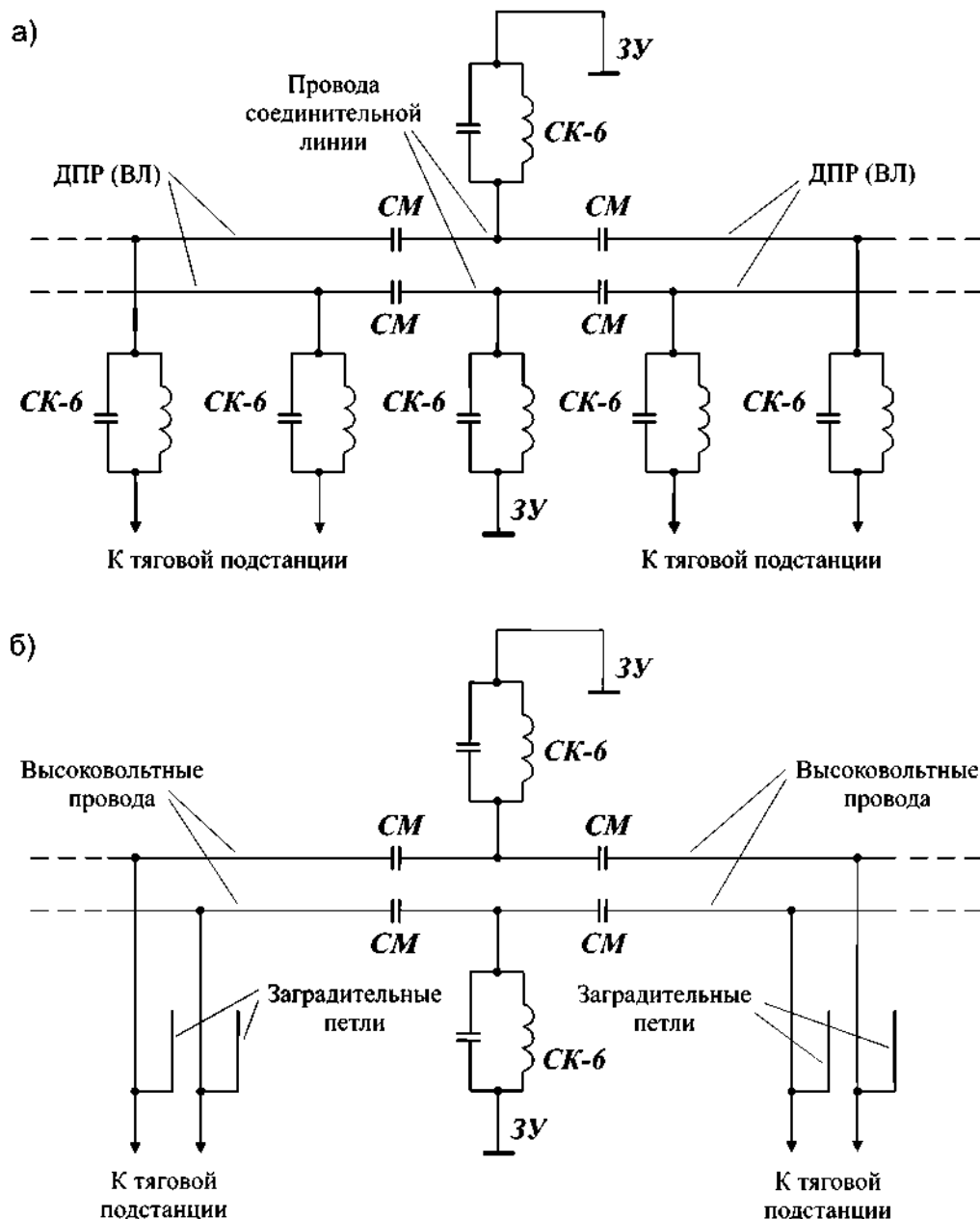


Рис. 6.8. Схемы высокочастотного обхода тяговой подстанции для системы проводов ДПР и ВЛ (а) и ДПР-ПП (б)

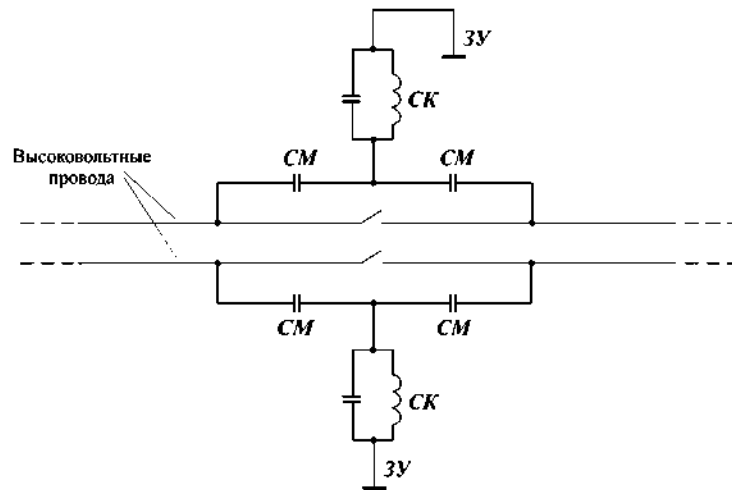


Рис. 6.9. Схема высокочастотного обхода разъединителей

6.2.9. При стыковании различных типов направляющих линий присоединение по высокой частоте одно- и двухпроводных волноводов к проводам высоковольтных линий, используемым для передачи сигналов поездной радиосвязи, следует выполнять с применением линейных трансформаторов ЛТ-2, блоков РК и конденсаторов СМ (рис. 6.10).

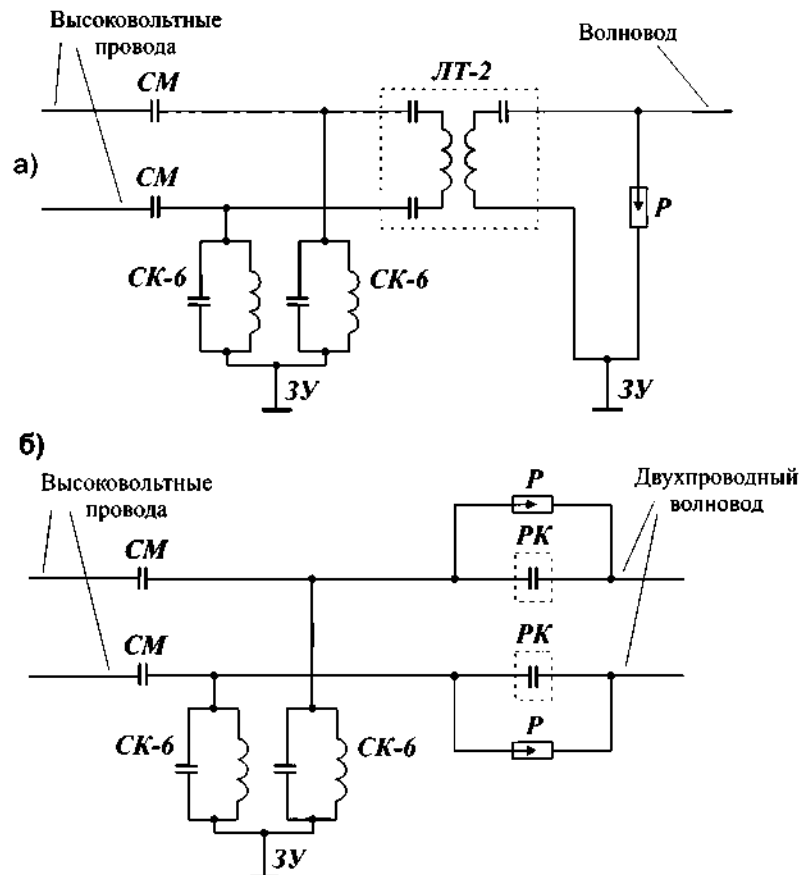


Рис. 6.10. Схемы присоединения однопроводного (а) и двухпроводного (б) волноводов к высоковольтным проводам

Типы конденсаторов должны выбираться в соответствии с подпунктом 6.2.6. Требования к ЗУ те же, что установлены в подпункте 5.1.7 Методических указаний.

6.3. Особенности организации поездной радиосвязи в тоннелях

6.3.1. Технические средства для обеспечения работы поездной радиосвязи на горных участках железной дороги с тоннелями следует выбирать в каждом случае в соответствии с местными условиями, наиболее важными из которых, помимо числа и протяженности тоннелей, должны являться виды направляющих линий, используемых на прилегающих к тоннелю перегонах.

6.3.2. На участках с электротягой переменного тока, где в качестве направляющих линий используются провода ДПР или ДПР и ПП, которые при подходе к тоннелю переходят на специальные высоковольтные опоры и обходят тоннельный участок поверху, для обеспечения уверенной ПРС в тоннелях длиной более 300 м должны подвешиваться двухпроводные волноводы (рис. 6.11, а). Затухание, вносимое двумя схемами, не должно превышать 2 дБ.

В тоннелях короче 300 м связь с локомотивом обеспечивается за счет электромагнитной энергии, распространяющейся по проводам контактной сети, без подвески специальных направляющих линий.

Допускается одностороннее присоединение двухпроводного волновода к проводам ДПР (рис. 6.11, б). При этом должно учитываться, что в тоннель ответвляется половина высокочастотной энергии, то есть дополнительное затухание, вносимое в этом случае в тракт передачи высокочастотной энергии по проводам ДПР, составляет 3 дБ.

Выбор той или иной схемы должен определяться конкретными условиями: длиной перегона, протяженностью, местоположением тоннелей по отношению к месту установки стационарной радиостанции.

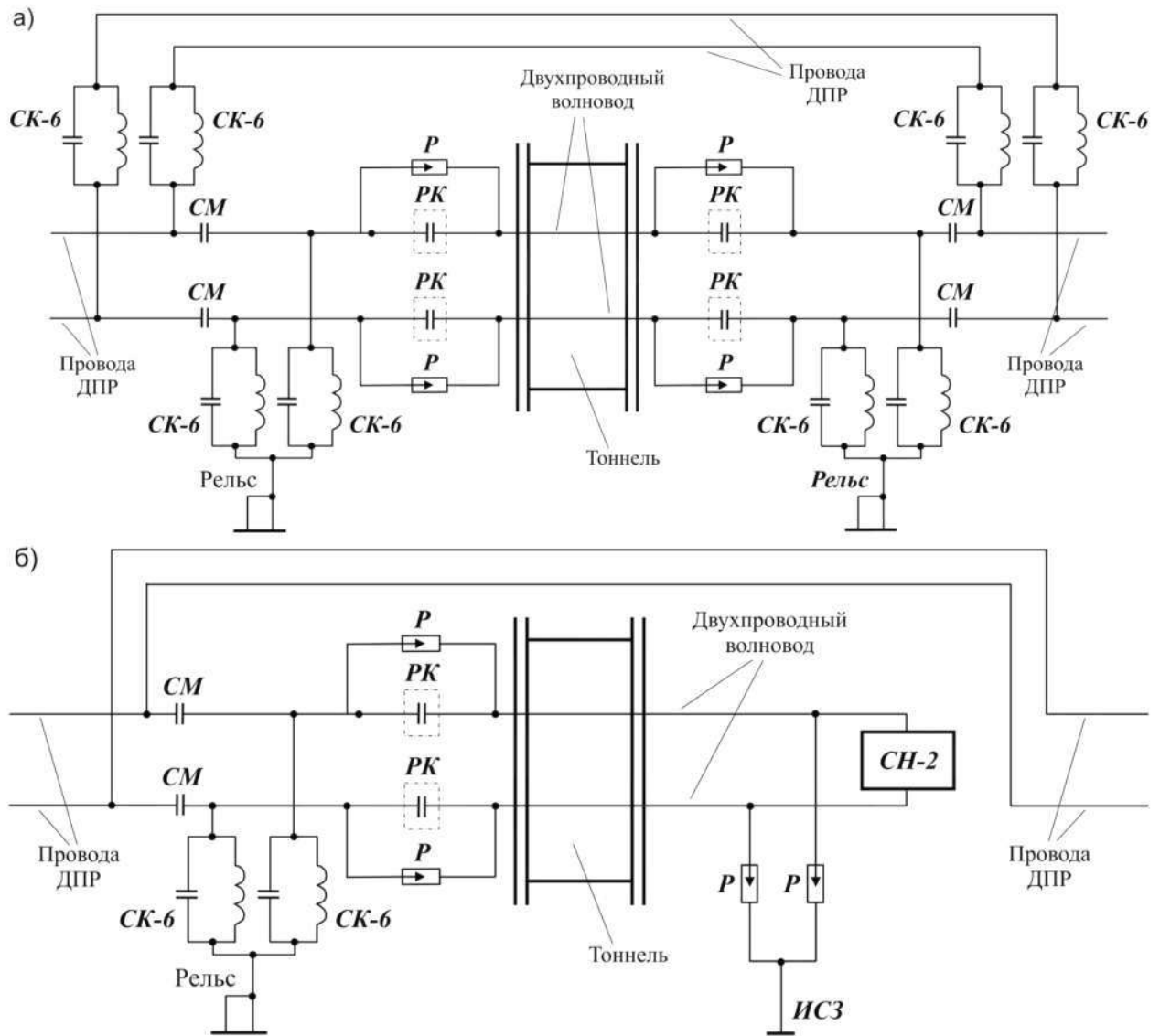


Рис. 6.11. Схемы присоединения двухпроводного волновода в тоннеле к проводам ДПР

6.3.3. На участках с электротягой постоянного тока, где в качестве направляющих линий используются провода ВЛ, которые в тоннелях прокладываются кабелем, во всех тоннелях необходимо подвешивать двухпроводный волновод, служащий одновременно высокочастотным обходом кабельной вставки в линию ВЛ (рис. 6.12).

6.3.4. На участках железных дорог, где для ПРС используется волноводный провод, в тоннелях независимо от их длины необходимо подвешивать направляющие линии. При длине тоннеля до 300 м подвешивается однопроводный волновод. При большей длине тоннелей тип направляющей линии должен определяться расчетом.

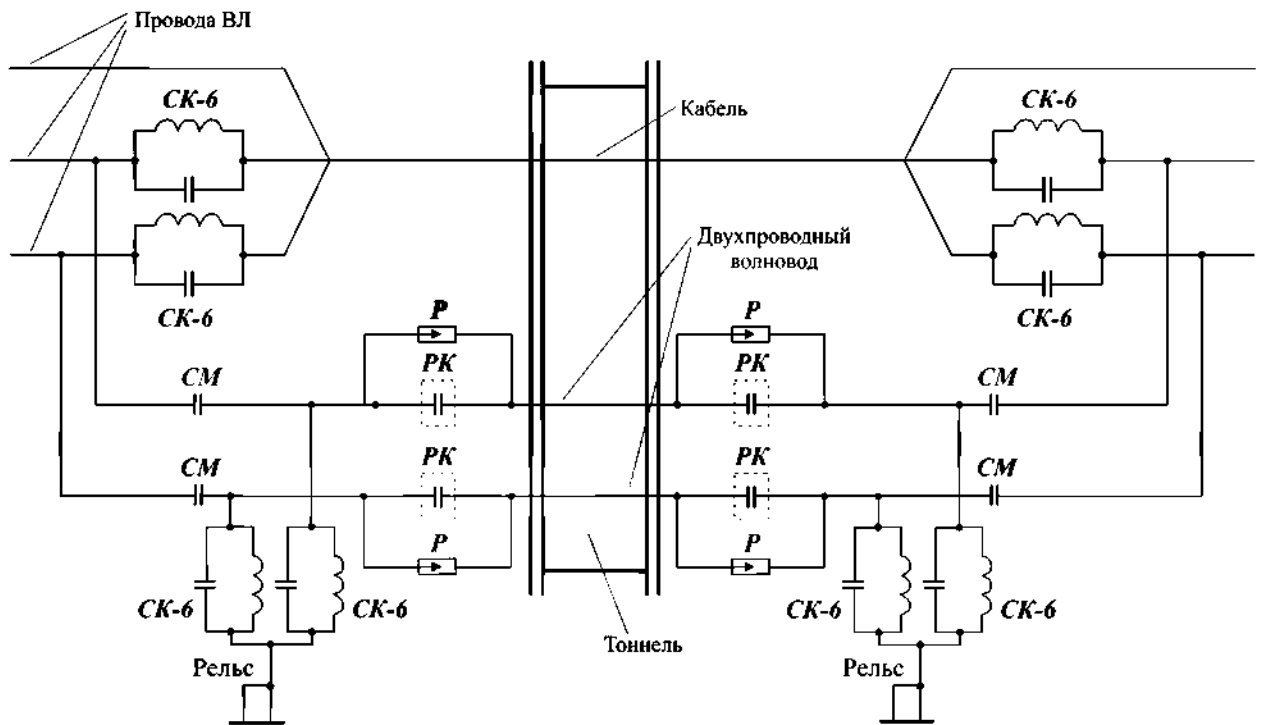


Рис. 6.12. Схема присоединения двухпроводного волновода в тоннеле к ВЛ

6.3.5. На перегонах, где имеется два и более тоннелей, для обеспечения уверенной ПРС следует применять двухпроводный волновод, проходящий через все тоннели и открытые участки без разрыва, с тем, чтобы исключить многократные переходы от одного вида направляющей линии к другому.

6.3.6. На участках электротяги переменного тока секционирование одно- и двухпроводных волноводов в тоннелях следует производить в соответствии с требованиями, установленными в подпунктах 6.1.10 – 6.1.18.

VII. РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В СЕТЯХ ПРС-С ГЕКТОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

7.1. Дальность действия радиосвязи между РС и РВ

Дальность действия радиосвязи между РС и РВ при применении направляющих линий должна определяться по формуле:

$$r = \frac{A_{\text{прд}} - u_{\text{мин}} - A_{\text{пер}} - \sum \alpha_{\text{ст}} - \sum \alpha_{\text{лин}} - \sum \alpha_{\text{лок}}}{\alpha_n} \quad (7.1)$$

где $A_{\text{прд}}$ – выходной уровень сигнала передатчика радиостанции, дБ; для радиостанций, используемых на железнодорожном транспорте, $A_{\text{прд}} = 148$ дБ.

Если радиостанция работает на две нагрузки, например на направляющую линию и антенну, то $A_{\text{прд}} = 145$ дБ для каждой нагрузки;

$u_{\text{мин}}$ – минимально допустимый уровень полезного сигнала на входе радиостанции, дБ;

$A_{\text{пер}}$ – переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции, дБ;

$\sum \alpha_{\text{ст}}$, $\sum \alpha_{\text{лин}}$, $\sum \alpha_{\text{лок}}$ – затухание сигнала в стационарных, линейных и локомотивных устройствах соответственно, дБ;

α_n – постоянная затухания направляющей линии на перегоне, дБ/км.

7.2. Минимально допустимый уровень полезного сигнала

Минимально допустимый уровень полезного сигнала должен определяться по формуле

$$u_{\text{мин}} = u_n + K_{\text{дон}} + K_n \quad (7.2)$$

где u_n – квазипиковое значение напряжения, дБ, радиопомех на уровне интегральной вероятности 0,8 на входе приемника радиостанции при максимальных значениях потребляемого локомотивом тока и нормальных условиях погоды (отсутствие изморози, инея, гололеда и других отложений на направляющих линиях и проводах контактной сети);

$K_{\text{дон}} = 6$ дБ – минимально допустимое отношение сигнал/помеха на входе приемника, при котором должно обеспечиваться необходимое качество разборчивости речи (под сигналом должно пониматься его среднее значение);

K_n – коэффициент, характеризующий глубину волнообразного изменения напряжения сигнала по отношению к среднему его значению (на участках с электрической тягой $K_n = 6$ дБ, с автономной – $K_n = 3$ дБ).

Значения u_n и $u_{\text{мин}}$ для стационарных и возимых радиостанций при наличии на локомотивах помехоподавляющих устройств в зависимости от вида тяги и типа направляющих линий приведены в таблице 7.1, в соответствии с этой таблицей u_n может принимать значения в диапазоне от 24 до 60 дБ, а $u_{\text{мин}}$ – в диапазоне от 33 до 72 дБ.

Для скоростных (скорость движения больше 140 км/ч) и высокоскоростных (скорость движения больше 200 км/ч) поездов напряжение

помех на входе возимой радиостанции следует брать на 3,5 дБ (1,5 раза) больше уровней, приведенных в таблице 7.1., а минимально допустимый уровень полезного сигнала необходимо определять по формуле:

$$u_{\text{мин}} = u_{\text{помп}} + 12 \text{ дБ},$$

где $u_{\text{помп}}$ – уровень помех, создаваемых поездом в канале поездной радиосвязи. 0 дБ соответствуют 1 мкВ.

Примечание. При определении дальности уверенной радиосвязи $u_{\text{мин}}$ должно приниматься наибольшим для данных видов тяги и направляющих линий.

7.3. Переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции

Переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции $A_{\text{пер}}$ и постоянная затухания направляющей линии α_n должны определяться из таблицы 7.1. Для однопутных участков значения $A_{\text{пер}}$ следует брать на 4 дБ ниже значений, указанных в таблице 7.1.

Примечание: Расстояние между проводами трехфазной ВЛ равно 1,2 м; между проводом ДПР и питающим – 2,5 м; При использовании ВЛС и ВЛ значения $A_{\text{пер}}$ даны для расстояния 25 м между проводами направляющих линий и антенной возимой радиостанции.

Если расстояние между локомотивной антенной и проводами ВЛС и ВЛ, подвешенными на отдельно стоящих опорах, отличается от 25 м и превышает 10 м, то $A_{\text{пер}}$ должно определяться по формуле

$$A_{\text{пер}} = 50 + 0,5(R - 25) \quad (7.3)$$

где 50 – значение $A_{\text{пер}}$ при $R = 25$ м (см. таблицу 7.1), дБ.

7.4. Суммарное затухание сигнала ПРС в стационарных устройствах

Суммарное затухание сигнала ПРС в стационарных устройствах должно определяться по формуле

$$\sum a_{\text{ст}} = a_{\text{ф}} l_{\text{ф}} + a_{\text{сг}} + a_{\text{е}} + a_{\text{он}} + K_p \quad (7.4)$$

где $\alpha_{\text{ф}}$ – постоянная затухания фидера, дБ/м. Для коаксиальных кабелей, применяемых в радиостанциях ПРС, $\alpha_{\text{ф}} = (0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоте 2130 кГц (см. подпункт 5.1.2 Методических указаний);

$l_{\text{ф}}$ – длина фидера, соединяющего радиостанцию с согласующим устройством, м;

$a_{\text{сг}} = 1,5$ дБ – затухание, вносимое согласующим устройством стационарной радиостанции;

$a_{\text{в}}$ – затухание, вносимое схемой возбуждения направляющих проводов, дБ.

В случае непосредственного присоединения стационарной радиостанции к направляющим проводам a_v практически равно нулю.

Значения затухания a_v (дБ), вносимого схемами возбуждения направляющих проводов для различных типов направляющих линий, приведены в таблице 7.1.

$a_{он} = 5-6$ дБ – концевое затухание на ближнем конце при синфазном возбуждении направляющих линий. Должно учитываться только при возбуждении однопроводного волновода и воздушной линии связи;

$K_p = 3$ дБ – коэффициент, учитывающий, что высокочастотная энергия распространяется по направляющей линии в обе стороны от места присоединения стационарной радиостанции; в случае возбуждения направляющей линии в месте анкеровки (см. пп. 5.1.3 Методических указаний) $K_p = 0$ дБ.

Коэффициенты, используемые для расчета дальности радиосвязи по направляющим линиям

Таблица 7.1

Вид направляющей линии	Уровень радиопомех $u_{\text{п}}$ на входе приемника радиостанции, дБ		Минимальный уровень полезного сигнала $u_{\text{мин}}$ на входе приемника радиостанции, дБ		$A_{\text{пер}}$, дБ	$\alpha_{\text{н}}$, дБ/км	$a_{\text{в}}$, дБ
	Возимой	Стац.	Возимой	Стац.			
1. Электрическая тяга переменного тока 25 кВ							
1.1. Провода ДПР, подвешенные с одной стороны путей	60	58	72	70	38	2	1,5
1.2. Провода ДПР, подвешенные с разных сторон путей	60	56	72	68	35	4	2,8
1.3. Двухпроводный волновод	60	56	72	68	38	1,7	1,5
1.4. Однопроводный волновод, подвешенный под проводом ДПР	60	54	72	66	38	2 (в тоннеле – 12)	2,1
1.5. Пара проводов волновод – провод ДПР	60	56	72	68	37	1,7	1,5
2. Электрическая тяга переменного тока 2х25 кВ							
2.1. Провод ДПР и питающий провод ПП с одной стороны пути.	60	58	72	70	37	2	1,5
3. Электрическая тяга постоянного тока							
3.1. Два провода трехфазной ВЛ	58	52	70	64	40	2	2
3.2. Двухпроводный волновод	58	46	70	58	38	1,7	1,5
3.3. Однопроводный волновод	58	46	70	58	30 (в тоннеле – 38)	2,5 (в тоннеле – 12)	2,1
3.4. Цветные цепи воздушной линии связи	58	40	70	52	50	1,5	1,6
4. Автономная (тепловозная) тяга							
4.1. Два провода трехфазной ВЛ	38	50	47	59	50	2	2
4.2. Цветные цепи воздушной линии связи	38	30	47	39	50	1,5	1,6
4.3. Волновод:							
- однопроводный в тоннеле	38	30	47	39	38	12	2,1
- двухпроводный, подвешенный на самостоятельных опорах	38	24	47	39	38	1,7	1,5

7.5. Суммарное затухание сигнала ПРС в линейных устройствах

Суммарное затухание сигнала ПРС в линейных устройствах должно определяться по формуле:

$$\sum a_{\text{ли}} = a_{\text{пт}} + a_{\text{р}} + a_{\text{д}} + na_n + ma_{\text{тр}} \quad (7.5)$$

где $a_{\text{пт}}$, $a_{\text{р}}$ – затухания, вносимые соответственно схемами высокочастотных обходов тяговой подстанции и разъединителя, дБ; должно учитываться только для тех перегонов, в направлении которых расположены тяговая подстанция или разъединитель (при использовании схем рис. 6.8 и 6.9 Методических указаний; $a_{\text{пт}} = a_{\text{р}} = 1$ дБ;

$a_{\text{д}}$ – затухание, вносимое нарушением однородности двухпроводной направляющей линии, дБ; должно учитываться при противофазном возбуждении проводов ДПР в случае, когда один из проводов переходит на противоположную сторону пути; $a_{\text{д}} = 2,5$ дБ;

n – число переходов направляющих линий в пределах перегона;

a_n – затухание, вносимое изменением сторонности направляющей линии, дБ; $a_n = 0,7$ дБ при воздушном переходе, $a_n = 2,5$ дБ при кабельном переходе проводов с использованием согласующих контуров или линейных трансформаторов;

m – число обрабатываемых трансформаторов на перегоне;

$a_{\text{тр}}$ – затухание, вносимое силовым трансформатором при его высокочастотной обработке, дБ; $a_{\text{тр}} = 0,1$ дБ – при включении высокочастотных заградителей в месте отпая от направляющей линии; при включении заградителей у силового трансформатора $a_{\text{тр}}$ должно определяться по графикам рис. 7.1 в зависимости от длины проводов $l_{\text{тр}}$, которыми трансформатор должен подключаться к направляющей линии. При использовании двухпроводной линии ДПР-ПП на участках электрической тяги переменного тока 2х25 кВ затухание, вносимое одним автотрансформаторным пунктом АТП в тракт передачи энергии высокой частоты $a_{\text{тр}} = 4$ дБ.

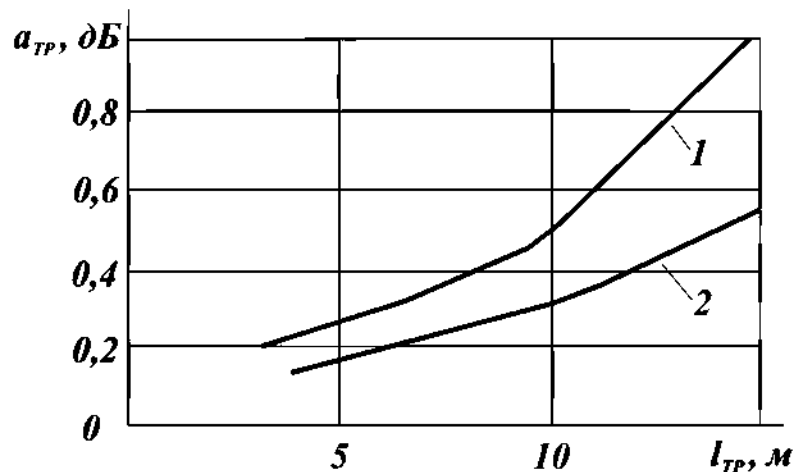


Рис. 7.1. Зависимость затухания $a_{\text{тр}}$ от длины проводов $l_{\text{тр}}$:
1 - для трехфазных трансформаторов; 2 - для однофазных трансформаторов

7.6. Суммарное затухание сигнала ПРС в локомотивных устройствах

Суммарное затухание сигнала ПРС в локомотивных устройствах определяется по формуле

$$\sum a_{\text{лок}} = a_{\text{св}} + K_{\text{не}} \quad (7.6)$$

где $a_{\text{св}} = 1,5$ дБ – затухание, вносимое согласующим устройством возимой радиостанции;

$K_{\text{не}} = 12$ дБ – коэффициент, учитывающий уменьшение к.п.д. возимой антенны подвижных единиц (дрезины, автомотрисы и т.п.) из-за уменьшения их длины и высоты по сравнению с типовой антенной. Для антенн электровозов и тепловозов $K_{\text{не}} = 0$ дБ.

7.7. Дальность действия уверенной радиосвязи при использовании на перегоне направляющих линий разных типов

Дальность действия уверенной радиосвязи при использовании на перегоне направляющих линий разных типов определяется по формуле

$$r = \frac{A_{\text{прд}} - u_{\text{мси}} - A_{\text{пер}} - \sum a_{\text{ст}} - \sum a_{\text{ли}} - \sum a_{\text{лок}} - \sum_{i=1}^{s-1} l_i (\alpha_{\text{ни}} - \alpha_{\text{нс}})}{\alpha_{\text{нс}}} \quad (7.7)$$

где $\alpha_{\text{ни}}$ – постоянная затухания i -ой направляющей линии, дБ/км;

$\alpha_{\text{нс}}$ – постоянная затухания последней, s -ой направляющей линии, наиболее удаленной от стационарной радиостанции, дБ/км;

l_i – протяженность i -ой направляющей линии с постоянной затухания $\alpha_{\text{ни}}$, км.

s – индекс направляющей линии, выбранной так, чтобы: в пределах всей направляющей линии $s-1$ уровень полезного сигнала на входе радиостанции превышал минимально допустимое значение, а на $s+1$ направляющей линии – уже был бы ниже допустимого значения.

При расчете дальности уверенной радиосвязи по формуле 7.7 значение $A_{\text{пер}}$ необходимо брать для той направляющей линии, которая должна находиться на наибольшем удалении от стационарной радиостанции, то есть имеющей постоянную затухания $\alpha_{\text{нс}}$.

7.8. Расчет дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн

Для расчета дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн должна определяться минимально допустимая напряженность поля сигнала $E_{\text{дон}}$, мкВ/м, которую необходимо иметь в месте приема, и напряженность поля E_a , мкВ/м, создаваемая антенной в зависимости от расстояния между антенной и местом приема. $E_{\text{дон}}$ и E_a должны определяться по формулам:

$$E_{\text{дон}} = K_{\text{н}} K_{\text{дон}} E_{\text{н}} \quad (7.8)$$

$$E_a = \frac{10,9\sqrt{P_a\eta_a D}}{r} W \cdot 10^{-6} \quad (7.9)$$

где K_u , $K_{дон}$ – должны определяться из пункта 7.2. С учетом того, что в п.7.2. значения коэффициентов приводятся в дБ, а в формуле 7.8 используются их значения, выраженные в разах, коэффициенты будут равны: $K_{дон} = 2$; $K_u = 2$ на участках с электрической тягой, $K_u = 1,4$ – на участках с тепловозной тягой;

E_n – квазипиковое значение напряженности поля радиопомех на уровне интегральной вероятности 0,8, мкВ/м. Значения E_n приведены в таблице 7.2.

P_a – мощность, подводимая к антенне, Вт;

η_a – к.п.д. антенны; для возимой антенны $\eta_a = 0,015-0,020$; η_a для стационарных антенн должны определяться по графикам рис. 7.2;

D – коэффициент направленного действия антенны по отношению к изотропному излучателю; для антенн, выполненных в соответствии с пунктом 5.2 Методических указаний, $D = 1,5$; для антенн возимых радиостанций коэффициент направленного действия $D = 1$;

W – множитель ослабления.

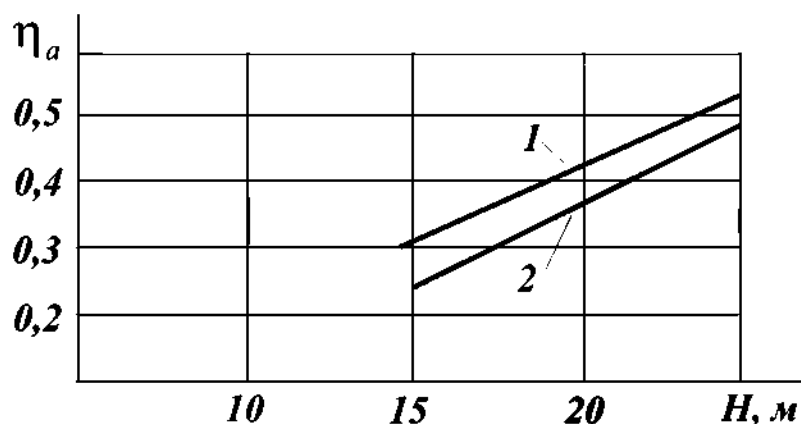


Рис. 7.2. Зависимость коэффициента полезного действия стационарных антенн от высоты подвеса:

1 – для Т-образных антенн; 2 – для Г-образных антенн.

Значения напряженности поля радиопомех в точке приема

Таблица 7.2

Тяга	Значение напряженности поля радиопомех E_n , мкВ/м; дБ, в точке расположения антенны радиостанции	
	Возимой	Стационарной
Электрическая: переменного тока	283; 49	80; 38
Электрическая: постоянного тока	227; 47	50; 34
Автономная	23; 27	20; 26

Примечание: 1. Значения напряженности поля радиопомех E_n в точке расположения антенн возимых радиостанций рассчитаны по формуле:

$$E_n = \frac{u_n}{h_d},$$

где:

u_n – допустимый уровень радиопомех на входе приемника возимой радиостанции, мкВ; значения u_n в зависимости от вида тяги взяты в соответствии с Распоряжением ОАО «РЖД» №2014р от 13.09.2011, Приложение А для наихудших условий (то есть при движении состава).

h_d – действующая высота антенны, м, рассчитанная по формуле:

$$h_d = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\eta_o D R_{BX}}{120}},$$

где:

R_{BX} – входное сопротивление антенны, 50 Ом.

λ – длина волны, 140 м.

2. За 0 дБ принят уровень, соответствующий 1 мкВ/м.

Значение мощности, подводимой к антенне, должно определяться по выражению:

$$P_A = P \cdot 10^{-0,1(\alpha_\phi l_\phi + \alpha_\sigma)} \quad (7.10)$$

где P – выходная мощность, равная 12 Вт для радиостанций РС-46М, РС-46МЦ, РС-6 и равная 6 Вт на каждой нагрузке при работе на две нагрузки; α_ϕ , l_ϕ должно определяться в соответствии с пунктом 7.4.

Множитель ослабления:

$$W = \frac{(2 + 0,3X)}{(2 + X + 0,6X^2)}$$

где X – расчетный коэффициент, определяемый по выражению:

$$X = \frac{\pi \cdot r \cdot \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\lambda \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}} \quad (7.11)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость земного покрова;

σ – удельная проводимость почвы, равная 1/(Ом·м).

Параметры ε и σ , в случае отсутствия точных данных, можно выбрать из таблицы 7.3.

Электродинамические параметры различных видов поверхности Земли.

Таблица 7.3.

Вид земного покрова	ε	σ , 1/(Ом·м)
морская вода	80	1 – 6
пресная вода	80	$10^{-3} - 10^{-2}$
влажная почва	10 – 30	$3 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-2}$
сухая почва	3 – 6	$1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$
лед	4 – 5	$10^{-2} - 10^{-1}$
снег	1	10^{-6}

Для определения искомой дальности уверенной радиосвязи необходимо подобрать такое ее значение r , при подстановке которого в выражения (7.11), (7.9) будет выполняться равенство $E_a = E_{дон}$. Данный расчет целесообразно производить с использованием ЭВМ.

С достаточной для практики точностью дальность уверенной радиосвязи может быть определена по графикам рис. 7.3. Графики представляют собой зависимость $E_a = f(r)$ при $\sqrt{P_a \eta_a} = 1$ для почвы с параметрами $\sigma = 10^{-2} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$ и $\epsilon = 10$ (кривая 1) и $\sigma = 10^{-3} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$, $\epsilon = 4$ (кривая 2).

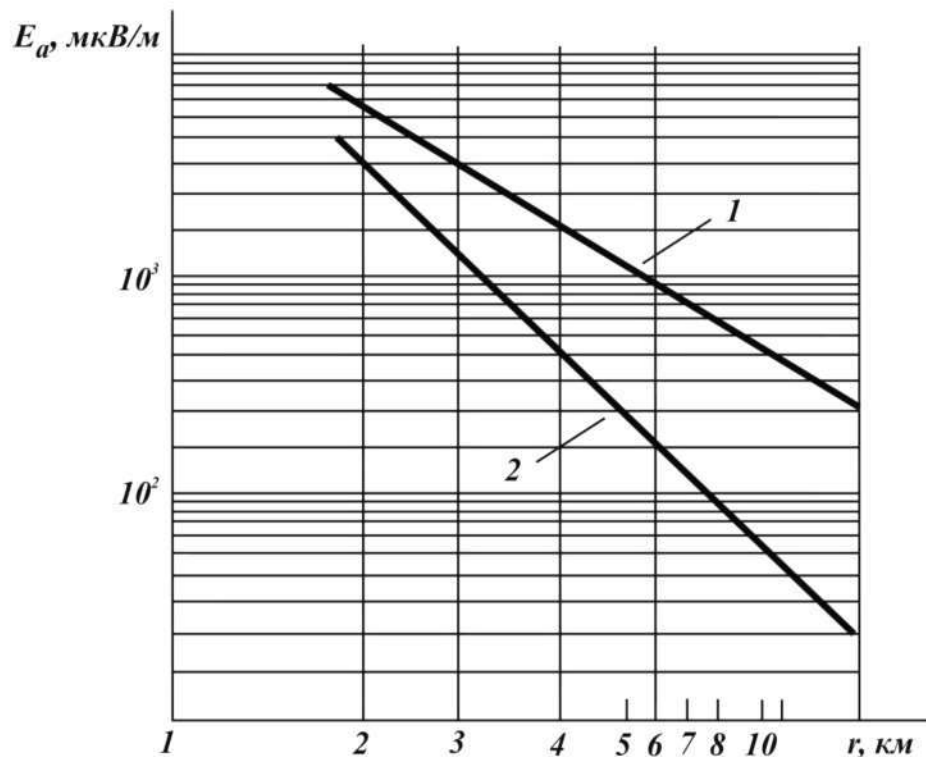


Рис. 7.3. Графики для определения дальности радиосвязи при использовании стационарных антенн

Величину r следует определять в точке пересечения прямой, параллельной оси абсцисс, проведенной на уровне $E_{дон}$, с одним из графиков рис. 7.3.

Если $\sqrt{P_a \eta_a} = M$, то для определения r параллельно графикам следует проводить прямые через ординаты, в M раз большие.

Примеры расчета дальности связи в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона волн приведены в приложении № 3 к Методическим указаниям.

VIII. РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В СЕТЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ ДИАПАЗОНОВ 160 МГц (PPC-C), 460 МГц (TETRA) И 900 МГц (GSM-R)

8.1.Обобщенный алгоритм частотно-территориального планирования радиосетей диапазонов 160, 460 и 900 МГц

Первой задачей, возникающей при расчете сетей технологической железнодорожной радиосвязи, является расчет дальности радиосвязи. Дальность радиосвязи определяется исходя из минимально допустимого отношения сигнала/шум, и, таким образом, напрямую зависит от величины потерь на трассе распространения радиосигнала.

В диапазонах 460 и 900 МГц для расчета потерь на трассе можно использовать одну из двух моделей: модель, основанную на Рекомендации МСЭ-R P.1546-4, и модель, основанную на Рекомендации МСЭ-R P.1812-2. В диапазоне 160 МГц расчет можно производить как на основании указанных выше Рекомендаций МСЭ, так и на основании традиционной методики расчета канала PPC, изложенной ранее в Правилах организации и расчета сетей поездной радиосвязи № ХЗ-7970 (далее – традиционная методика расчета канала PPC).

Модель из Рекомендации МСЭ-R P.1546 основана на интерполяции/экстраполяции по полученным эмпирическим путем кривым напряженности поля как функциям от расстояния, высоты антенны, частоты и процента времени. Процедура расчета включает также внесение для уточнения расчетов поправок в результаты, полученные на основе интерполяции/экстраполяции. Выбор этой модели обуславливается отсутствием подробной базы данных цифровых карт местности. Осуществленный в соответствии с этой методикой расчет носит приблизительный, предварительный характер.

Модель из Рекомендации МСЭ-R P.1812 следует использовать при наличии базы данных цифровых карт с высотами местности, указанными в соответствии с координатами широты и долготы, из которой можно автоматически получать профили земной поверхности. Таким образом, предполагается, что пользователи настоящей модели имеют возможность подробно описать профили земной поверхности (т. е. высоты над средним уровнем моря) как функции от расстояния на траекториях дуги большого круга (т.е. геофизических линиях) между терминалами для множества различных мест размещения терминалов.

Традиционную методику расчета канала PPC в диапазоне 160 МГц (на основе Правил № ХЗ-7970) целесообразно использовать в том случае, если отсутствует возможность применения программно-вычислительных средств

или если оценка дальности радиосвязи носит предварительный характер. Вместе с тем, для равнинной местности, расчет по данной методике дает достаточно точные результаты.

Стоит отметить, что механизмы расчета, представленные в Рекомендации МСЭ-R P.1546 и в традиционной методике расчета канала ПРС, основаны на статистическом анализе экспериментальных данных, то есть по существу являются статистическими моделями. В Рекомендации МСЭ-R P.1812, напротив, изложена детерминированная модель, расчет по которой является более трудоемким, но дает более точные результаты.

На рисунке 8.1 представлен обобщенный алгоритм частотно-территориального планирования сети технологической железнодорожной радиосвязи. Он состоит из двух больших блоков, ограниченных пунктирной линией. Первый блок содержит часть расчетов, связанную с оценкой потерь на трассе распространения радиоволн. Второй блок – часть расчетов, направленных на обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Блоки исходных данных 3, 5, 11, 18 для удобства вынесены отдельно и подробно пояснены. После выбора модели и выполнения обязательных расчетов предусмотрена возможность введения дополнительных поправок. При использовании Рекомендации МСЭ-R P.1546 или традиционной методики расчета канала ПРС могут быть использованы следующие дополнительные поправки: на угол просвета местности для более точного учета рельефа местности; на прохождение трассы через город или пригород (расчет этих двух поправок проводится в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.1546); на проникновение сигнала внутрь здания в том случае, если приемная антенна располагается в здании, например, если абонент носимой радиостанции зашел в какое-либо помещение (данная поправка рассчитывается в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.1812). Кроме того, могут быть внесены поправки на распространение сигнала в условиях железнодорожной инфраструктуры: коэффициент экранирования, коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью, коэффициент, учитывающий ухудшение условий передачи в каналах с носимыми радиосредствами.

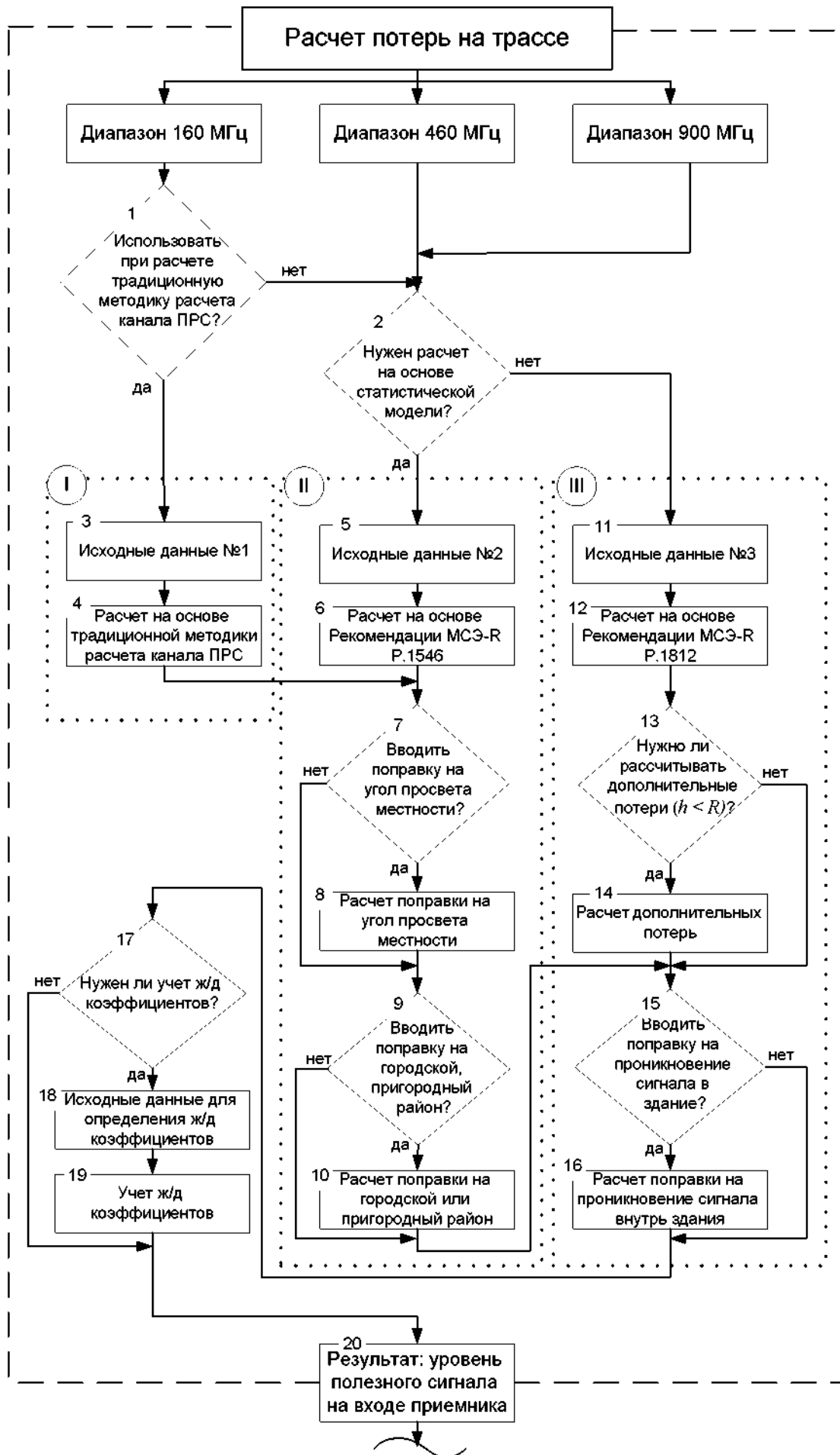
При использовании Рекомендации МСЭ-R P.1812 в случае необходимости можно рассчитать дополнительные потери, обусловленные расположением передающей или приемной антенн ниже типовой высоты препятствия, также можно ввести «железнодорожные» поправки и поправку на проникновение сигнала внутрь здания.

На рисунке 8.1 расчеты, которые проводятся в рамках одной и той же методики, объединены в одну область, ограниченную пунктирными линиями и обозначенную римской цифрой в круге. Область, обозначенная цифрой I,

соответствует традиционной методике расчета канала ПРС, II – Рекомендации МСЭ-R P.1546, III – Рекомендации МСЭ-R P.1812.

На рисунках 8.2, 8.3 и 8.4 подробно представлены алгоритмы расчета, основанные соответственно на традиционной методике расчета канала ПРС, Рекомендации МСЭ-R P.1546 и Рекомендации МСЭ-R P.1812. (на рисунке 8.4 блоки 13, 14 относятся к Рекомендации МСЭ-R P.526).

Следует отметить, что расчет абонентской нагрузки в рамках данного алгоритма не производится. Предполагается, что для всех описываемых моделей величина абонентской нагрузки является заданной.



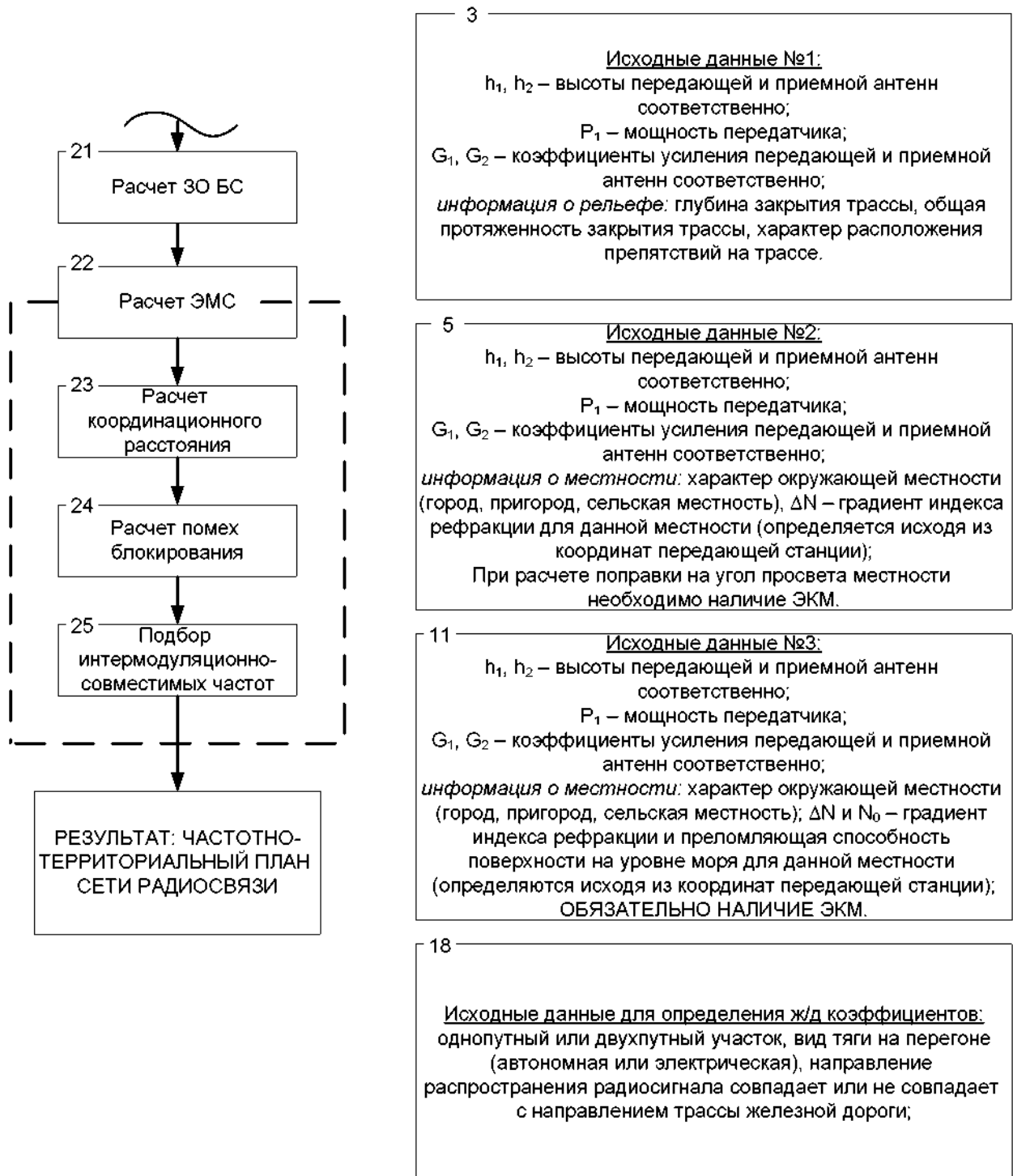


Рис. 8.1. Обобщенный алгоритм частотно-территориального планирования сети технологической железнодорожной радиосвязи

Следующим основным этапом расчета сетей железнодорожной радиосвязи (показаны на рисунке 8.1) является расчет зон обслуживания. Завершает частотно-территориальное планирование сети проверка внутрисистемной электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: расчет координационного расстояния и помех блокирования, подбор интермодуляционно-совместимых частот.

Отметим, что при расчетах с использованием рекомендаций МСЭ-Р высота антенн над поверхностью земли должна соответствовать расположению их фазовых центров. Для описания местоположения радиостанции приводятся их прямоугольные координаты, дополненные высотой над уровнем моря. Таким образом, для обозначения места расположения антенн будет использоваться следующая запись: для мобильной радиостанции $\mathbf{a} = (x_1, x_2, x_3)_{AC}$, для базовой – $\mathbf{b} = (x_1, x_2, x_3)_{BC}$, где первые две координаты относятся к плоскости карты (долгота и широта), а третья – высота над уровнем моря.

Принадлежность некоторого параметра приемнику будет обозначаться индексом r_x , а передатчику – t_x ; полезному сигналу – индексом S , а мешающему – I .

Для удобства использования методик расчета, представленных в виде блок-схем на рисунках 8.1. – 8.4. в таблице 8.1 приведены номера элементов блок-схем и разделы настоящих Методических указаний, в которых описаны механизмы расчета соответствующих параметров и поправок.

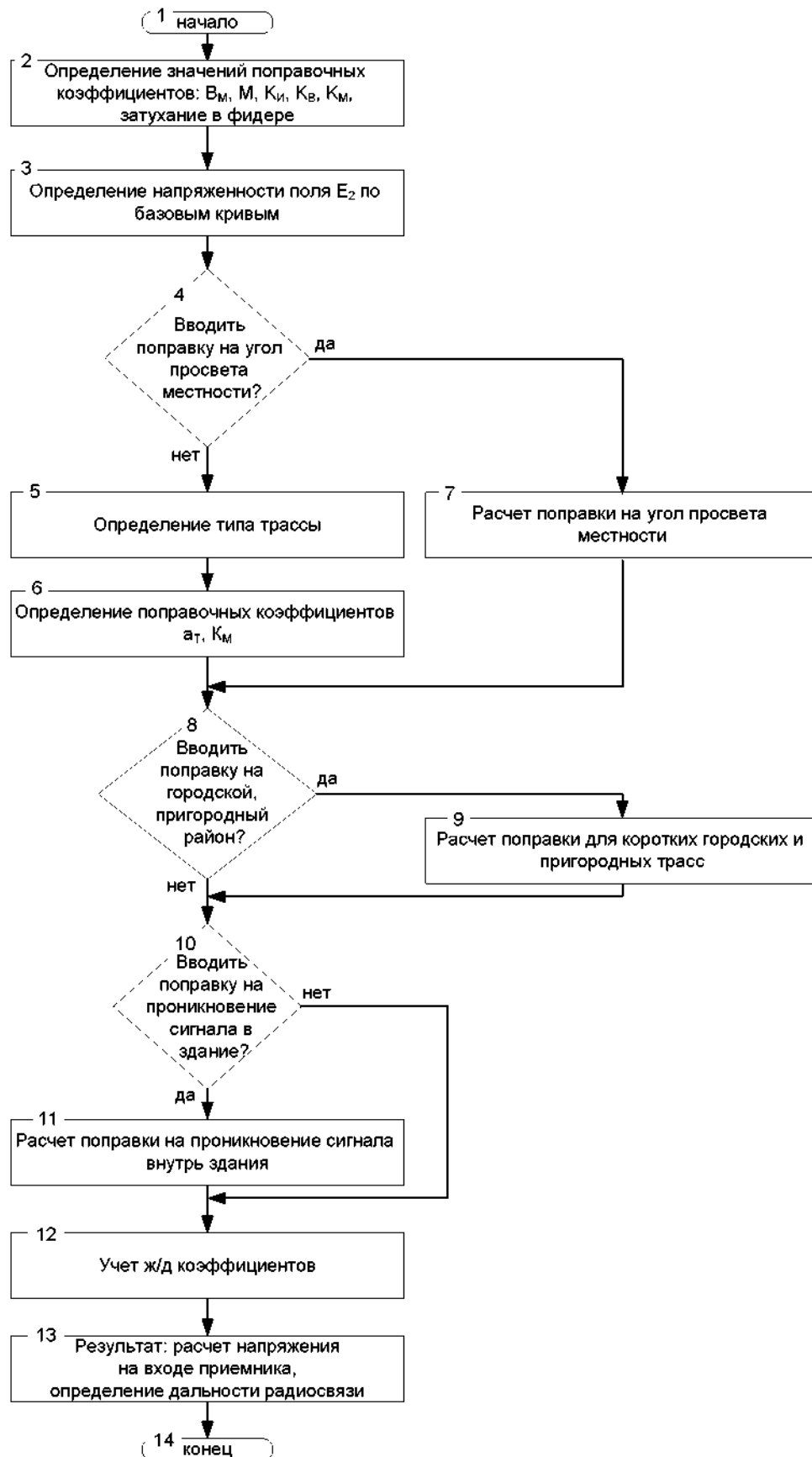


Рис. 8.2. Алгоритм расчета дальности радиосвязи на основе традиционной методики расчета канала ПРС

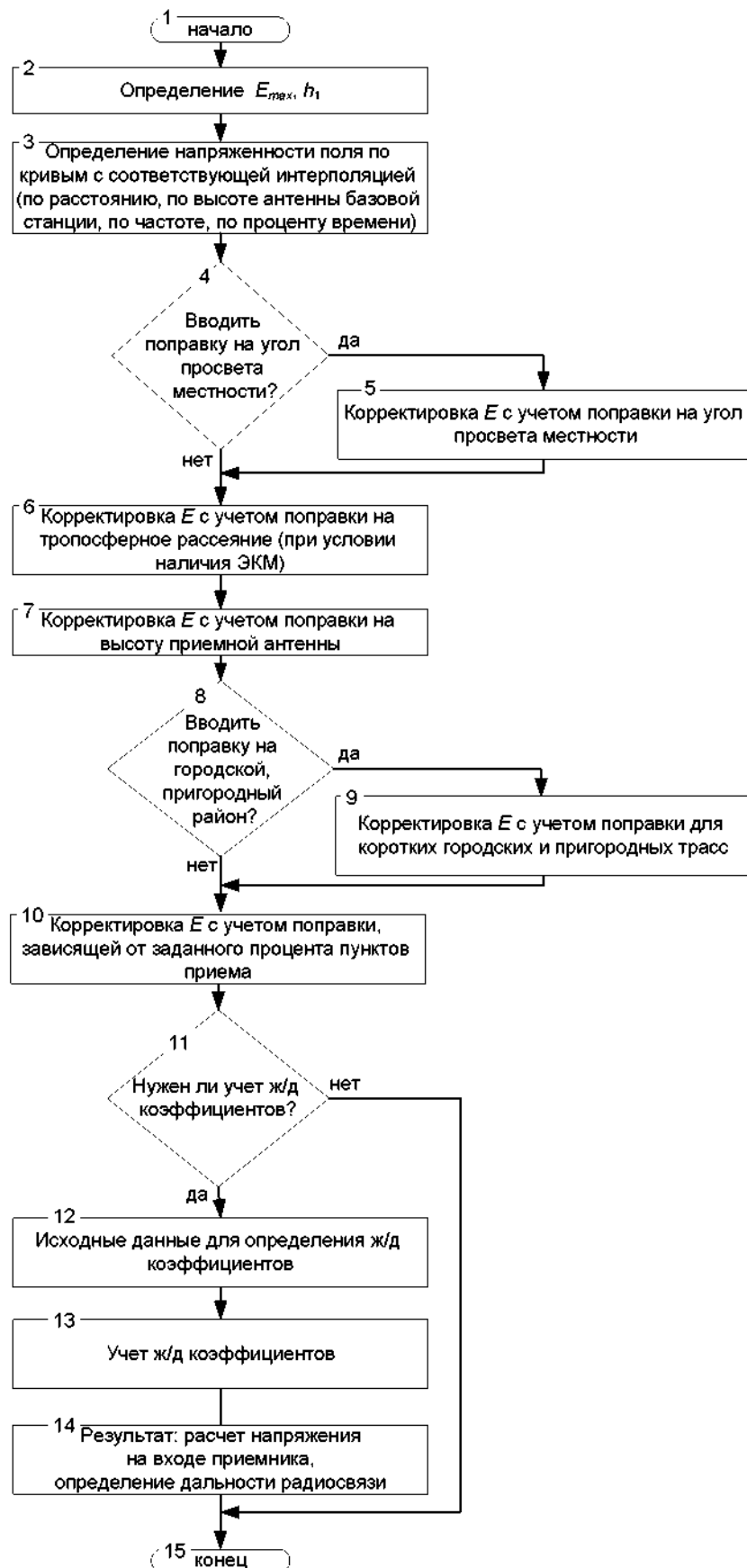
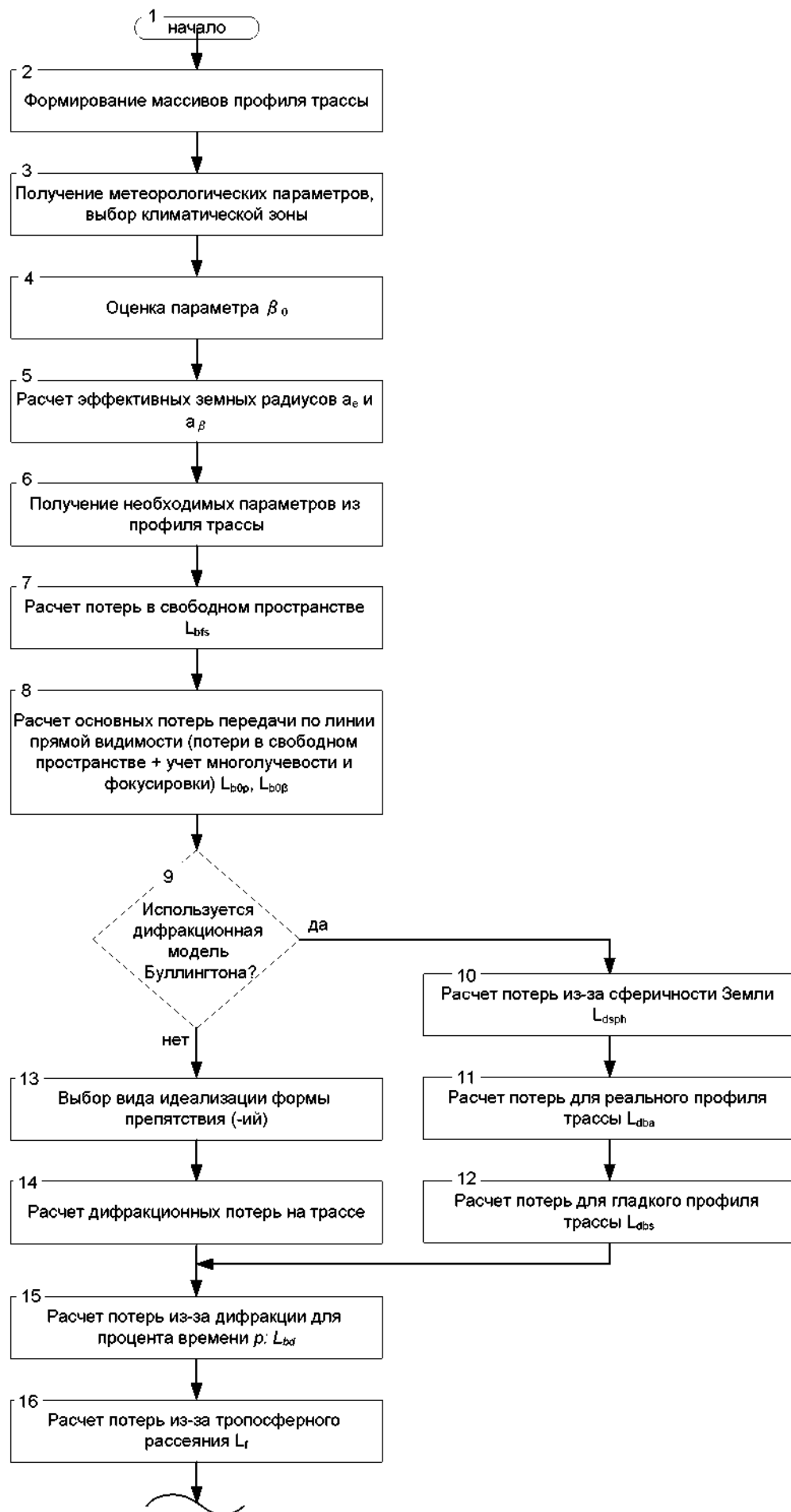


Рис. 8.3. Алгоритм расчета дальности радиосвязи на основе Рекомендации МСЭ-R P.1546



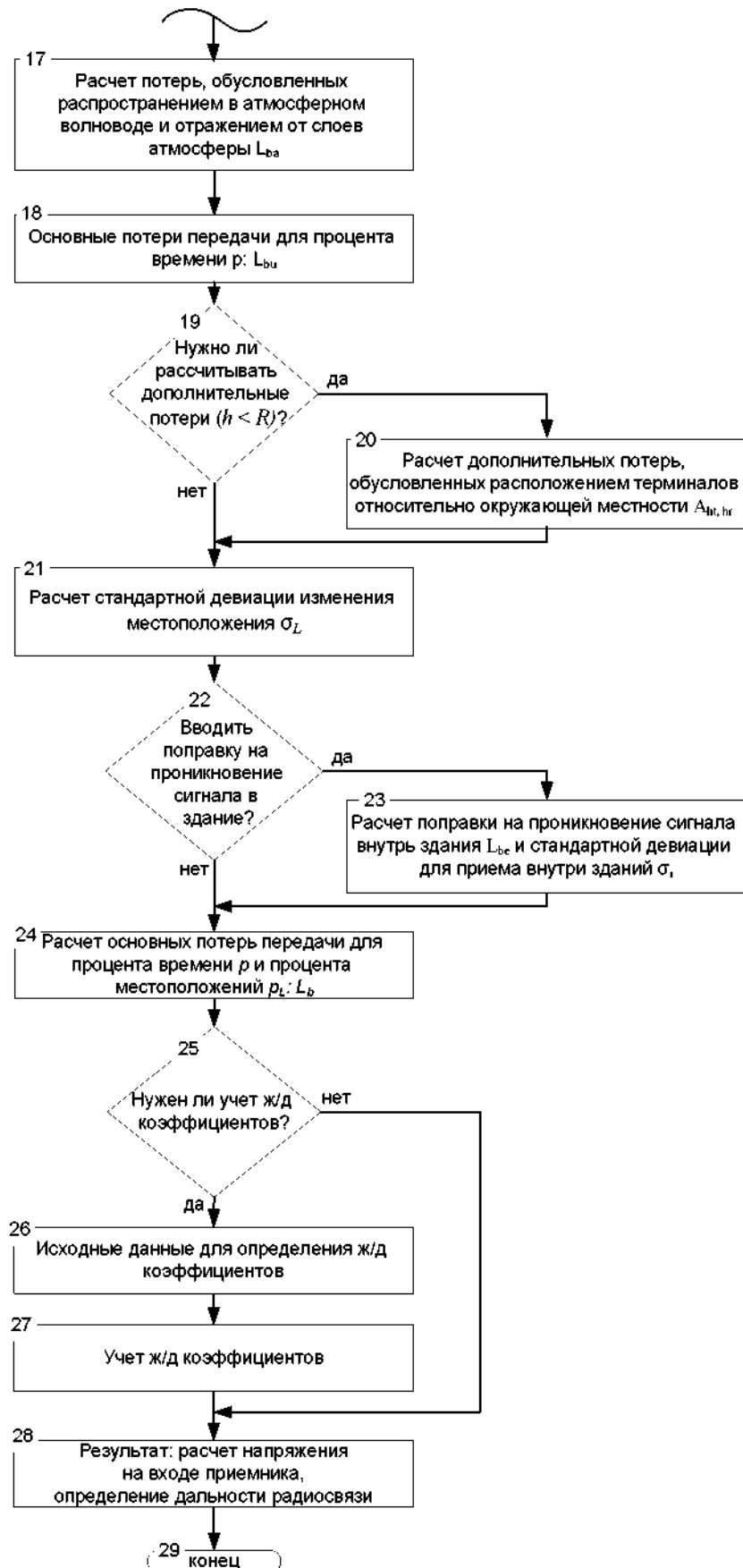


Рис. 8.4. Алгоритм расчета дальности радиосвязи на основе Рекомендации МСЭ-R P.1812.

Таблица 8.1.

Соответствие элементов блок-схем разделам «Методических указаний по организации и расчету сетей поездной радиосвязи ОАО «РЖД»

Наименование алгоритма	Номер блока	Пункт в документе
Алгоритм расчета сети технологической радиосвязи (рисунок 8.1)	1	8.1
	2	8.1
	3	—
	4	8.2.6 – 8.2.9
	5	—
	6	П.12
	7	П.12.9
	8	П.12.9
	9	П.12.8
	10	П.12.8
	11	—
	12	П.13
	13	П.13.2.7
	14	П.13.2.7
	15	П.13.2.9
	16	П.13.2.9
	17	П.12.13,
	18	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	19	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	20	формула П.12.1
	21	8.5
	22	9
	23	9.1.1
	24	9.1.2.2, 9.1.3.2, 9.2.2
	25	9.1.2.3, 9.1.3.2, 9.2.3
Алгоритм расчета на основе традиционной методики расчета канала ПРС (рисунок 8.2)	1	8.2
	2	8.2.3, 8.2.4
	3	8.2.1
	4	8.2.10
	5	8.2.2
	6	8.2.3, 8.2.4
	7	П.12.10
	8	8.2.11
	9	П.12.3.7
	10	8.2.11
	11	П.13.2.9
	12	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	13	8.2.6 – 8.2.9
	14	—

Окончание таблицы 8.1.

Наименование алгоритма	Номер блока	Пункт в документе
Алгоритм расчета дальности радиосвязи на основе Рекомендации МСЭ-R P.1546 (рисунок 8.3)	1	П.12
	2	П.12.2, П.12.3.1
	3	П.12.3.2 – П.12.6, П.12.10
	4	П.12.9
	5	П.12.9
	6	П.12.12
	7	П.12.7
	8	П.12.8
	9	П.12.8
	10	П.12.11
	11	П.12.13
	12	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	13	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	14	П.12
	15	–
Алгоритм расчета дальности радиосвязи на основе Рекомендации МСЭ-R P.1812 (рисунок 8.4)	1	П.13
	2	П.13.1.2
	3	П.13.1.3, П.13.1.4
	4	П.13.1.5
	5	П.13.1.6
	6	П.13.1.7
	7	П.13.2.1
	8	П.13.2.1
	9	П.13.2.2, П.13.2.3
	10	П.13.2.2.2, П.13.2.2.3
	11	П.13.2.2.4
	12	П.13.2.2.5
	13	П.13.2.3
	14	П.13.2.3
	15	П.13.2.2.6
	16	П.13.2.4
	17	П.13.2.5
	18	П.13.2.6
	19	П.13.2.7
	20	П.13.2.7
	21	П.13.2.8
	22	П.13.2.9
	23	П.13.2.9
	24	П.13.2.10
	25	П.13, П.12.13
	26	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	27	8.2.3, 8.2.6, 8.2.9
	28	П.13
	29	–

8.2. Традиционная методика расчета дальности связи в сетях ПРС-С диапазона 160 МГц

8.2.1. Базовые кривые распространения радиоволн

Дальность связи между радиостанциями должна рассчитываться на основе базовых кривых распространения (рис.8.5), представляющих собой графические зависимости медианного значения напряженности электрического поля E_2 от расстояния r между точкой приема и источником излучения на вероятностном уровне, превышаемом 50% по месту и времени. Кривые приведены для следующих условий: $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ (кривые 1 и 2) – произведение высот установки стационарной и возимой антенн над поверхностью земли; $h_1 h_2 = 25 \text{ м}^2$ (кривая 3) – произведение высот установки возимых антенн; $P_1 = 1 \text{ Вт}$ – мощность передатчика; $G_1 = 0 \text{ дБ}$ – коэффициент усиления передающей антенны по отношению к полуволновому вибратору; затухание в фидере, соединяющем передатчик с антенной, равно нулю ($\alpha_1 l_1 = 0 \text{ дБ}$); индекс преломления воздуха соответствует стандартной атмосфере ($\Delta N = -40$). Расстояние r должно отсчитываться по прямой линии.

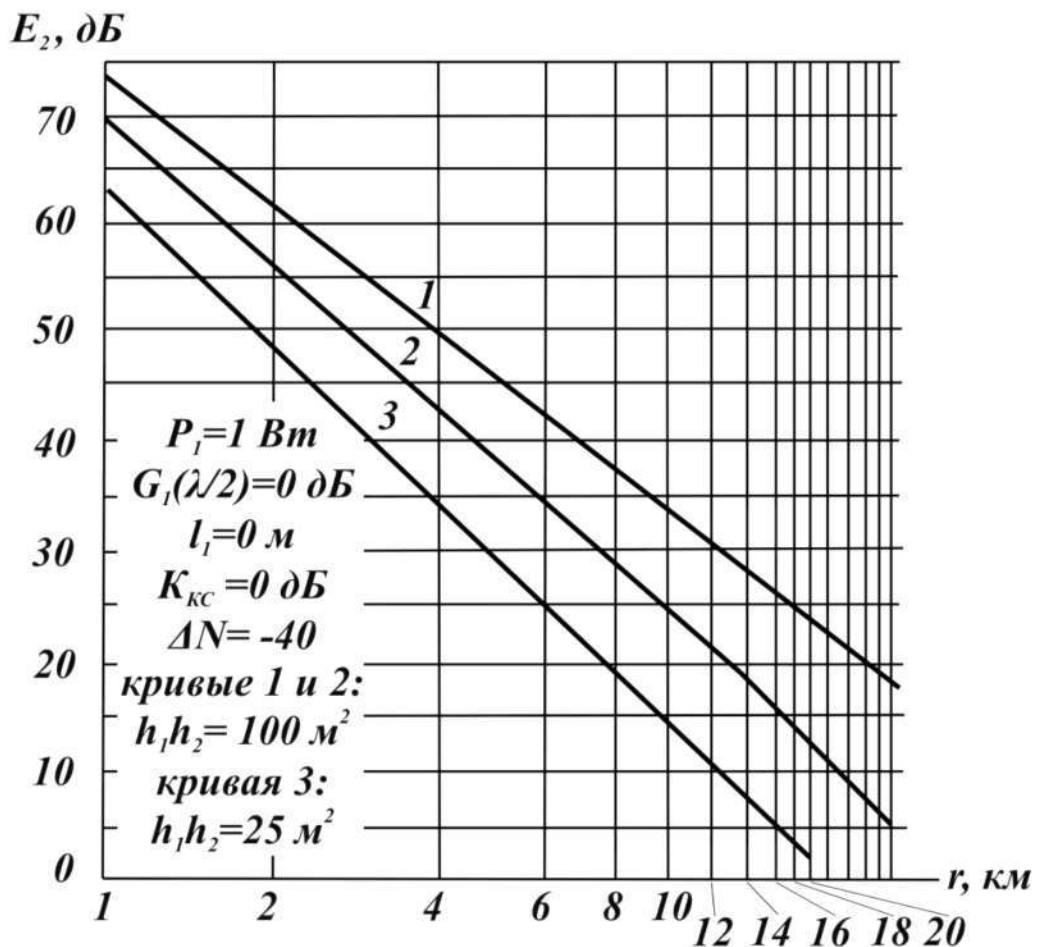


Рис. 8.5. Базовые кривые распространения

Кривая 1 соответствует случаю, когда направление распространения радиоволн совпадает с направлением трассы железной дороги. Кривая 2

соответствует случаю, когда направление связи не совпадает с трассой железной дороги. Кривая 3 используется при расчете дальности связи между локомотивами.

Абсолютные значения напряженности поля и напряжения должны выражаться в децибелах по отношению соответственно к 1 мкВ/м и 1 мкВ. В формулах при расчете канала "Стационар – локомотив" индекс 1 должен относиться к стационарной (передающей) радиостанции, индекс 2 – к возимой (приемной). Под высотой установки стационарной антенны h_1 должна пониматься так называемая *эффективная высота*, которая должна представлять собой возвышение антенн относительно среднего уровня окружающей местности на расстоянии до 0,5 км в направлении связи. Если антенна заслонена в направлении связи промышленными зданиями, жилой застройкой, находящимися на расстоянии 10-40 м от антенны, то эффективную высоту следует отсчитывать от верхнего уровня препятствия.

8.2.2. Типы трасс радиосвязи

В случае, если при расчете радиоканала предполагается использовать поправку на угол просвета местности (пункт 8.2.10), данный раздел методики не используется.

Трассы поездной радиосвязи по характеру рельефа местности, по которой они проходят, следуют подразделять на пять типов. Каждому типу должно соответствовать определенное значение коэффициента сложности трассы $K_{СТ}$, которое может колебаться в пределах от 1 до 5. Для более точного определения типа трассы по ее характеристикам введены условно понятия нулевого ($K_{СТ} = 0$) и шестого ($K_{СТ} = 6$) типа трассы. В противном случае трассы типов 1 и 5 будут получаться очень редко по результатам расчета, так как всегда часть характеристик трассы будет сложнее типа 1 и проще 5 при фактическом наличии типов 1 и 5 трассы.

Трасса типа 1 (равнинная, $K_{СТ} = 1$) характеризуется невысокими холмами с глубиной закрытия трассы до 10 м и колебаниями уровня земной поверхности Δh не выше 15 м (рис. 8.6).

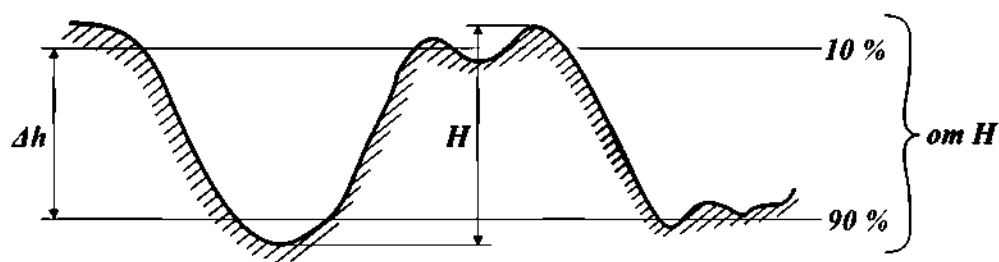


Рис. 8.6. Иллюстрация к определению колебаний земной поверхности Δh

Трасса типа 2 (среднепересеченная, $K_{СТ} = 2$) имеет колебания уровня не более 50 м. Она встречается в большинстве районов Европейской части РФ и Сибири.

Трасса типа 3 (легкая горная, $K_{СТ} = 3$) промежуточная между холмистой и сложной горной.

Трасса типа 4 (сложная горная, $K_{СТ} = 4$) является типичной для горной местности. Ее профиль характеризуется резкими колебаниями. Глубина закрытия трассы может достигать 60 м.

Трасса типа 5 (горная повышенной сложности, $K_{СТ} = 5$) имеет очень сложный профиль. Глубина закрытия трассы достигает 100 м и более.

Трассы, занимающие промежуточное положение между приведенными выше типами, характеризуются коэффициентами $K_{СТ}$, равными 1,5; 2,5; 3,5; 4,5.

Тип трассы радиосвязи следует определять по ее профилю, который должен строиться по топографической карте. Для трасс типов 1 – 3 следует использовать карты с масштабом 1:100 000, а для трасс типов 4 и 5 – 1:25000 или 1:50000.

Краткая характеристика типов трасс радиосвязи приведена в таблице П4.1 приложения № 4 к Методическим указаниям. Методика определения типа трассы радиосвязи изложена в приложении № 4 к Методическим указаниям.

8.2.3. Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты должны учитывать отличие параметров антенно-фидерных трактов, мощности передатчика и рельефа местности от условий, для которых приведены кривые (см. рис 8.5.)

Коэффициент мощности, дБ

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{P}{P_1} \right) \quad (8.1)$$

должен учитывать отличие мощности передатчика P от мощности $P_1 = 1$ Вт (рис. 8.7).

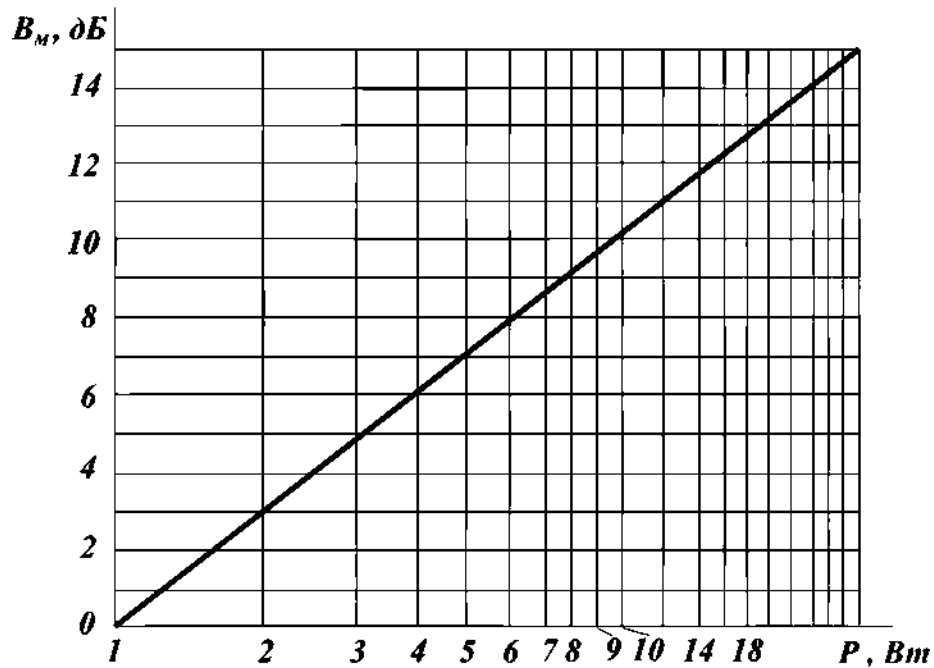


Рис. 8.7. График для получения поправочного коэффициента B_m

Высотный коэффициент M , дБ, определяемый по формуле:

$$M = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) \quad (8.2)$$

должен учитывать отличие произведения высот установки антенн от 100 м^2 и должен использоваться при расчетах по кривым 1 и 2 (см. рис. 8.5).

Затухание, вносимое фидером стационарной радиостанции, $\alpha_1 l_1$, дБ, где α_1 – постоянная затухания фидера, дБ/м; l_1 – длина фидера, м; следует выбирать ориентировочно, исходя из мест установки антенны и радиостанции; в среднем $l_1 = 25 \div 30 \text{ м}$.

Затухание, вносимое фидером приемного устройства, должно составлять $\alpha_2 l_2$, дБ, где α_2 – постоянная затухания фидера, дБ/м; l_2 – длина фидера, м.

Коэффициент a_T должен учитывать условия распространения радиоволн на конкретной трассе радиосвязи. В случае, если при расчете радиоканала используется поправка на угол просвета местности (пункт 8.2.10), коэффициент a_T не используется.

Зависимости коэффициента a_T от коэффициента сложности трассы радиосвязи приведена ниже.

K_{CT}	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
a_T , дБ	3,4	1,7	0	-1,7	-3,4	-5,1	-6,8	-8,5	-10,2

Преобразование напряженности поля ВЧ сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером должно учитываться коэффициентом g_2 , равным 12 дБ для фидера с волновым сопротивлением 50 Ом.

Направленные свойства передающей и приемной антенн должны учитываться при расчете их коэффициентами усиления соответственно G_1 и G_2 (по отношению к полуволновому вибратору).

Значение коэффициентов усиления стационарных и возимых антенн приведены в таблице П8.1 Приложения 1 Методических указаний.

Коэффициент экранирования КЭ должен учитывать ослабление напряженности поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте расположения возимой антенны различного оборудования. Значения КЭ для возимых антенн приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Подвижный объект	Место расположения антенны на крыше объекта	К _э , дБ, антенн		
		АЛ1/160 АЛ1/160/Н	АЛ2/160 АЛ2/160/Н	АЛП/2,3
Электровозы: -переменного тока -постоянного тока	На крыше головного вагона	5	8	3
		3	6	2
Тепловозы		2	2,5	0
Электро- и дизель-поезда		2	2,5	0
Дрезины и автоматрисы		2	2	0
		Вблизи экранирующих предметов	8	8
Вагоны		0	2	0

8.2.4. Вероятностные коэффициенты, учитывающие флуктуации сигнала

При расчетах высокочастотного тракта канала следует использовать поправочные коэффициенты, которые учитывают пространственные и временные флуктуации напряженности поля, вызванные интерференцией падающих и отраженных волн, волнистостью земной поверхности и изменениями состояния атмосферы.

Коэффициент $K_{\text{И}}$ должен учитывать наличие интерференционных волн в пространстве. Коэффициент $K_{\text{М}}$ должен учитывать медленные колебания напряженности поля вследствие изменения рельефа местности. В случае, если при расчетах радиоканала используется поправка на угол просвета местности (пункт 8.2.10), коэффициент $K_{\text{М}}$ при расчетах не учитывается.

Коэффициент K_B должен учитывать колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменении рефракции в тропосфере. В расчетах значения этих коэффициентов следует брать на вероятностном уровне 90 % с тем, чтобы обеспечить качество связи не хуже удовлетворительного. При этом $K_B = 1,8$ дБ; $K_{II} = 5$ дБ для электрифицированных и $K_{II} = 1,5$ дБ для неэлектрифицированных участков. Значения K_M приведены ниже.

Тип трассы	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
K_M , дБ	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

Значения K_{II} , K_B и K_M для других вероятностных уровней представлены в виде кривых на рис. 8.8 и 8.9 соответственно (на рис. 8.8 кривая 1 для электрифицированных, 2 - для неэлектрифицированных участков; на рис. 8.9 номера кривых соответствуют типу трассы).

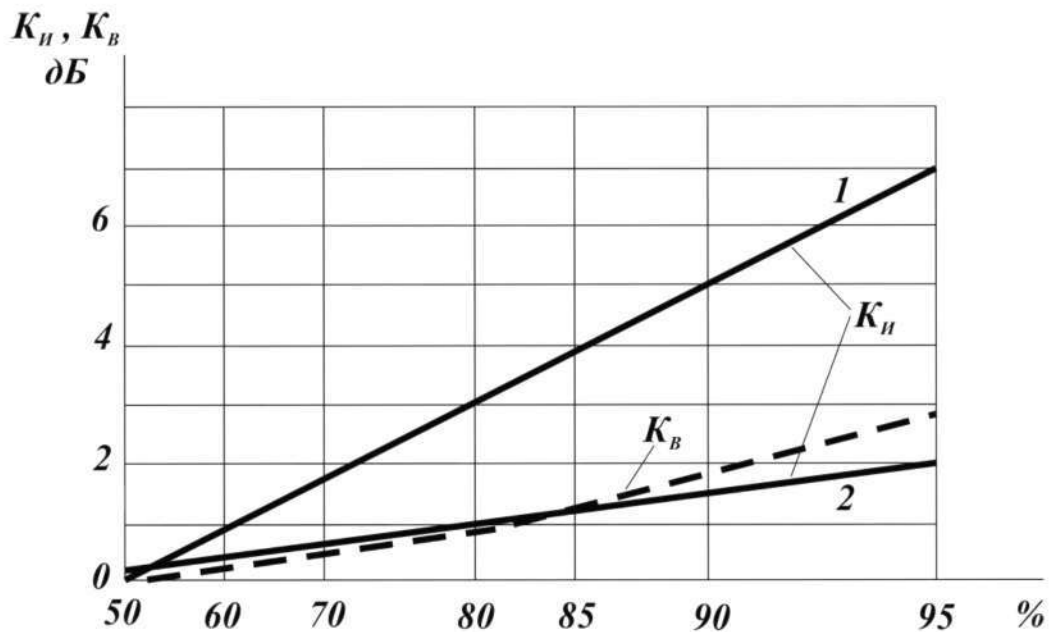


Рис. 8.8. Зависимость коэффициентов K_{II} , K_B от вероятностных уровней

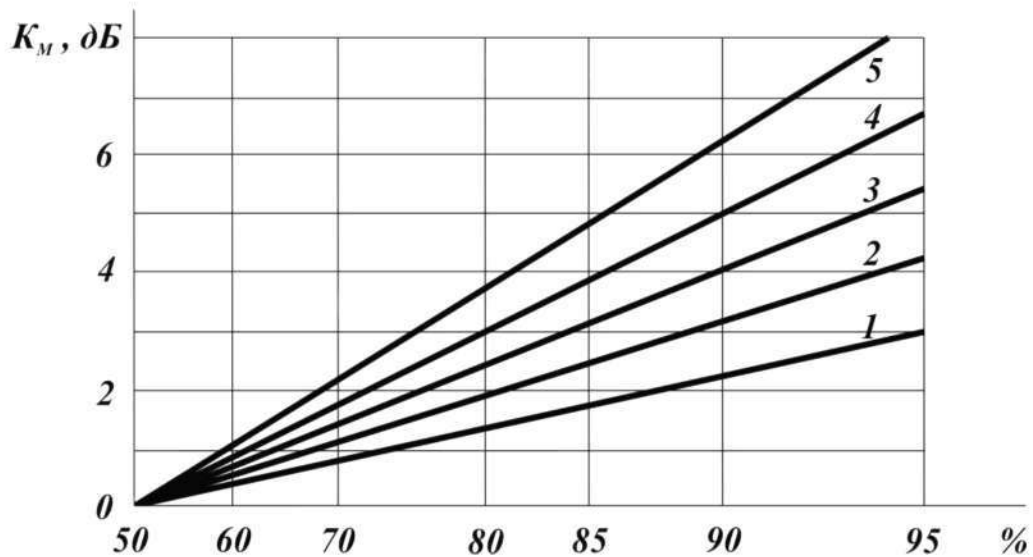


Рис .8.9. Зависимости коэффициента K_M от типов трасс и вероятностных уровней

8.2.5. Минимально допустимый уровень полезного сигнала ($u_{2\text{мин}}$) на входе приемники возимой радиостанции

Значения $u_{2\text{мин}}$, которые следует использовать при расчетах, приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3

Вид тяги	Минимальный уровень полезного сигнала $u_{2\text{мин}}$ на входе приемника радиостанции РВ, дБ (1 мкВ), для вероятности связи, равной 95 % по месту и времени
Автономная тяга	6
Электрическая тяга постоянного тока при скорости движения, км/ч: - до 120 - свыше 120	8 12
Электрическая тяга переменного тока: - при электровозной тяге - при автономной тяге	14 16
Примечания. 1. Для всех подвижных единиц, не связанных с контактной сетью, на электрифицированных участках постоянного тока $u_{2\text{мин}}$ следует принимать равным 10 дБ (1 мкВ). 2. Для всех подвижных единиц со скоростями движения более 160 км/ч уровень $u_{2\text{мин}}$ следует увеличивать на 6 дБ (1 мкВ).	

8.2.6. Расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанциями

При расчете радиоканала ПРС дальность связи следует определять в направлении от стационарной радиостанции к радиостанции подвижного объекта, поскольку условия приема сигналов на подвижном объекте значительно хуже, чем на стационаре из-за более высокого уровня помех.

Уровень сигнала, дБ, на входе приемника возимой радиостанции

$$u_2 = E_2 + a_r + B_M + G_1 + G_2 + M - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - K_э - K_{КС} - g_2 - K_H - K_B - K_M \quad (8.3)$$

где E_2 – напряженность поля, отсчитываемая по соответствующей базовой кривой распространения для заданного расстояния (см. рис. 8.5), мкВ/м;

$K_{КС}$ – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью; для однопутного участка $K_{КС} = 1$ дБ, для двухпутного $K_{КС} = 2$ дБ.

Значения других членов уравнения приведены выше (индексы 1 и 2 означают принадлежность к передающей и приемной радиостанциям).

Дальность связи «Стационар-локомотив» следует рассчитывать исходя из условия $u_2 \geq u_{2\text{мин}}$ в такой последовательности:

1) задается минимально допустимое напряжение полезного сигнала на входе приемника возимой радиостанции $u_{2\text{мин}}$ (см. таблицу 8.3);

2) из формулы 8.4 определяется значение напряженности поля E_2 , с учетом того, что $u_2 = u_{2\text{мин}}$:

$$E_2 = u_2 - a_r - B_M - G_1 - G_2 - M + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + K_э + K_{КС} + g_2 + K_H + K_B + K_M \quad (8.4)$$

3) по найденному значению E_2 и базовым кривым 1 или 2 (см. рис. 8.5) определяется дальность радиосвязи r . Расстояние r должно отсчитываться по прямой линии.

Для пересчета к расстоянию вдоль железнодорожного пути следует пользоваться топографической картой. Особенности расчета дальности связи между стационарной и возимой радиостанциями в диапазоне 160 МГц приведены в приложении № 5 к Методическим указаниям.

Для трасс радиосвязи типов 4 и 5 результаты расчетов являются ориентировочными. Поэтому они должны уточняться в результате натурных измерений. Методика измерения уровня полезного сигнала в диапазоне 160 МГц приведена в приложении № 6 к Методическим указаниям.

8.2.7. Расчет высоты установки стационарной антенны

Высоту стационарной антенны следует определять в таком порядке:

1) задается значение $u_{2\text{мин}}$ на входе приемника возимой радиостанции (см. таблицу 8.3);

2) исходя из заданной дальности связи определяется необходимая напряженность поля E_2 (см. рис. 8.5);

3) из формулы 8.3 вычисляется значение коэффициента M при условии:
 $u_2 = u_{2\text{мин}}$;

4) по формуле 8.2 при заданной высоте h_2 установки возимой антенны рассчитывается высота установки стационарной антенны.

8.2.8. Расчет дальности связи между локомотивами

Для расчета дальности связи между локомотивами должна использоваться базовая кривая 3 (см. рис. 8.5) для высот установки возимых антенн 5 м. Особенность расчета заключается в том, что тип трассы радиосвязи постоянно меняется при движении локомотива в пределах рассматриваемого участка железной дороги. Поэтому следует ориентироваться на такой тип трассы, который является наиболее сложным для данной местности.

Напряжение сигнала на входе приемника возимой радиостанции следует определять по формуле 8.3 при условии, что параметры передающего и приемного антенно-фидерных трактов одинаковы:

$$u_2 = E_2 + a_r + B_M + 2G_2 - 2\alpha_2 I_2 - 2K_{\text{Э}} - g_2 - K_H - K_B - K_M \quad (8.5)$$

Коэффициент $M = 0$, так как высоты установки антенн в реальных условиях не отличаются от высот, для которых построена базовая кривая 3 (см. рис. 8.5). Коэффициент $K_{\text{КС}}$ исключен, поскольку антенны располагаются ниже уровня контактной сети.

Методика расчета дальности связи между локомотивами аналогична методике расчета канала "Стационар - локомотив".

8.2.9. Расчет дальности связи между носимой и возимой радиостанциями

Расчет дальности связи между носимой и возимой радиостанциями производится с использованием кривой 3 (см. рис. 8.5.).

Уровень сигнала на входе приемника определяется по формуле:

$$u_2 = E_2 + B_M + G_1 + G_2 + M - \alpha_{PB} I_{PB} - K_{\text{Э}} - g_2 - K_H - K_B - B_{PH} \quad (8.6)$$

Для случая связи между возимой и носимой радиостанциями высотный коэффициент M равен: $M = -10,46$

B_{PH} — коэффициент ослабления поля (определяется по табл. 8.4), учитывающий ухудшение условий передачи информации в каналах с носимыми радиосредствами (закрытие на трассах, увеличение глубины флуктуации и т. д.).

Таблица 8.4.

Участок	$B_{\text{рн}}$, дБ	
	Открытая трасса	Закрытая трасса
Неэлектрифицированный	4	10
Электрифицированный:		
на постоянном токе	0	2
на переменном токе	0	0

Порядок расчета дальности связи следующий:

- 1) из таблицы 8.3. определяется значение минимального уровня полезного сигнала $u_{2\text{мин}}$.
- 2) из формулы 8.6 определяется значение напряженности поля E_2 , считая что $u_2 = u_{2\text{мин}}$.
- 3) по найденному значению E_2 и базовой кривой распространения 3 (рис. 8.5.) определяется искомая дальность связи r .

При расчете дальности радиосвязи между возимой и носимой радиостанциями следует помнить, что условия связи в радиоканале данного типа являются наиболее сложными (множество экранирующих объектов, закрытость трассы), особенно при связи составителя с машинистом состава длиной более километра. Поэтому результаты расчета носят приблизительный характер и могут существенно отличаться от дальности связи в реальной ситуации.

8.2.10. Учет рельефа местности за счет использования поправки на угол просвета местности

Для повышения точности прогнозирования уровня сигнала целесообразно использовать модель потерь из-за дифракции радиоволн, основанную на учете угла просвета местности. Данная модель и механизм расчета соответствующей поправки описаны в разделе П.12.9 Методических указаний. В случае использования при расчета канала диапазона 160 МГц этой поправки из методики расчета необходимо убрать поправки a_T и K_m , также предназначенные для учета рельефа местности, но дающие гораздо менее точные результаты расчета.

8.2.11. Дополнительные поправки

Дополнительными поправками, являются: поправка, вводимая для трасс, проходящих по городу или пригороду; поправка, учитывающая проникновение радиосигнала в здание. Условия применения и формулы для определения величины поправок приводятся в П.12.8, П.12.13 и П.13.2.9.

8.3. Статистическая модель потерь распространения радиоволн

Модель построена в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р 1546-4 и основана на полученных эмпирическим путем базовых кривых распространения сигнала, соответствующих определенным значениям высот антенн, частоты сигнала, процента времени превышения уровня поля в точке приема. В процессе расчета по этой модели вносятся поправки, учитывающие характеристики приемопередатчиков, антенно-фидерного тракта и условия распространения на реальной трассе. Эта модель может быть использована при отсутствии подробной базы данных цифровых карт местности.

Результаты, полученные при расчете по данной модели, являются приблизительными и носят предварительный характер.

Статистическая модель потерь распространения сигнала содержит объемный математический аппарат, включает большое количество переменных. Ввиду сложности и объемности данной модели ее подробное описание вынесено в Приложение 12 к Методическим указаниям.

8.4 Детерминированная модель потерь распространения радиоволн, основанная на детальной оценке профиля трассы

Модель основана на Рекомендации МСЭ-Р 1812-2 и позволяет проводить детальную оценку уровней сигнала в точке приема. Согласно данной модели сначала определяются основные потери передачи, а затем выполняется статистическое описание элементов, определяемых изменением местоположения и потерь на проникновение в здания для мест размещения приемников.

Данная модель может быть использована при наличии базы данных цифровых карт с высотами местности, указанными в соответствии с координатами широты и долготы, из которой можно автоматически получать профили земной поверхности, как функции от расстояния вдоль трассы радиосвязи.

Результаты, получаемые при расчетах с использованием данной модели, являются наиболее точными. А процесс расчета по данной методике – самый трудоемкий. Данную модель целесообразно использовать при формировании окончательного варианта частотно-территориального плана радиосети.

Как и статистическая, детерминированная модель включает объемный математический аппарат, большое количество моделей отдельных элементов трассы и переменных. В связи с этим ее детальное описание вынесено в Приложение 13 к Методическим указаниям.

8.5. Расчет зон обслуживания базовых (стационарных) радиостанций

Расчет канала радиосвязи является главным элементом при оценке зон обслуживания БС и заключается в определении уровня сигнала вдоль трассы БС-МС и МС-БС на реальной местности. В основе расчета лежит вычисление потерь энергии сигнала L_m на трассе при его распространении:

$$L_m = L_{св} + L_{доп},$$

где: $L_{св}$ – потери энергии сигнала при распространении в свободном пространстве;

$L_{доп}$ - дополнительные потери энергии сигнала при его распространении на реальной трассе.

Возможные модели расчета потерь распространения сигнала в диапазонах 160, 460 и 900 МГц описаны в предыдущих пунктах настоящего раздела.

Для оценки зоны обслуживания (ЗО) каждой базовой станции может использоваться блок-схема, изображенная на рисунке 8.10.

Расчет ЗО начинается с построения профилей радиальных трасс, вдоль которых будут определены значения напряженности поля. При этом совокупность расчетных точек определяется заданным шагом расчета по расстоянию и по углу. По вычисленным профилям для точек трассы определяются эффективные высоты антенн, а также радиофизические параметры трасс, на основании которых из БД «Модели распространения радиоволн» выбирается одна из описанных в данной главе моделей распространения радиоволн. По результатам расчета углов дифракции или с помощью другого механизма учета рельефа местности в соответствии с выбранной расчетной моделью производится вычисление дополнительных потерь энергии сигнала.

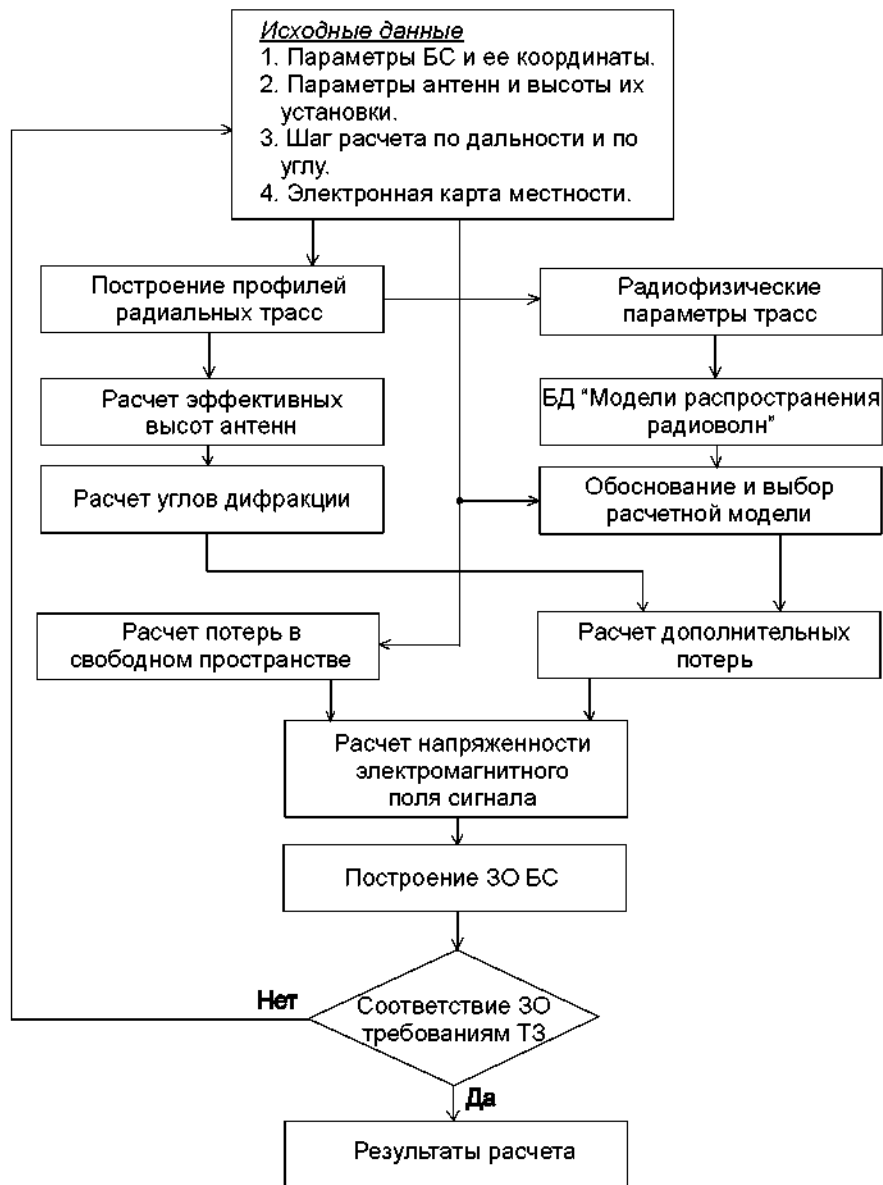


Рис. 8.10. Блок-схема расчета зоны обслуживания БС.

Суммирование значений потерь в свободном пространстве и дополнительных потерь энергии сигнала дает искомую величину напряженности поля сигнала. ЗО БС определяется как область, в пределах которой значения напряженности поля достаточны для обеспечения связи с заданным качеством.

8.6. Основные характеристики радиостанций стандарта TETRA, необходимые для расчета сетей технологической железнодорожной радиосвязи

Для организации сетей технологической железнодорожной радиосвязи стандарта TETRA в России выделено две полосы частот 457.400 – 458.450 МГц и 467.400 – 468.450 МГц. Дуплексный разнос между частотами приема и передачи одной радиостанции составляет 10 МГц. Частотный разнос между

соседними каналами равен 25 кГц. Таким образом, общее число дуплексных каналов – 41.

В таблице 8.5 приведены номиналы частот стандарта TETRA, выделенных для железнодорожной радиосвязи.

Таблица 8.5

Частотный план технологической железнодорожной радиосвязи
стандарта TETRA

Порядковый номер радиоканала	Номинал несущей частоты, МГц		Порядковый номер радиоканала	Номинал несущей частоты, МГц	
	МС	БС		МС	АС
1	457.425	467.425	22	457.950	467.950
2	457.450	467.450	23	457.975	467.975
3	457.475	467.475	24	458.000	468.000
4	457.500	467.500	25	458.025	468.025
5	457.525	467.525	26	458.050	468.050
6	457.550	467.550	27	458.075	468.075
7	457.575	467.575	28	458.100	468.100
8	457.600	467.600	29	458.125	468.125
9	457.625	467.625	30	458.150	468.150
10	457.650	467.650	31	458.175	468.175
11	457.675	467.675	32	458.200	468.200
12	457.700	467.700	33	458.225	468.225

Окончание таблицы 8.5

Порядковый номер радиоканала	Номинал несущей частоты, МГц		Порядковый номер радиоканала	Номинал несущей частоты, МГц	
	МС	БС		МС	БС
13	457.725	467.725	34	458.250	468.250
14	457.750	467.750	35	458.275	468.275
15	457.775	467.775	36	458.300	468.300
16	457.800	467.800	37	458.325	468.325
17	457.825	467.825	38	458.350	468.350
18	457.850	467.850	39	458.375	468.375
19	457.875	467.875	40	458.400	468.400
20	457.900	467.900	41	458.425	468.425
21	457.925	467.925			

В таблице 8.6. приведены возможные значения мощности стационарных, возимых и носимых радиостанций стандарта TETRA.

Таблица 8.6

Номинальная мощность передатчиков стандарта TETRA

Класс	Базовая станция		Возимая станция		Носимая станция	
	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм
1	40	46	30	45	3	35

Класс	Базовая станция		Возимая станция		Носимая станция	
	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм
2	25	44	10	40	1	30
3	15	42	3	35	—	—
4	10	40	1	30	—	—
5	6.3	38	—	—	—	—
6	4	36	—	—	—	—
7	2.5	34	—	—	—	—
8	1.6	32	—	—	—	—
9	1	30	—	—	—	—
10	0.6	28	—	—	—	—

В таблице 8.7 приведены значения чувствительности приемников РЭС стандарта TETRA для статических и динамических условий связи.

Таблица 8.7

Чувствительность приемников радиостанций стандарта TETRA

Тип радиостанции	Условия распространения сигнала	
	Статические	Динамические
Базовая	–115 дБм	–106 дБм
Мобильная	–112 дБм	–103 дБм

При выполнении расчетов сетей стандарта TETRA необходимо обеспечивать выполнение следующих требований:

- 1) защитное отношение для РЭС стандарта TETRA должно составлять 19 дБ (при расчете внутрисистемных помех);
- 2) вероятности связи по месту и времени должна быть не менее 95%;
- 3) минимально допустимый уровень сигнала составляет минус 85 дБм;
- 4) максимальное значение помехи по соседнему каналу равно минус 45 дБм;
- 5) в таблице 8.8 приведены значения максимально допустимых уровней помех в зависимости от частотного разнеса между полезным и мешающим сигналами;
- 6) трехсигнальная избирательность не хуже минус 47 дБм.

Таблица 8.8.

Отстройка по частоте	Допустимый уровень помехи, дБм
$50 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 100 \text{ кГц}$	-40
$100 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 200 \text{ кГц}$	-35
$200 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 500 \text{ кГц}$	-30
$500 \text{ кГц} \leq f-f_0 $	-25

8.7. Основные характеристики радиостанций стандарта GSM-R, необходимые для расчета сетей технологической железнодорожной радиосвязи

Для организации цифровых сетей технологической железнодорожной радиосвязи стандарта GSM-R в диапазоне 900 МГц выделены две полосы частот – 876,0 – 880,0 МГц и 921 – 925 МГц. Дуплексный разнос между частотами приема и передачи радиостанции составляет 35 МГц. Частотный разнос между соседними каналами равен 200 кГц. Таким образом, число дуплексных каналов составляет 19.

В таблице 8.9 приведены номиналы частот стандарта GSM-R, выделенных для организации железнодорожной радиосвязи.

Таблица 8.9

Частотный план технологической железнодорожной радиосвязи стандарта GSM-R

№ п/п / условный номер канала	Номинал несущей частоты, МГц		№ п/п / условный номер канала	Номинал несущей частоты, МГц	
	МС	БС		МС	БС
1 / 955	876,200	921,200	11 / 965	878,200	923,200
2 / 956	876,400	921,400	12 / 966	878,400	923,400
3 / 957	876,600	921,600	13 / 967	878,600	923,600
4 / 958	876,800	921,800	14 / 968	878,800	923,800
5 / 959	877,000	922,00	15 / 969	879,000	924,000
6 / 960	877,200	922,200	16 / 970	879,200	924,200
7 / 961	877,400	922,400	17 / 971	879,400	924,400
8 / 962	877,600	922,600	18 / 972	879,600	924,600
9 / 963	877,800	922,800	19 / 973	879,800	924,800
10 / 964	878,000	923,000			

В таблице 8.10. приведены возможные значения мощности стационарных и мобильных радиостанций стандарта GSM-R. К мобильным радиостанциям относятся возимые и носимые терминалы. Причем носимые радиостанции могут иметь максимальную мощность, соответствующую 4 или 5 классам, то есть 2 Вт или 0,8 Вт.

Таблица 8.10

Номинальная мощность передатчиков стандарта GSM-R

Класс	Базовая станция		Мобильная станция	
	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм
1	320	55	20	43
2	160	52	8	39
3	80	49	5	37
4	40	46	2	33
5	20	43	0,8	29

Класс	Базовая станция		Мобильная станция	
	Мощность, Вт	Мощность, дБм	Мощность, Вт	Мощность, дБм
6	10	40	—	—
7	5	37	—	—
8	2,5	34	—	—

Чувствительность приемников радиостанций стандарта GSM-R для динамических условий составляет: для стационарных РЭС - минус 104 дБм; для возимых и носимых – минус 102 дБм.

При расчете сетей технологической железнодорожной радиосвязи стандарта GSM-R необходимо обеспечивать выполнение следующих требований:

- 1) вероятность связи по месту и времени должна быть не менее 95%;
- 2) минимально допустимый уровень сигнала составляет минус 92 дБм;
- 3) в таблице 8.11 представлена зависимость значений защитных отношений от разности несущих частот полезного и мешающего сигналов;

Таблица 8.11.

Разность между несущими частотами сигнала и помехи, кГц	Защитное отношение, дБ
0	9
200	-9
400	-41
600	-49

- 4) в таблице 8.12 представлены значения максимально допустимых уровней помех в зависимости от частотного разнеса между полезным и мешающим сигналами.

Таблица 8.12.

Отстройка по частоте	МС, дБм	БС, дБм
$600 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 800 \text{ кГц}$	-38	-26
$800 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 1,6 \text{ МГц}$	-33	-16
$1,6 \text{ МГц} \leq f-f_0 < 3 \text{ МГц}$	-23	-16
$3 \text{ МГц} \leq f-f_0 $	-23	-13

9. Обеспечение электромагнитной совместимости радиостанций в сетях технологической железнодорожной радиосвязи в диапазонах 160, 460 и 900 МГц

В сетях технологической железнодорожной радиосвязи основными видами мешающих влияний являются следующие:

- 1) воздействие на вход приемника мешающего сигнала, частота которого совпадает с частотой настройки приемника. Для исключения такого

влияния необходимо выполнять расчет и обеспечивать соблюдение координационного расстояния между радиостанциями, работающими на одной и той же частоте;

2) воздействие радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приема радиостанции, под действием которой возникает блокирование, то есть изменение уровня сигнала или отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника;

3) воздействие на вход приемника двух и более радиосигналов, частоты которых не совпадают с частотами основного и побочных каналов приема, в результате которого на выходе приемника возникают помехи, называемые интермодуляционными. Интермодуляция обусловлена нелинейными эффектами преобразования колебаний двух и более помех в преселекторе или смесителе.

При выполнении частотно-территориального планирования сетей технологической железнодорожной радиосвязи внутрисистемная электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) достигается за счет правильного подбора частот, а также за счет обеспечения получаемых по результатам расчетов минимально необходимых территориальных (или частотных) разносов между антеннами радиостанций сети.

Отметим, что для сетей технологической железнодорожной радиосвязи ЭМС РЭС должна быть обеспечена, как правило, не менее чем на 95% территории зоны обслуживания (или 95% расчетных точек).

Таким образом, для качественной работы рассчитываемой радиосети, в результате частотно-территориального планирования необходимо обеспечить требуемую зону обслуживания с заданным качеством, в пределах которой не менее чем на 95 % территории уровень помех не превышает допустимых значений.

9.1. Расчет ЭМС сетей ПРС, организованных в диапазоне 160 МГц

На крупной железнодорожной станции могут располагаться как сети ПРС, так и сети СРС, действующие в метровом диапазоне волн. В таком случае расчет ЭМС необходимо производить с учетом радиостанций СРС.

Принципиально решение задачи ЭМС основано на определении уровня мешающего сигнала в месте расположения приемника. Такой расчет можно производить как на основании традиционной методики расчета канала ПРС, так и на основании Рекомендаций МСЭ.

Ниже приводится порядок расчета ЭМС радиостанций, соответствующий традиционной методике расчета канала ПРС, а также «Правилам организации и расчета сетей станционной радиосвязи» (последние применяются при расчете ЭМС на станциях).

Как было отмечено, аналогичные вычисления можно осуществить с использованием методик ITU-R P.1546 и ITU-R P.1812. Их описание содержится в разделах 8.3 и 8.4 соответственно и в настоящем разделе не приводится.

9.1.1. Расчет координационного расстояния

Для определения координационного расстояния $r_{кр\delta}$ (минимально допустимого расстояния между антеннами радиостанций, работающих на одной частоте и не оказывающих взаимного мешающего влияния) должна вычисляться напряженность электромагнитного поля мешающего сигнала:

$$E_2 = u_{нор} - B_M - G_1 - G_2 - M + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + g_2 + K_H + K_B \quad (9.1)$$

где $u_{нор}$ – максимально допустимый уровень мешающего сигнала, дБ; принимается равным минус 10,46 дБ (0,3 мкВ);

B_M , G_1 , G_2 , α_1 , α_2 , l_1 , l_2 , g_2 , M определяются так, как это описано в разделе 8.2.3;

K_H – коэффициент, учитывающий наличие интерференционных волн в пространстве, принимается равным 0,6 дБ;

K_B – коэффициент, учитывающий колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменении рефракции в тропосфере, принимается равным 2 дБ.

По найденному значению напряженности поля E_2 , дБ, и кривой распространения, представленной на рис. 9.1, следует определить координационное расстояние $r_{кр\delta}$ между радиостанциями.

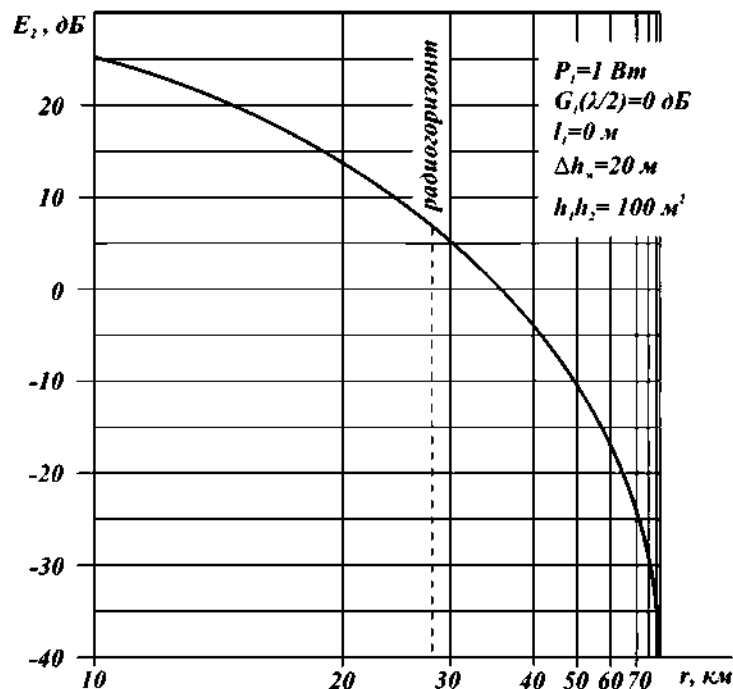


Рис. 9.1. Базовая кривая распространения для определения координационного расстояния

9.1.2. Расчет ЭМС сетей ПРС на станциях

9.1.2.1. Расчет уровня сигнала от мешающей радиостанции на входе приемника

Как правило, расчет ЭМС на крупных станциях выполняется для стационарных радиостанций ПРС и СРС. В этом случае расчет уровня сигнала от мешающей радиостанции осуществляется на основе базовых кривых распространения, представленных на рис. 9.2.

Кривые на рис. 9.2 построены при следующих исходных данных:

выходная мощность передатчиков радиостанций, имеющих 50-омный выход, равна 12 Вт, что соответствует уровню напряжения на выходе $u_1 = 148$ дБ;

коэффициенты усиления антенн $G_1 = G_2 = 0$ дБ (эквивалентно применению полуволнового вибратора);

затухание приемного и передающего фидеров равно 0 дБ;

значения напряженности поля полезного сигнала имеют место в течение 50 процентов времени и в 50 процентах точек приема.

Для обеспечения надежной работы радиостанций необходимо, чтобы уровень мешающего сигнала на входе приемника не превосходил допустимого для данного влияния уровня:

$$u_{2\text{меш}} \leq u_{2\text{меш.доп}} \quad (9.2)$$

Значение $u_{2\text{меш.доп}}$ зависит от параметров защищенности приемника по данному виду мешающего воздействия, значение $u_{2\text{меш}}$ можно найти по формуле (формула приведена с учетом того, что расчет производится для стационарных антенн):

$$u_{2\text{меш}} = u'_2 + B_M + G_1 + G_2 - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - K_H, \quad (9.3)$$

где: u'_2 определяется из рисунка 9.2. для известных значений высот стационарных антенн и расстояния между ними;

B_M – коэффициент, учитывающий отличие мощности передатчика P , Вт, от 12 Вт (для радиостанций, имеющих 50-омный выход), рассчитывается по формуле:

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{P}{12} \right)$$

$G_1, G_2, \alpha_1, \alpha_2, l_1, l_2$ определяются в соответствии с разделом 8.2.3.

K_H – коэффициент ослабления поля в результате интерференции, зависящий от требуемой надежности связи. Для мешающего сигнала при вероятности превышения уровня, равной 5%, коэффициент K_H равен: для электрифицированных участков - 4 дБ, для неэлектрифицированных участков - 3 дБ.

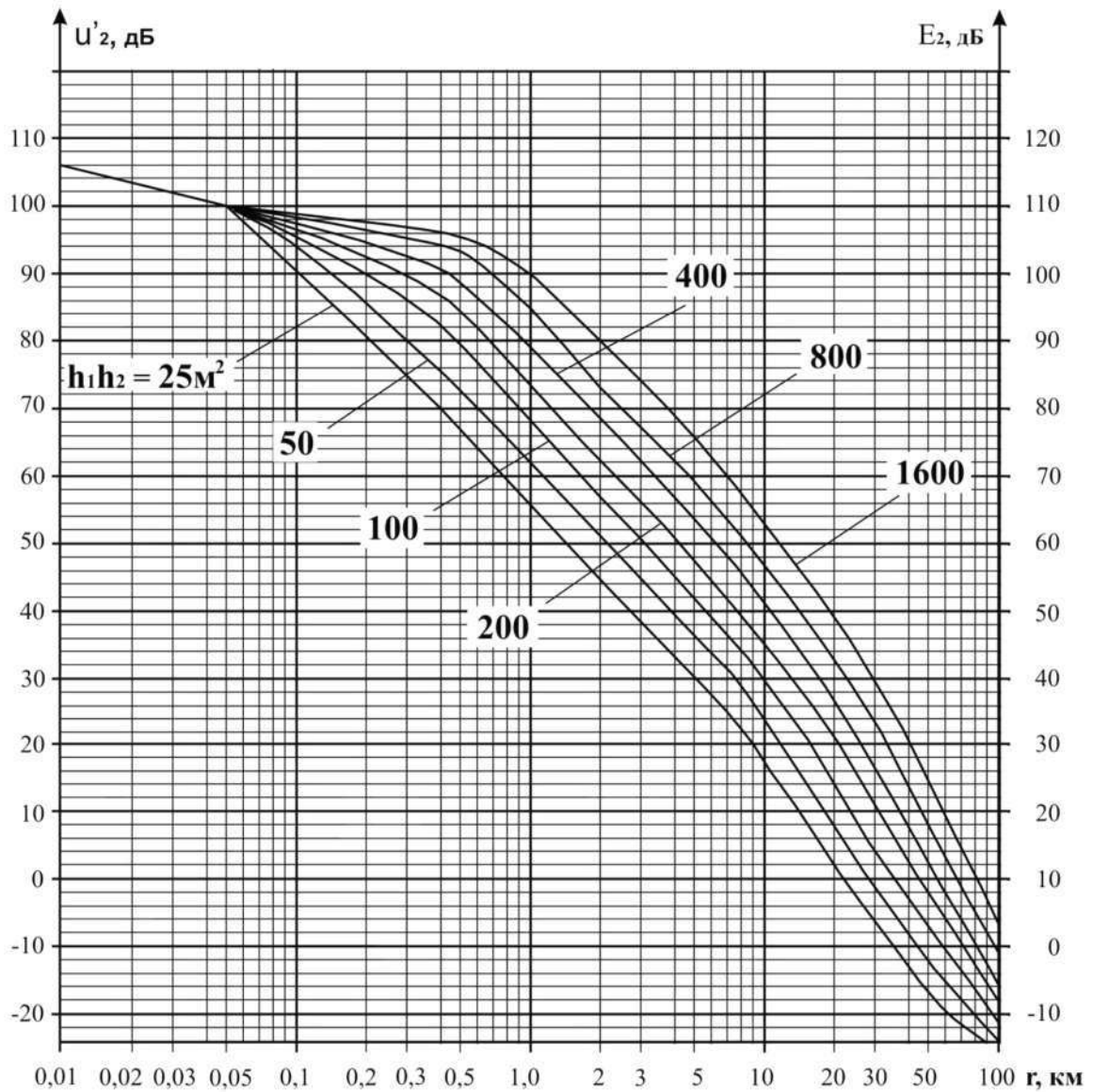


Рис. 9.2. Базовые кривые распространения для расчета ЭМС на станциях.

В случае, когда антенны радиостанций в горизонтальной плоскости находятся на небольшом расстоянии друг от друга (до 50 м), уровень мешающего сигнала определяется уровнем выходного сигнала мешающего передатчика и затуханием электромагнитного поля между антеннами.

Уровень мешающего сигнала на входе приемника от близкорасположенного передатчика:

$$u_{2, \text{меш}} = 148 + B_M + G_1 + G_2 - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - B_a \quad (9.4)$$

Здесь B_a определяется по графику, приведенному на рис. 9.3.

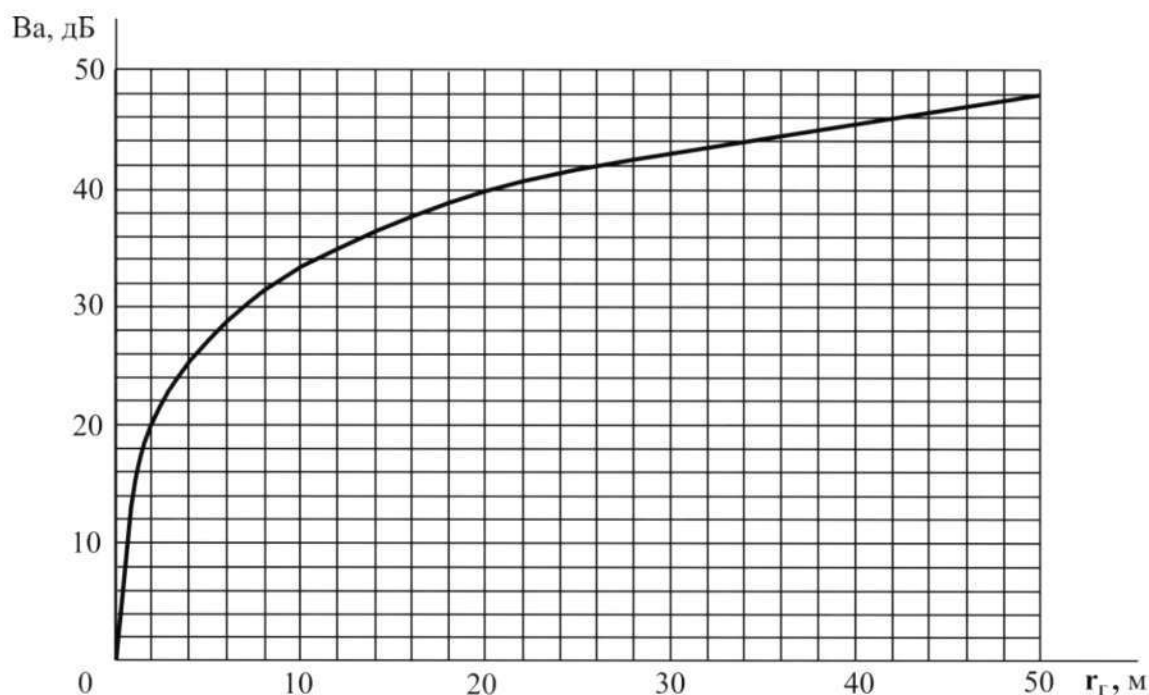


Рис. 9.3. Зависимость переходного затухания между антеннами АС-1/2М от расстояния между ними по горизонтали r_G , м.

Если антенны размещены на одной мачте с разном по вертикали на расстояние r_B , м, то величину затухания B_a следует определять по рис. 9.4. Например, для частоты $f = 154$ МГц ($\lambda \approx 1,948$ м) и для расстояния между антеннами по вертикали $r_B = 4$ м отношение $r_B / \lambda \approx 2,053$. Из графика, изображенного на рис. 9.4., находим значение $B_a = 51$ дБ.

При использовании направленных антенн переходное затухание между ними определяется как сумма полученного из графика значения B_a и коэффициентов усиления антенн с учетом взаимной ориентации их диаграмм направленности. Для этого определяются углы между прямой, соединяющей точки расположения радиостанций и направлениями максимума излучения диаграммы направленности антенн. По найденным значениям углов из диаграммы направленности находят соответствующие значения коэффициентов усиления.

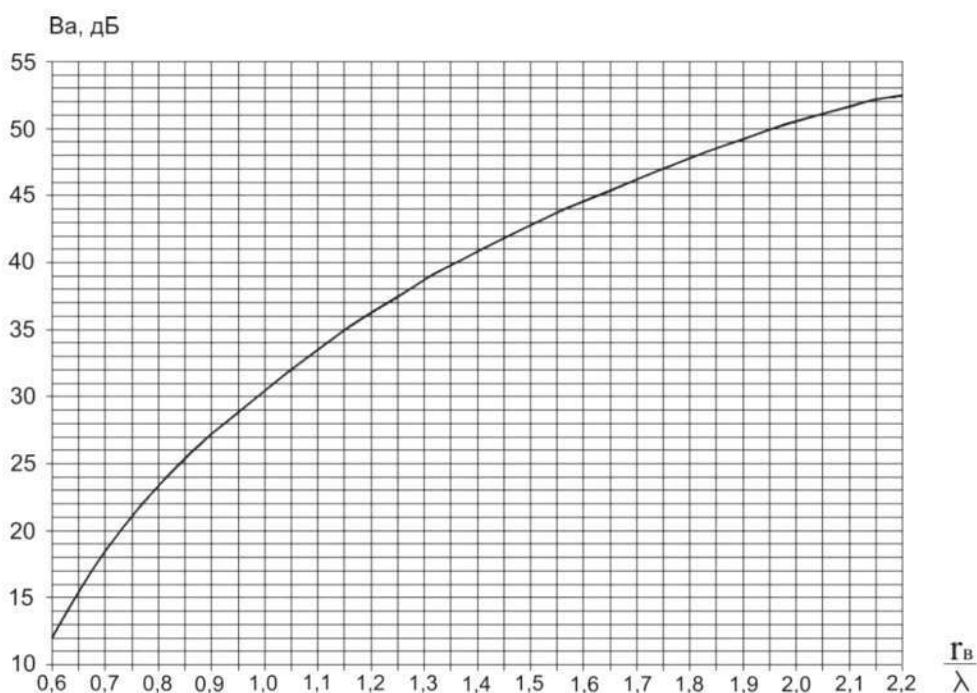


Рис. 9.4. Зависимость переходного затухания между антеннами АС-1/2М от отношения расстояния между ними по вертикали к длине волны: $B_a = f(r_s/\lambda)$

9.1.2.2. Блокирование

Параметром, определяющим степень восприимчивости приемника по блокированию, является его избирательность по соседнему каналу, измеряемая двухсигнальным методом. Для приемников стационарных и возимых радиостанций УПП она принимается равной 75 дБ, для носимых радиостанций РН – 70 дБ. Данные значения соответствуют полезному сигналу, равному номинальной чувствительности приемника 0,5 мкВ.

Зависимости допустимых уровней мешающих сигналов $u'_{2\text{меш.доп}}$ на входе приемника от частотного разнеса представлены на рис. 9.5. Данные зависимости характеризуют защищенности приемников УПП и РН от появления эффекта блокирования и гарантируют обеспечение соотношения сигнал/шум на выходе низкочастотного тракта приемника равным 12 дБ при полезном сигнале 1 мкВ.

При увеличении уровня полезного сигнала на входе приемника от 0 до 20 дБ (от 1 до 10 мкВ) защищенность приемника от мешающего сигнала возрастает на такое же значение. При дальнейшем увеличении полезного сигнала защищенность растет не столь значительно.

По кривым рис. 9.5 значение $u'_{2\text{меш.доп}}$ может быть определено для частотных разнесов, не превышающих 700 кГц. При увеличении частотной отстройки мешающего передатчика от частоты основного канала приема защищаемой радиостанции и полезном сигнале 1 мкВ $u'_{2\text{меш.доп}}$ следует

принимать равным 98 дБ для УПП, а для приемников носимых радиостанций РН – 91 дБ.

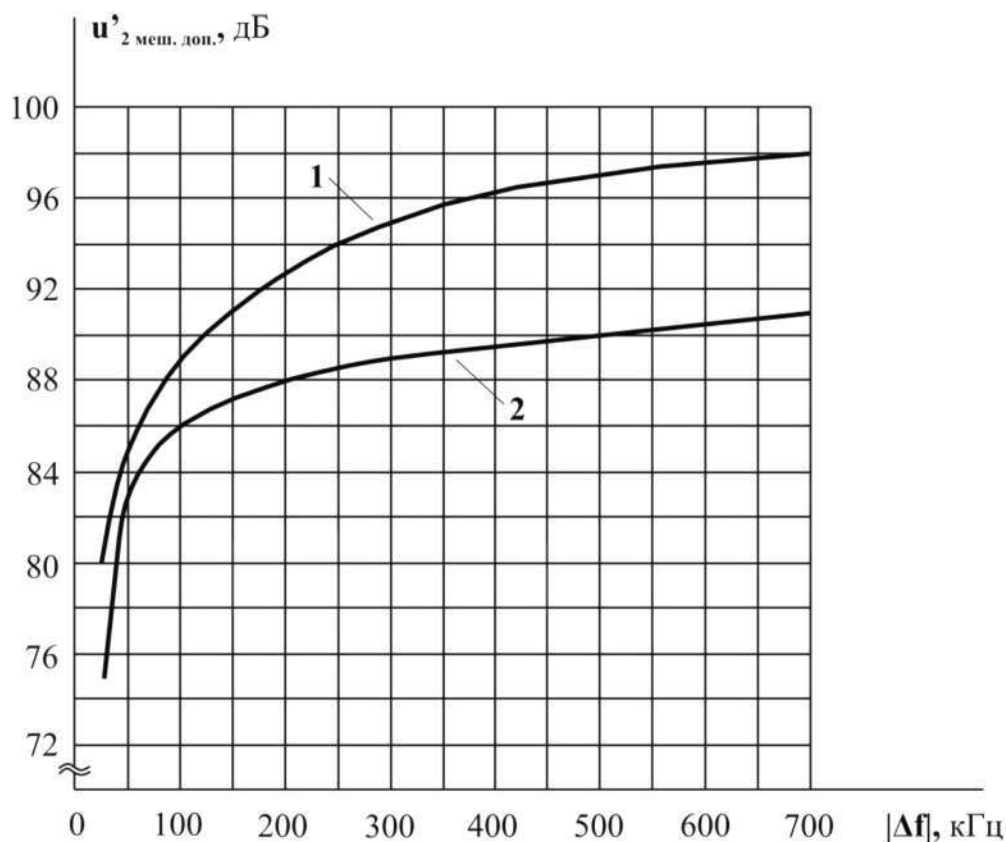


Рис. 9.5. Зависимости допустимого уровня мешающего сигнала по блокированию от частотного разнеса при полезном сигнале 1 мкВ и при избирательности по соседнему каналу 80 дБ (кривая 1 – УПП) и 75 дБ (кривая 2 – РН).

В правильно рассчитанных радиосетях полезный сигнал на входе радиосредств должен быть не менее заданного для данного вида тяги $u_{2\text{мин}}$. Избирательность приемников в этом случае увеличивается на такую же величину, то есть:

$$u_{2\text{меш. доп}} = u'_{2\text{меш. доп}} + u_{2\text{мин}} \quad (9.5)$$

Для обеспечения нормальной работы соседних радиосетей при заданном расстоянии между радиостанциями следует определить минимально необходимый частотный разнос (МНЧР) между их рабочими частотами. Для этого:

1) по кривым рисунка 9.2 определяется u'_2 для заданного случая;
 2) по формуле (9.3) вычисляется $u_{2 \text{ меш.}}$. Для близко расположенных антенн $u_{2 \text{ меш.}}$ определяется по формуле (9.4).

3) минимально необходимый частотный разнос находят по графикам рисунка 9.5 и величине $u'_{2 \text{ меш. доп.}}$, вычисляемой по формуле (9.5) при $u_{2 \text{ меш. доп.}} = u_{2 \text{ меш.}}$.

В случае если рабочие частоты соседних радиосетей известны, находится минимально необходимый пространственный разнос (МНПР) между стационарными радиостанциями, для чего по значению частотного разнosa, кривым рисунка 9.3 и формуле (9.5) определяется $u_{2 \text{ меш доп}}$ и далее из формулы (9.3) при $u_{2 \text{ меш}} = u_{2 \text{ меш доп}}$ рассчитывается u'_2 . По кривым рис. 9.2 и величине u'_2 находят значения МНПР.

В случае, если по результатам расчетов значение u'_2 оказывается больше 100 дБ, то МНПР определяется по величине $B_a = 148 - u'_2$ и по кривым рис. 9.3.

9.1.2.3. Интермодуляция

Параметром, определяющим степень восприимчивости приемника к интермодуляционному воздействию, является его интермодуляционная избирательность, измеренная трехсигнальным методом.

Интермодуляционные влияния будут исключены, если уровень каждого из мешающих сигналов на входе защищаемого приемника не превысит его интермодуляционной избирательности. В то же время влияние вида $2f_1 - f_2 = f_3$, имеющее место между радиостанциями метрового диапазона волн, возможно и в том случае, когда сумма уровней двух мешающих сигналов на входе приемника превысит удвоенное значение его интермодуляционной избирательности:

$$(u_{2 \text{ меш}})_1 + (u_{2 \text{ меш}})_2 > 2u_{2 \text{ меш доп}} \quad (9.6)$$

При этом уровень одного из мешающих сигналов может быть существенно ниже $u_{2 \text{ меш доп}}$.

Исключение интермодуляционных помех за счет разнесения конфликтующих радиостанций на минимально необходимое расстояние оказывается не всегда возможным на территории железнодорожной станции. В таких случаях единственным и наиболее действенным способом защиты от интермодуляционных помех является замена частоты одной из радиостанций на другую, интермодуляционно-совместимую с частотами радиостанций, используемых на данной железнодорожной станции.

9.1.2.4. Побочные излучения

В связи с использованием в современных радиостанциях синтезатора частот возможно появление побочных излучений этих передатчиков на рабочих частотах других каналов связи радиостанций метрового диапазона волн. Побочные излучения (ПИ) передатчиков по техническим условиям не превышают 2,5 мкВт, а реально – существенно ниже. Появление ПИ на той или иной частоте носит случайный характер и изменяется при замене одного передатчика на другой, а также при смене рабочего канала одного и того же передатчика.

В радиостанциях системы «Транспорт», имеющих в составе унифицированный приемопередатчик УПП-2, наиболее сильные ПИ

наблюдаются при разноте в 1 МГц между частотой мешающего передатчика и частотой подверженного влиянию приемника. Вследствие этого на станциях, где продолжается эксплуатация таких радиостанций, не рекомендуется использовать частоты с разнотой в 1 МГц. Если же этого нельзя избежать, то МНПР между антеннами двух стационарных радиостанций, имеющих частотный разнос в 1 МГц, должен быть не менее 300 м.

9.2. Расчет ЭМС сетей ПРС, организованных в диапазонах 460, 900 МГц

9.2.1. Помехи по основному каналу приема

Для определения степени защищенности приемника от воздействия помехи по основному каналу приема используется критерий защитного отношения (минимальная величина отношения уровня полезного сигнала к уровню мешающего на входе приемника, при которой на выходе приемника соблюдается установленное качество приема полезного сигнала) по совмещенному каналу. Для каждой БС и для каждой точки в расчетной зоне обслуживания (для частот, которые предположительно будут использоваться соответствующими абонентскими станциями) проверяется соответствие уровня мешающего сигнала (на частоте основного канала) следующему уравнению:

$$I_{\text{к}} \leq S_{\text{к}} - A_0 \quad (9.8)$$

где $S_{\text{к}}$ – уровень полезного сигнала на входе приемника, дБм; $I_{\text{к}}$ – уровень мешающего сигнала на входе приемника, дБм; A_0 – защитное отношение для полезного сигнала по отношению к мешающему, дБ.

В качестве уровня полезного сигнала принимается минимально допустимый уровень полезного сигнала в данной точке.

9.2.2. Помехи блокирования

Для оценки эффекта блокирования в приемнике используется критерий допустимого уровня блокирующей помехи на входе приемника. Если данный уровень неизвестен, но известно защитное отношение для заданного сочетания сигнал/помеха, то его (уровень) можно получить, как сумму минимально допустимого уровня полезного сигнала (дБ) и известного защитного отношения (дБ).

Стоит заметить, что в сетях подвижной связи, организованных на базе таких стандартов связи, как GSM-R и TETRA, использующих частотный дуплекс, между РЭС возможно только два вида нежелательного воздействия:

- передатчик БС оказывает влияние на приемник АС;
- передатчик АС оказывает влияние на приемник БС.

Каждый из этих видов воздействия проверяется для каждой БС и в каждой точке в пределах расчетной зоны обслуживания (АС). В общем случае

проверка осуществляется для оценки мешающего воздействия от БС или АС, работающих на смежных (соседних) частотах. Анализ внутрисистемных помех на больших частотах расстройки помехи осуществляется только в отдельных случаях, например, если источник данной помехи (передатчик) располагается очень близко или имеет большую мощность.

9.2.3. Интермодуляционные помехи

Интермодуляционная помеха, образующаяся в приемнике, становится потенциально опасной, если ее частота попадает в полосу пропускания приемника, то есть когда выполняется условие 9.9:

$$|f_{им} - f_0| \leq (B_{пч} / 2) \quad (9.9)$$

где: $f_{им}$ – частота интермодуляционной помехи;

f_0 – частота настройки приемника;

$B_{пч}$ – полоса пропускания приемника.

Наиболее опасным видом интермодуляции является двухсигнальная интермодуляция третьего порядка:

$$f_{им} = |2f_1 - f_2| \quad (9.10)$$

Параметром, характеризующим подавление интермодуляционной помехи 3-его порядка в приемнике, является трехсигнальная избирательность. Для цифровых систем связи данный параметр устанавливают для определенных значений полезного сигнала и интермодуляционного продукта, а именно: уровень полезного сигнала на 3 дБ выше чувствительности приемника, а уровень интермодуляционного продукта равен собственному шуму приемника. В таком случае в соответствии с ITU-R SM.1134 степень опасности интермодуляционной помехи определяется в соответствии с уравнением 9.11:

$$PIM_3 = 2P_1 + P_2 - 3IMR - 3P_R - 9 \quad (9.11)$$

где: PIM_3 – мощность интермодуляционной помехи 3-го порядка, дБ относительно собственного шума приемника;

P_1, P_2 – уровни нежелательных сигналов на входе приемника, дБм;

P_R – чувствительность приемника, дБм;

IMR – трехсигнальная избирательность, дБ.

Интермодуляционная помеха представляет опасность, если PIM_3 оказывается больше нуля, т.е. выше уровня собственного шума приемника.

Х. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТАЦИОНАРНЫХ АНТЕНН ДИАПАЗОНА 160 МГц

10.1. Типы стационарных антенн

Для оснащения участков ПРС, работающих в диапазоне 160 МГц, должны применяться стационарные антенны, разрешенные для применения на железнодорожном транспорте. Основные характеристики антенн приведены в Приложении 8 к Методическим указаниям.

10.2. Рекомендации по применению коаксиальных кабелей

В тех случаях, когда требуемая дальность радиосвязи не может быть обеспечена с использованием коаксиального кабеля, входящего в состав поставки стационарной радиостанции, должны использоваться кабели с меньшими значениями постоянной затухания.

В таблице П.10.1 Приложения 10 приведены характеристики радиочастотных кабелей, обладающих повышенной огнестойкостью и удовлетворяющих требованиям нормативных документов «Технического регламента о пожарной безопасности», включая требования, установленные ГОСТ Р 53315-2009.

В таблице П.10.2 Приложения 10 приводятся сведения о кабелях зарубежного производства, имеющих в большинстве случаев более низкое погонное затухание по сравнению с отечественными кабелями. Однако они имеют более высокую стоимость.

В таблице П.10.3 Приложения 10 перечислены коаксиальные кабели отечественного производства, рекомендовавшиеся к применению до ужесточения требований к кабелям в связи с введением в действие нормативных документов «Технического регламента о пожарной безопасности». Данная информация приводится в приложении, как справочная.

При выборе кабеля с меньшим значением постоянной затухания (имеющими больший диаметр, повышенную жесткость и значительный минимальный радиус изгиба) следует учитывать, что при их использовании потребуются специальные меры при их подключении к антенне и радиостанции.

10.3. Рекомендации по применению стационарных антенн в поездной радиосвязи

При выборе типа стационарной антенны для организации поездной радиосвязи следует исходить из условий получения требуемой дальности радиосвязи, обеспечения электромагнитной совместимости с другими радиосредствами и возможности установки антенны на требуемой высоте.

Непосредственно на дальность радиосвязи влияет такой параметр антенны, как коэффициент усиления, поэтому с целью увеличения дальности

радиосвязи следует применять антенны с более высоким значением этого коэффициента.

Диаграммы направленности применяемых антенн должны возможно лучше соответствовать плану железнодорожных путей района, охватываемого радиосвязью. Например, однонаправленные антенны следует применять на тупиковых станциях и станциях с разделением диспетчерских кругов. В этих случаях основная часть высокочастотной энергии будет излучаться антенной вдоль железнодорожных перегонов, обслуживаемых каждым из диспетчеров.

Двунаправленные антенны следует применять на большинстве промежуточных пунктов. Если трасса железной дороги достаточно прямолинейна, то следует устанавливать антенны с диаграммой направленности в форме «восьмерки».

На криволинейных участках, которые характерны для горной местности, следует применять двунаправленные антенны с управляемыми диаграммами направленности. При этом юстировка обеих половин антенны должна производиться из условия получения максимального излучения вдоль соответствующего перегона, примыкающего к станции.

На узловых станциях может оказаться, что применение двунаправленной или однонаправленной антенны не обеспечивает радиосвязью примыкающие перегоны. В этом случае следует использовать антенны с круговыми диаграммами направленности.

Во всех случаях тип стационарной антенны следует выбирать построением диаграммы направленности по дальности радиосвязи, которые должны строиться с учетом зависимости коэффициента усиления антенны от направления излучения.

При выборе типа антенны следует учитывать, что уровень полезного сигнала можно увеличить не только за счет применения направленных антенн, но и за счет увеличения высоты их установки. Направленные антенны имеют, как правило, большую массу и значительную парусность и соответственно требуют для своей установки более сложных конструкций мачт, чем простые ненаправленные антенны. Следует отметить, что на закрытых и полужакрытых трассах и особенно в тех случаях, когда препятствия расположены вблизи антенны, увеличение высоты установки антенны может привести к существенному росту уровня сигнала (несколько децибел на каждый метр подъема антенны).

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и защиты антенного кабеля от повреждений должно использоваться устройство гальванической развязки УГР, представляющее собой разделительные конденсаторы, включенные последовательно в оплетку и центральную жилу кабеля. Затухание, вносимое УГР в антенный фидер, не превышает 1 дБ.

УГР должно устанавливаться внутри помещения в месте ввода антенного фидера в здание в том случае, когда антенна стационарной радиостанции установлена не на здании, где находится радиостанция, а на отдельно стоящей мачте, имеющей собственное заземление или соединенной с рельсом.

УГР не должно включаться, если антенна установлена на здании, в котором находится радиостанция. При этом антенна должна быть гальванически соединена с заземлением здания. УГР не должно включаться и в том случае, когда отдельно стоящая мачта, на которой установлена антенна, соединена с защитным заземлением здания, где должна находиться радиостанция (стальным прутком диаметром не менее 7 мм). При установке устройства гальванической развязки необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с высоковольтным оборудованием.

Рекомендации по установке, монтажу и юстировке стационарных антенн приведены в приложении № 11 Методических указаний.

10.4. Молниезащита стационарных антенн

10.4.1. При оснащении стационарных объектов антенно-мачтовыми сооружениями поездной радиосвязи необходимо принимать меры по их защите от прямых ударов молний в соответствии с требованиями «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций», утвержденной Приказом Минэнерго РФ от 30 июня 2003 г. № 280.

10.4.2. Молниезащите должны подлежать все антенны, находящиеся на крышах зданий и на отдельно стоящих опорах или мачтах. Молниезащита антенн должна состоять в их заземлении и в установке дополнительных устройств – молниеприемников.

10.4.3. Молниеприемники не должны устанавливаться, если антенны находятся в зоне защиты молниеприемников других зданий, сооружений или контактной сети. Молниезащита таких антенн состоит в их заземлении. В качестве токоотводов следует использовать металлические мачты или стальной прутки сечением не менее 20 мм². Не допускается использовать в качестве токоотвода оплетку коаксиального кабеля, соединяющего антенну с радиостанцией. Антенны необходимо заземлять на защитное или рабочее заземление объекта. По деревянным и железобетонным мачтам (опорам) следует прокладывать специальный токоотводящий спуск к заземлению.

10.4.5. Соединение токоотводов между собой, а также присоединение их к молниеприемнику и к заземляющему устройству должно выполняться сваркой или болтовыми соединениями, но при этом площадь контакта между соединяемыми деталями должна быть не менее величины удвоенного сечения токоотводов.

Токоотводящие спуски следует прокладывать от молниеприемника к заземлителю кратчайшим путем без образования петель или острых углов.

10.4.6. При защите антенн с помощью специальных молниеприемников последние должны устанавливаться на расстоянии не менее 2 м от антенн, причем они не должны находиться в направлении связи.

XI. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТАЦИОНАРНЫХ АНТЕНН В ЦСТР СТАНДАРТОВ TETRA (460 МГц) и GSM-R (900 МГц)

11.1. Общие положения

11.1.1. Правильность выбора структуры и характеристик антенно-фидерного тракта (АФТ) во многом определяет качество радиопокрытия при построении радиосети.

В состав АФТ базовых станций ЦСТР, как правило, входят:

приемопередающие антенные системы (Rx/Tx) или отдельно приемные (Rx) и передающие (Tx) антенные системы;

радиочастотные коаксиальные кабели;

соединительные радиочастотные кабельные вставки (джамперы);

дополнительные элементы (сумматоры/делители мощности, предварительные усилители, заземлители и т.д.).

11.1.2. При выборе антенн для каждой конкретной базовой станции сети следует исходить из конфигурации территории, которую требуется покрыть радиосвязью. Если базовая станция расположена в центре этой территории и радиосвязь необходима во всех направлениях, то в сетях транкинговой связи целесообразно использовать ненаправленные антенны. В сетях сотовой связи для обеспечения связи во всех направлениях, как правило, используют несколько секторных антенн, обеспечивающих совместно излучения во всех направлениях. При линейной конфигурации радиосети (вдоль железнодорожного участка) достаточно обеспечить двустороннее излучение сигналов от базовой станции. В этом случае целесообразно использовать двунаправленные антенны или две секторные антенны с достаточно узким лепестком диаграммы направленности, каждая из этих антенн должна обеспечивать излучение в сторону одного из перегонов.

11.1.3. Точная ориентация антенн должна производиться в соответствии с заложенным в проекте сети азимутальным направлением, выбранным по результатам расчетов радиопокрытия с обеспечением электромагнитной совместимости.

11.1.4. Секторные антенны, устанавливаемые на верхней площадке антенно-мачтового сооружения, обычно крепятся к трубостойкам. Крепление антенн к металлоконструкциям производится с помощью стандартных крепежных элементов. Конструкции элементов крепления антенн рассчитаны на устойчивость к метеорологическим воздействиям (ветер, гололед), характерным для района строительства, с учетом веса самих антенн. Металлоконструкции для крепления антенн соединяются с проектируемой системой молниезащиты.

11.1.5. При разработке схем АФТ следует стремиться к минимизации разнообразия типов применяемых антенн, фидеров и дополнительных

устройств, поскольку в дальнейшем это позволит существенно упростить обслуживание ЦСТР.

11.2. Рекомендации по применению антенн в ЦСТР стандарта TETRA

11.2.1. В зависимости от требуемой канальной емкости базовая станция ЦСТР стандарта TETRA может включать один или более приемопередатчиков. Если на одной базовой станции размещено не менее двух приемопередатчиков, то для повышения качества приема сигнала часто используют разнесенный прием, что позволяет увеличить дальность связи с подвижными радиостанциями малой мощности.

На рисунках 11.1 и 11.2 представлены варианты структурных схем антенно-фидерных трактов базовой станции с разнесенным приемом.

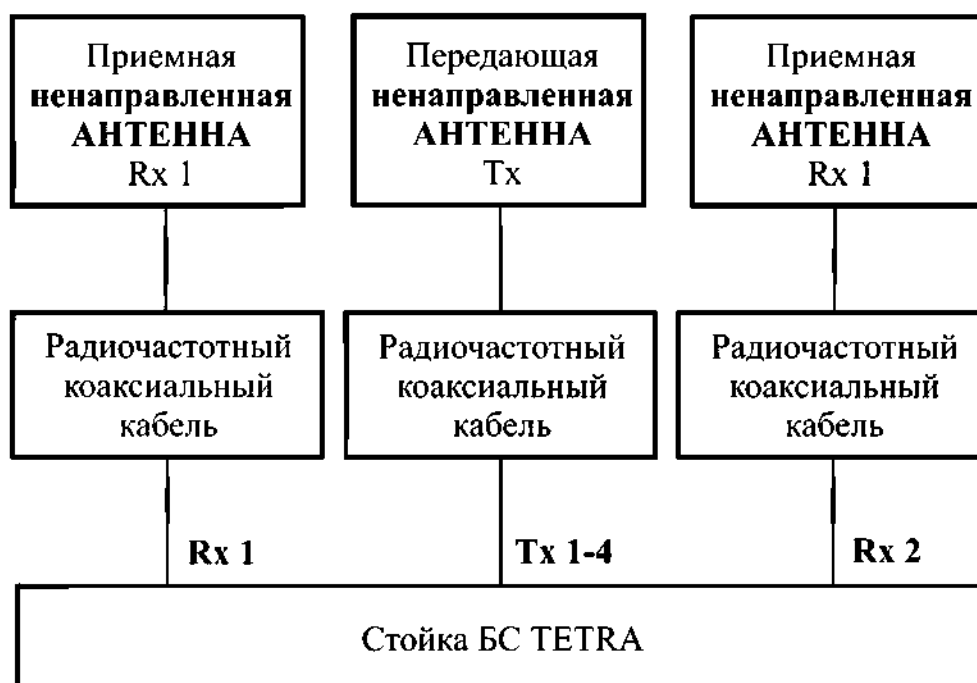


Рис. 11.1. Структурная схема антенно-фидерного тракта БС TETRA. Вариант 1.

Первый вариант построения АФТ является классическим для цифровых транкинговых систем. Он позволяет использовать преимущества разнесенного приема, а также обеспечивает минимальные потери в антенно-фидерном тракте. Это решение может быть реализовано на вновь строящихся антенно-мачтовых сооружениях.

Второй вариант может быть использован на уже имеющихся башнях, в связи с невозможностью применения там схемы АФТ по варианту 1, так как вершины башен уже заняты. В этом решении применены панельные антенны с широким углом диаграммы направленности в горизонтальной плоскости.

11.2.2. В таблицах П9.3. и П9.4. Приложения 9 приведены типы ненаправленных и направленных антенн диапазона 460 МГц и их основные характеристики.

11.2.3. В антенно-фидерном тракте используется радиочастотный коаксиальный кабель, диаметр которого выбирается исходя из величины допустимых максимальных потерь.

Обычно при длине антенно-фидерного тракта до 100 м стандартный диаметр кабеля составляет 7/8". Основные характеристики коаксиальных радиочастотных кабелей различных производителей приведены в таблицах П10.1., П10.2 Приложения 10.

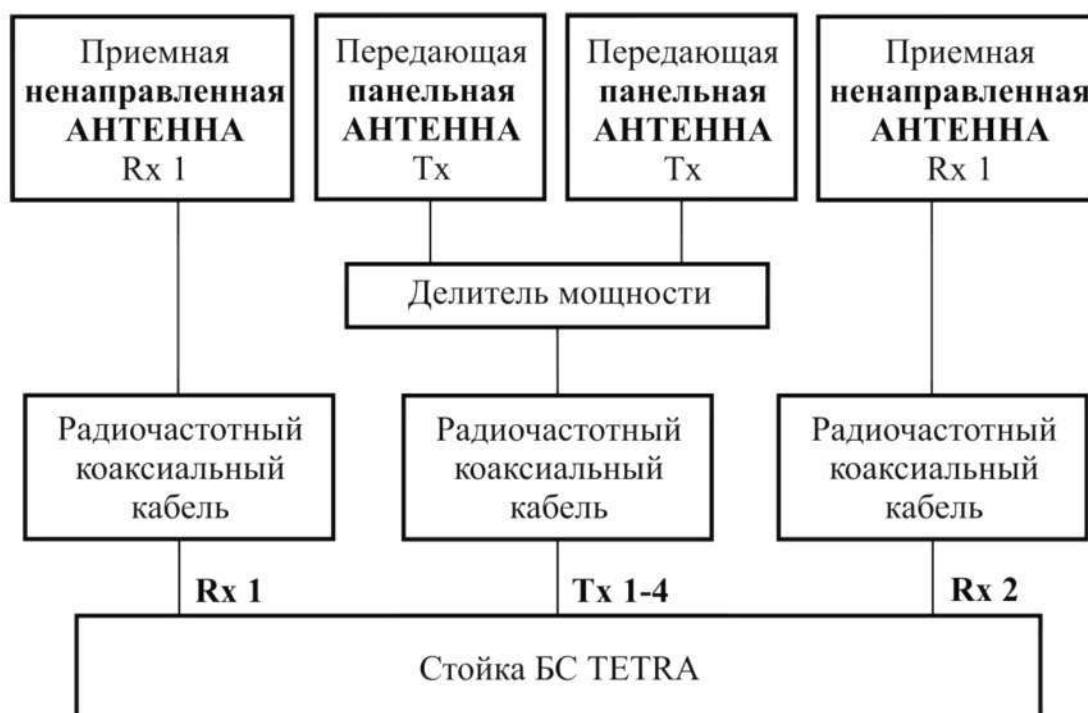


Рис. 11.2. Структурная схема антенно-фидерного тракта БС TETRA. Вариант 2.

11.2.4. Для подключения антенного оборудования и оборудования базовых станций применяют готовые гибкие кабельные вставки (джамперы) диаметром 1/2", оконцованные разъемами соответствующих типов.

11.3. Рекомендации по применению антенн в ЦСТР стандарта GSM-R

11.3.1. Базовые станции GSM-R, как правило, оснащаются приемопередающими панельными антеннами с вертикальной поляризацией. При этом в антенно-фидерном тракте производится объединение трактов передачи и приема. В таблицах П9.3 и П9.4 Приложения 9 приводятся характеристики антенн, которые могут быть использованы в сетях стандарта GSM-R.

11.3.2. Для подключения антенной системы к базовым приемопередающим станциям могут быть применены радиочастотные коаксиальные кабели с погонным затуханием не более 0,036 дБ/м на частоте 900 МГц, например, кабель типа RFA 7/8"-50 BHF (производства фирмы Draka NK Cables). Характеристики этого и других радиочастотных кабелей приводятся в таблице П10.2. Приложения 10.

11.3.3. Для распределения радиочастотного сигнала по разнонаправленным антеннам необходимо их подключение производить через сплиттер, например, K86010101 производства фирмы «KATHREIN-Werke KG» или другой с аналогичными характеристиками.

ХАРАКТЕРИСТИКА БЛОКОВ ЛИНЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ ГЕКТОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Существуют следующие типы блоков: линейные согласующие трансформаторы *ЛТ*; разделительные конденсаторы *РК*; согласованные нагрузки *СН*; согласующие и запирающие контуры *СК-6* и *ЗК-4*.

Линейные согласующие трансформаторы предназначены для соединения направляющих линий ПРС, имеющих различные волновые сопротивления. В таблице П1.1 представлены значения волновых сопротивлений линий, подключаемых к линейным трансформаторам. В таблице П1.2 описано назначение линейных трансформаторов разных типов.

Таблица П1.1

Волновые сопротивления линий, подключаемых к линейным трансформаторам

Тип блока	Значения волновых сопротивлений подключаемых линий, Ом		
	I	II	III
ЛТ-1	520	50	-
ЛТ-1А	700	50	-
ЛТ-1Б	260	50	-
ЛТ-1В	350	50	-
ЛТ-2	700	520	-
ЛТ-2А	520	260	-
ЛТ-3	50	50	50

Таблица П1.2

Назначение линейных трансформаторов

Тип линейного трансформатора	Назначение линейного трансформатора (схема, в которой используется ЛТ)
ЛТ-1	Соединение однопроводного волновода с коаксиальным кабелем в месте организации кабельной вставки
ЛТ-1А	Соединение двухпроводного волновода с коаксиальным кабелем в месте организации кабельной вставки
ЛТ-1Б	Подключение коаксиального кабеля (радиостанции) к однопроводному волноводу
ЛТ-1В	Присоединение радиостанции к двухпроводной направляющей линии
ЛТ-2	Соединение однопроводного волновода с двухпроводным
ЛТ-2А	Подключение ответвления к однопроводному волноводу
ЛТ-3	Подключение к радиостанции двух и более нагрузок

При выборе блока *ЛТ* необходимо руководствоваться следующим:

волновое сопротивление однопроводного волновода должно быть равным 520 Ом, двухпроводного волновода и двухпроводных направляющих линий из высоковольтных проводов – 700 Ом, коаксиального кабеля – 50 или 75 Ом;

входное сопротивление направляющей линии при подключении к ней с конца должно быть равным ее волновому сопротивлению, при подключении в середине - половине волнового сопротивления; 75-омный кабель может подключаться к 50-омному входу трансформатора.

Разделительные конденсаторы *РК* предназначены для секционирования волноводов на участках переменного тока. Кроме того, их следует применять в схемах соединения волноводов с высоковольтными линиями, используемыми в качестве направляющих линий ПРС.

Блоки *СН* предназначены для включения в местах анкеровки волноводов. Блок *СН-1*, имеющий входное сопротивление 465 Ом, подключается к однопроводному волноводу, *СН-2*, имеющий сопротивление 665 Ом, – к двухпроводному.

Блоки должны обеспечивать мощность рассеивания на нагрузке не менее 15 Вт.

Согласующий контур *СК-6* предназначен для согласования высокочастотных входных сопротивлений возбуждающих проводов с волновым сопротивлением кабеля. Контур *СК-6* может быть использован также в качестве запирающего контура при высокочастотной обработке силовых трансформаторов мощностью свыше 50 кВА и в системе электроснабжения ДПР.

Запирающий контур *ЗК-4* предназначен для высокочастотной обработки силовых трансформаторов, волноводных и возбуждающих проводов.

Кроме этого, контуры *СК-6* и *ЗК-4* могут быть использованы в качестве элементов защитных заземлений.

Электрические параметры контуров приведены ниже.

Контур	<i>СК-6</i>	<i>ЗК-4</i>
Сопротивление:		
на постоянном токе, Ом	0,002	0,02
при настройке на частоту ПРС, кОм	10	15
Добротность, не менее	100	100
Максимальный рабочий ток, А	85	32

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ВОЛНОВОДНЫХ СЕКЦИЯХ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Расчет наведенных напряжений следует относить к нормально работающей волноводной секции, заземленной через высокочастотный заградитель.

2. Результирующее напряжение U_p на концах секции волноводного провода

$$U_p = 0,6U_M + U_\varphi, \text{ В} \quad (\text{П2.1})$$

где:

U_M – напряжение, обусловленное магнитным влиянием тяговых токов, В;

U_φ – напряжение, обусловленное электрическим влиянием проводов ДПР и контактной сети, В.

3. Величина напряжения U_M зависит от расположения волноводной секции по отношению к питающей тяговой подстанции. При вынужденном режиме работы контактной сети

$$U_M = 0,6X_M S_p S_T I_{\text{экв}} I_c, \text{ В} \quad (\text{П2.2})$$

В режиме короткого замыкания в контактной сети

$$U_M = 0,6X_M S_p S_T I_{\text{кз}} I_c, \text{ В} \quad (\text{П2.3})$$

где: X_M – удельное сопротивление взаимной индуктивности между волноводным проводом и контактной сетью на частоте 50 Гц, Ом/км;

S_p – коэффициент экранирующего действия рельсов;

S_T – коэффициент экранирующего действия заземленных тросов, его следует определять из приложения 8 Правил защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока, утвержденных МПС СССР 21 октября 1987 г. (далее – Правила защиты)

$I_{\text{экв}}$ – эквивалентный влияющий ток в контактной сети при вынужденном режиме ее работы, А;

$I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания в контактной сети, А;

График $I_{\text{кз}}$ имеется в задании на проект;

I_c – длина волноводной секции, км.

При проведении расчетов длину секции следует брать:

1,5 км – на двухпутных участках при расстоянии 10 км в обе стороны от тяговой подстанции и 3 км от автотрансформаторных пунктов;

2,5 км – при тех же условиях на однопутных участках;

3 км – на остальной длине фидерной зоны.

В процессе расчетов длина секции должна уточняться.

Значения произведения $X_m S_p$ в зависимости от удельной проводимости земли и характера участков приведены в таблице П2.1 настоящего приложения.

Таблица П2.1

Удельная проводимость земли, $\sigma, 1/(\text{Ом/м})$	$1 \cdot 10^{-3} \div 10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3} \div 100 \cdot 10^{-3}$
Значения $X_m S_p$ Ом/км для участка:		
однопутного	0,13-0,114	0,114-0,095
двухпутного	0,104-0,102	0,102-0,090

4. Величина эквивалентного влияющего тока в контактной сети $I_{\text{экв}}$ должна определяться в соответствии с методикой, изложенной в приложении 10 Правила защиты.

Под эквивалентным влияющим током следует понимать ток, одинаковый по всей длине рассматриваемой секции волноводного провода, который должен наводить в последней такое же опасное напряжение, какое должно возникнуть в ней при действительном (ступенчатом) распределении токов в контактной сети

$$I_{\text{экв}} = I_{\text{рез}} K_{\text{и}}, \text{ А} \quad (\text{П2.4})$$

Коэффициент $K_{\text{и}}$ характеризует уменьшение тока $I_{\text{экв}}$ по сравнению с результирующим током $I_{\text{рез}}$, равным суммарному току электровозов на расчетном плече питания.

$$I_{\text{рез}} = \frac{2m}{(m+1)} \frac{\Delta U_{TC \max}}{(R_{TC} \cos \varphi + X_{TC} \sin \varphi) I_T}, \text{ А} \quad (\text{П2.5})$$

$$K_{\text{и}} = \frac{1}{m} \left[1 + (m-1) \left(1 - \frac{2l_H + l_C}{2l_T} \right) \right], \text{ А} \quad (\text{П2.6})$$

где m – количество поездов с электрической тягой, одновременно находящихся в пределах расчетного плеча питания в часы интенсивного движения в межподстанционной зоне, определяется по утвержденному графику движения поездов;

l_H – расстояние от питающей тяговой подстанции до начала секции волноводного провода, км;

l_T – длина плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме работы, км;

$\Delta U_{TC \max}$ – максимальная потеря напряжения в тяговой сети на длине l_T .
При l_T более 30 км $U_{TC \max} = 8500 \text{ В}$;

$R_{тс}$ и $X_{тс}$ – соответственно, активное и реактивное удельные сопротивления тяговой сети, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электровозов.

Значения величин $\Delta U_{тс \max}$, $R_{тс}$ и $X_{тс}$ должны быть даны в задании на проект.

5. Величина напряжения U_3 не зависит от места расположения волноводной секции. Ее вычисляют по формуле

$$U_3 = I_c R I_c, \text{ В} \quad (\text{П2.7})$$

где: I_c – величина емкостного тока, А/км, протекающего через высокочастотный заградитель при заземлении волноводной секции длиной 1 км. Величину тока I_c с достаточной точностью следует принять равной 0,024 А/км;

R – сопротивление индивидуального заземлителя для тока частотой 50 Гц, Ом ($R=60$ Ом).

6. При вынужденном режиме работы контактной сети величина U_p не должна превышать значений 250 В, а в режиме короткого замыкания – 1000 В.

7. Определение допустимой длины секции волновода следует вести в следующем порядке.

7.1. Ориентировочно должна определяться величина $I_c = I'_c$ для волноводной секции, ближайшей к питающей тяговой подстанции, принимая $I_{\text{экв}} = I_{\text{рез}}$.

$$I'_c \leq \frac{250}{0,6 X_M S_p S_T I_{\text{рез}} + I_c R}, \text{ км} \quad (\text{П2.8})$$

7.2. Значение I_c должно уточняться (в сторону уменьшения) по плану электрической централизации станции и плану автоблокировки перегона. Длина первой от тяговой подстанции волноводной секции (наиболее короткой) должна составлять около 1,5 км.

7.3. По формулам П2.1 – П2.3 и П2.7 настоящего приложения следует проверять выполнение условия $U_p \text{ кз} \leq 1000$ В в режиме короткого замыкания контактной сети при $I_c = I'_c$.

В гололедных районах проверка величины U_p должна производиться и по току плавления гололеда при соответствующей схеме плавки.

7.4. При определении длин последующих секций должен использоваться план ЭЦ станции и план автоблокировки перегона.

В среднем волноводные секции имеют длину 1,5 – 2,5 км. Исходя из этого следует намечать границы секции наибольшей возможной длины и делать проверочный расчет по формулам П2.1 – П2.8 настоящего приложения на соблюдение условий пункта 6 настоящего приложения (при условии питания зоны как от одной, так и от другой тяговой подстанции).

8. Пример расчета

Исходные данные: двухпутный участок железной дороги; план ЭЦ станции; план автоблокировки перегона; график $I_{кз}$ при одностороннем питании контактной сети; длина плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме работы $l_c = 50$ км; количество поездов на участке $m = 8$; коэффициент мощности электропоездов $\cos \varphi = 0,8$ ($\sin \varphi = 0,6$); проводимость земли $\sigma = 1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/Ом} \cdot \text{м}$; из таблицы определяем $X_m S_p = 0,104$; тип подвески контактной сети ПБСМ-95+МФ100; $R_{тс} = 0,101 \text{ Ом/км}$, $X_{тс} = 0,269 \text{ Ом/км}$ (приложение 10 Правила защиты); заземленный трос отсутствует $S_t = 1$ (приложение 8 Правила защиты)

Сначала в соответствии с подпунктом 7.1 настоящего приложения должна определяться длина l'_c . При этом значение $I_{рез}$ следует вычислять по формуле П2.5.

$$I_{рез} = \frac{2 * 8}{(8+1)} \frac{8500}{(0,101 * 0,8 + 0,269 * 0,6) 60} = 1250 \text{ А}$$

Длина первой от питающей тяговой подстанции волноводной секции в соответствии с формулой П2.8 должна составлять

$$l'_c \leq \frac{250}{0,6 * 0,104 * 1 * 1250 + 0,024 * 60} = 3,14 \text{ км}$$

По имеющемуся плану ЭЦ станции следует уточнить место заземления секции. Длина первой секции должна быть равной 2,1 км. По графику $I_{кз}$ при $l_c = 2,1$ км $I_{кз} = 7100$ А. Должно проверяться выполнение неравенства $U_{ркз} \leq 1000$ В в соответствии с пунктом 6 и формулами П2.1 и П2.3 в режиме к.з.

Имеем: $U_{ркз} = 0,6 * 0,104,1 * 7100 * 2,1 + 0,024 * 60 * 2,1 = 933 \text{ В}$, что менее установленной величины $U_{ркз} = 1000$ В.

При использовании плана ЭЦ станции и плана автоблокировки перегона следует ориентировочно определить длины следующих секций волновода. Допустим, что длина второй от питающей тяговой подстанции секции $l_c = 2,6$ км. Расстояние от подстанции до начала второй секции равно длине первой секции, следовательно, $l_n = 2,1$ км.

По формуле П2.4 следует вычислить эквивалентный влияющий ток для второй секции:

$$\begin{aligned} I_{экв} &= I_{рез} K_{и} \\ I_{рез} &= 1250 \text{ А} \\ K_{и} &= \frac{1}{8} \left[1 + (8-1) \left(1 - \frac{2 * 2,1 + 2,6}{2 * 50} \right) \right] = 0,9405 \\ I_{экв} &= 1250 * 0,9405 = 1176 \text{ А.} \end{aligned}$$

Следует выполнить проверочный расчет по формулам П2.1 – П2.3.

Для вынужденного режима

$$U_p = 0,6 * 0,104 * 1 * 1176 * 2,6 + 0,024 * 60 * 2,6 = 194,5 \text{ В}$$

Таким образом, $U_p < 250$ В.

Расстояние от удаленного конца второй секции волновода до питающей тяговой подстанции равно сумме длин первых двух секций – 4,7 км. По графику $I_{кз}$ ток короткого замыкания в контактной сети при этом составляет 5360 А. Тогда

$$U_{ржк} = 0,6 * 0,104,1 * 5360 * 2,6 + 0,024 * 60 * 2,6 = 873,3 \text{ В}$$

Таким образом, $U_{ркз} < 1000 \text{ В}$.

Судя по полученным результатам, U_p и $U_{ркз}$ не превышают допустимых для них значений, и поэтому длину второй секции следует принять равной 2,6 км.

Длины последующих секций волновода должны рассчитываться аналогично.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В СЕТЯХ ПРС-С ГЕКТОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Пример 1. Участок железной дороги с электрической тягой переменного тока. Вид направляющей линии – два провода ДПР, подвешенные с разных сторон пути; на станции провода ДПР следует расположить с одной стороны путей (длина станции – 1,5 км), далее на перегоне один из проводов должен переходить на противоположную сторону пути; возбуждение направляющих проводов – индуктивное противофазное. На перегоне должна находиться тяговая подстанция. К проводам ДПР должны быть подключены два силовых трансформатора; высокочастотные заградители следует включить у трансформаторов на расстоянии 10 м от линии ДПР.

Порядок расчета. Дальность радиосвязи r между стационарной и возимой радиостанциями при условии использования направляющих линий следует определить из уравнения 7.7 Методических указаний.

Значение $A_{пер}$ должно определяться из пункта 7.1 Методических указаний, $u_{мин}$ – по таблице 7.1 Методических указаний; $A_{пер} = 35$ дБ;

$\alpha_{н1} = 2$ дБ/км; $\alpha_{н2} = 4$ дБ/км (см. таблицу 7.1 Методических указаний); $\Sigma\alpha_{лок} = 1,5$ дБ/км.

$$\sum a_{ст} = a_{\phi} l_{\phi} + a_{св} + a_s + a_{он} + K_p = 0,007 * 30 + 1,5 + 1,5 + 3 = 6,21, \text{ дБ} \quad (\text{ПЗ.1})$$

$K_p, a_{св}, \alpha_{\phi}, a_{в}$ должно определяться из пункта 7.4 Методических указаний;

$$\sum a_{тн} = a_{тн} + na_{\delta} + ma_{тр} = 1 + 1 * 2,5 + 2 * 0,5 = 4,5 \text{ дБ} \quad (\text{ПЗ.2})$$

$a_{тн}$ и $a_{д}$ должны определяться из пункта 7.5 Методических указаний, $a_{тр}$ – по графику (см. рис. 7.1 Методических указаний) для $l_{тр} = 10$ м;

Таким образом,

$$r = \frac{148 - 72 - 35 - 6,21 - 4,5 - 1,5 - (2 - 4) * 1,5}{4} = 7,95 \text{ км}$$

Пример 2. Определить дальность радиосвязи при использовании стационарных антенн на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока и автономной тягой.

Связь должна организовываться с помощью стационарной Г-образной антенны высотой 20 м. Кроме антенны, к радиостанции должна быть подключена направляющая линия. Параметры почвы $\epsilon = 4$, $\sigma = 10^{-3} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$.

Для расчета дальности радиосвязи r при использовании стационарных антенн по пункту 7.8 Методических указаний должна определяться

минимально допустимая напряженность поля сигнала $E_{\text{доп}}$, которую необходимо иметь в месте приема, и напряженность поля E_a , создаваемая антенной в зависимости от расстояния между антенной и местом приема:

$$E_{\text{доп}} = K_u K_{\text{доп}} E_n \quad (\text{ПЗ.3})$$

В этой формуле $K_{\text{доп}} = 2$; $K_u = 2$ на участках с электрической тягой и $K_u = 1,4$ – на участках с автономной тягой; E_n следует определить для возимой радиостанции по таблице 7.2.

При расчете по формуле ПЗ.3 получаем: для участков с автономной тягой $E_{\text{доп}} = 64,4$ мкВ/м, с электрической тягой постоянного тока $E_{\text{доп}} = 908$ мкВ/м, переменного тока $E_{\text{доп}} = 1132$ мкВ/м.

Значение r должно определяться по формуле 7.9 Методических указаний, в которой $E_{\text{доп}} = E_a$. Однако с достаточной для практики точностью r можно определять по графикам (см. рис. 7.3 Методических указаний) в зависимости от параметров почвы и значения $E_{\text{доп}}$.

Так как графики построены для значений $\sqrt{P_A \cdot \eta_a} = 1$, то необходимо определить значение $\sqrt{P_A \cdot \eta_a}$ применительно к условиям данного примера.

$$P_A = P \cdot 10^{-0,1(\alpha_{\phi} + \alpha_{\text{ср}})} \quad (\text{ПЗ.4})$$

При работе радиостанции на одну нагрузку $P_A = 12 \cdot 10^{-0,1(0,007 \cdot 30 + 1,5)} = 8,1$ Вт; при работе радиостанции на две нагрузки $P_A = 4,05$ Вт.

Значение КПД стационарной антенны определяется по графикам (см. рис. 7.2 Методических указаний) $\eta_a = 0,38$.

В случае работы радиостанции на две нагрузки (в условиях задачи к радиостанции подключена как антенна, так и направляющая линия) $\sqrt{P_A \cdot \eta_a} = 1,24$. Поскольку величина $\sqrt{P_A \cdot \eta_a} = M$ отличается от единицы ($M=1,24$), то при определении дальности радиосвязи r по рисунку 7.3 необходимо пользоваться кривой, ординаты которой в M раз больше ординат кривой 2 (или, что равнозначно, пользоваться кривой 2, но рассчитанные выше значения E_a при графическом определении дальности радиосвязи делить на $M=1,24$).

Определенная таким образом дальность уверенной радиосвязи при использовании стационарных антенн и при работе на две нагрузки составляет:

на участке с автономной тягой 10,1 км;

на участке с электрической тягой постоянного тока – 3,4 км,

на участке с электрической тягой переменного тока – 3,2 км.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ТРАССЫ РАДИОСВЯЗИ

Все указанные в таблице П4.1 настоящего приложения классификационные критерии трасс радиосвязи должны определяться по их профилю, который следует строить по данным топографических карт в следующем масштабе: по оси абсцисс – 1 км в 1 см, по оси ординат – 10 м в 1 см. Сферичность земли не должна учитываться из-за малого ее влияния для расстояний до 15 – 20 км.

Таблица П4.1

Тип трассы	Характеристика препятствия и его расположение на трассе	Глубина закрытия трассы h_1 , м	Общая протяж-ть закрытия трассы, $\Sigma l_i / l$, %	Расстояние до препятствия, км	
				от передатчика r_H	от приемника r_K
0	Совершенно открытая местность; открытая трасса в горной местности (значение просвета более 20 м)	До 2	0 – 5	Более 6	Более 4
1	Квазиоткрытая местность; небольшой холм в середине трассы	2 - 10	5 – 20	Более 4	2,2 – 4
2	Холм в конце, два холма в середине, холмы в середине и в конце трассы, холмы на протяжении всей трассы, холм в середине трассы	10 - 20	20 – 35	3,2 - 4	1,3 – 2,2
3	Протяженный холм (начало, середина, конец трассы), гора в середине; гора в середине, холм – в конце трассы; гора и холм в середине, холм в конце	20 - 30	35 - 45	2,2 - 4	0,75 – 1,3
4	Гора в конце; гора в конце, гора в середине; гора в конце, гора в начале; две горы в середине; две горы в конце; тупая гора в конце; тупая гора в середине трассы	30 - 60	45 – 60	1,6 – 2,2	0,45 – 0,75
5	Несколько гор в середине; несколько гор в начале и в середине; протяженная гора в начале и в середине; гора в конце, две горы в середине, две горы в конце, гора в начале; гора в начале, гора в середине, гора или холм в конце; тупая гора в середине, гора в середине; тупая гора в середине, гора в конце; тупая гора в конце, гора в середине трассы	60 - 100	60 – 80	1 – 1,6	0,25 – 0,45

Окончание таблицы П4.1

Тип трассы	Характеристика препятствия и его расположение на трассе	Глубина закрытия трассы h_1 , м	Общая протяженность закрытия трассы, $\Sigma l_i / l$, %	Расстояние до препятствия, км	
				от передатчика r_H	от приемника r_K
6	Тупая гора в конце, гора в начале; две тупые горы в середине; тупая гора в конце, тупая гора в середине; тупая гора в середине, две горы в конце; тупая гора в конце, две горы в середине; тупая гора в конце, тупая гора в начале трассы	Более 100	80 -100	Менее 1	Менее 0,25

Примечание – под термином «гора» должна подразумеваться острая гора, под термином «несколько гор» следует понимать три и более гор.

По профилю трассы должен определяться ее тип по пяти характеристикам (см. таблицу П4.1 настоящего приложения): общей характеристике местности, по которой проходит трасса радиосвязи; глубине закрытия трассы $h_Г$ в метрах (рис. П4.1 настоящего приложения); общей протяженности закрытия трассы $\Sigma l_i / l$ в процентах (рис. П4.2 настоящего приложения); расстоянию от передатчика до препятствия r_H в километрах (см. рис. П4.1 настоящего приложения); расстоянию от приемника (подвижного объекта) до препятствия r_K в километрах.

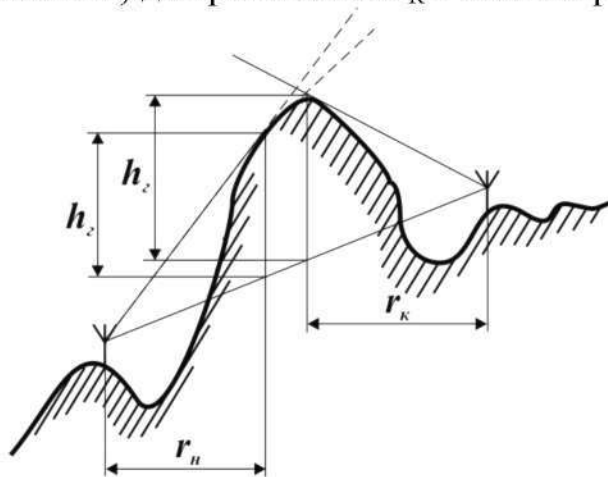


Рис. П4.1. Пример тупой горы

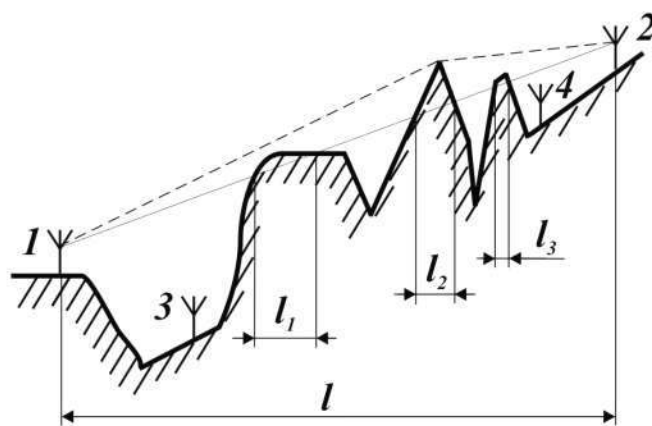


Рис. П4.2. Иллюстрация к определению числа препятствий

Под глубиной закрытия трассы следует понимать расстояние от вершины препятствия (с учетом леса) до прямой линии, соединяющей центры передающей и приемной антенн. Если имеется протяженное препятствие или несколько препятствий (горы, холмы), то для расчета следует использовать наибольшее значение глубины закрытия трассы.

Общая протяженность закрытия трассы в процентах должна определяться по линии, соединяющей центры передающей и приемной антенн. Лес следует считать препятствием, он увеличивает общую протяженность закрытия трассы. Расстояние до препятствия должно определяться по линии горизонтальной прямой от антенны до вершины препятствия или первой точки переизлучения радиоволн. Аналогично должно определяться расстояние от локомотива до препятствия.

При определении характеристики препятствия и его местоположения на трассе (в начале, середине или конце трассы) следует принять следующие допущения.

Одинаковыми по своему действию с точки зрения распространения радиоволн следует считать понятия: неострая гора – тупая гора; плоская гора – тупая гора; населенный пункт – город; кустарник – квазиоткрытая местность; начало трассы – конец трассы; две горы в конце трассы – гора в конце и середине трассы. Если расстояние от антенны до препятствия составляет менее $1/5$ (20%) длины трассы, то препятствие следует считать в начале или конце трассы. Препятствие следует считать в середине трассы, если расстояние до него более $1/5$ всей длины трассы.

Препятствие следует считать холмом, если колебания отметок поверхности земли Δh (между антеннами) (см. рис. 8.6 Методических указаний) менее 50 м, и, соответственно, горой, если более 50 м.

Гора должна считаться плоской (тупой), если луч, идущий от антенны, не падает сразу на вершину горы, т. е. имеется несколько переизлучений (см. рис. П4.1 настоящего приложения).

Также тупыми должны считаться горы протяженные и с большим радиусом кривизны вершин.

Число препятствий (гор) следует считать по числу переизлучений, создаваемых препятствиями. На рис. П4.2 настоящего приложения показан пример определения числа препятствий; на трассе 1-2 – одно препятствие; на трассах 1-4 и 3-2 – два препятствия; на трассе 3-4 – три препятствия.

Как правило, при определении типа трассы по соответствующему показателю должны получаться разные результаты. Поэтому окончательный тип трассы следует рассчитывать как среднее значение из типов, определенных в отдельности по каждому из пяти критериев, и округляется с точностью до 0,5. Если окончательный тип трассы получается проще 1 (0) или сложнее 5 (6), то трассу следует принять типа 1 или 5.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ МЕЖДУ СТАЦИОНАРНОЙ И ВОЗИМОЙ РАДИОСТАНЦИЯМИ В ДИАПАЗОНЕ 160 МГц

1. Особенности расчета

Дальность связи от стационара в сторону локомотива должна рассчитываться разными методами.

Первый метод. Для всех трасс радиосвязи, идущих от стационарной радиостанции в сторону рассматриваемого перегона, должен приниматься один и тот же тип, причем последний следует определять по наихудшим условиям распространения радиоволн, исходя из результатов натурного обследования местности или изучения топографических карт. Этот метод должен применяться тогда, когда с удалением от стационарной радиостанции рельеф местности усложняется. Такой подход приводит к получению заниженных уровней сигнала на небольших расстояниях по сравнению с действительными значениями, что не является недостатком используемого метода.

Второй метод. Типы трасс радиосвязи, используемые в расчете, должны определяться конкретно по профилю трасс для выбранных точек приема на рассматриваемом перегоне. Поэтому расчет уровня сигнала вдоль перегона должен получиться более точным. Этот метод должен применяться независимо от того, как изменяется сложность трассы радиосвязи при удалении от стационарной радиостанции в сторону перегона; трасса радиосвязи может быть сложной, становиться более легкой на каком-то участке перегона и снова усложняться.

При расчете уровня сигнала и дальности связи этим методом должно учитываться следующее обстоятельство. Профили трасс радиосвязи не должны быть построены по топографической карте для всех точек перегона. Для тех точек, которые имеют профили трассы, расчет должен получиться точным. Для промежуточных точек, для которых профили трасс не построены, следует исходить из более сложного типа трассы. Последний должен выбираться из двух типов, соответствующих соседним точкам с известными профилями трасс.

Основная погрешность (ошибка) расчета должна получаться вследствие неправильного выбора принадлежности трассы к данному типу, при этом ошибиться можно не более, чем на один тип трассы. Максимальная ошибка по дальности связи должна составлять 1 – 2 км в горной местности и 3 – 4 км на равнинных и холмистых участках железных дорог.

Следует обратить внимание еще на тот факт, что дополнительное затухание имеет место, если стационарная антенна установлена на одном уровне или ниже контактной сети. За счет этого реальный уровень сигнала должен получиться ниже рассчитанного. Чтобы исключить это нежелательное явление, высота установки стационарных антенн должна быть более высоты опор контактной сети.

2. Порядок проведения расчета дальности связи

По топографической карте в направлении связи следует выбирать несколько точек, находящихся на пути следования подвижного объекта, причем эти точки должны лежать на трассах радиосвязи, наиболее сложных по профилю. Обязательно следует брать самые удаленные по азимуту точки, а также точки на кривых участках пути. Число выбираемых точек должно зависеть от сложности трассы радиосвязи и длины перегона: от двух точек на равнинных перегонах до восьми на сложных горных перегонах. Выбор точек должен выполняться в обе стороны от места установки стационарной радиостанции. Для этих точек должны строиться профили трасс радиосвязи. Следует рекомендовать для одного перегона строить профили трасс в порядке увеличения расстояния от станций. Следует заметить, что профили строятся по прямой линии, соединяющей стационарную радиостанцию с искомой точкой на перегоне, а не вдоль трассы железной дороги. По профилю трассы должен определяться ее тип согласно таблице П4.1 приложения № 4 Методических указаний. Для этого сначала должен определиться тип трассы в отдельности по каждому из пяти критериев, затем следует вычислить их среднее значение, которое и должно являться окончательным типом трассы. При определении типа трассы ее характеристики должны заноситься в отдельную таблицу, подобную таблице П4.1 приложения № 4 Методических указаний, с добавлением граф «Номер по порядку», «Наименование трассы» (в начале таблицы), «Тип трассы по отдельным характеристикам» и «Окончательный тип трассы» (в конце таблицы). Полученное среднее значение типа трассы следует округлять с погрешностью до 0,5.

В результате при принятии решения об окончательном типе трассы следует остановиться на более сложном.

По заданным условиям должны определяться все необходимые поправочные коэффициенты, указанные в формуле 8.4 Методических указаний. Для упрощения расчетов кривые распространения представлены в табличной форме (таблица П5.1 настоящего приложения) в виде зависимости E_2 от расстояния через интервал в 2 км.

Затем по формуле 8.4 Методических указаний должен рассчитываться уровень сигнала u_2 вдоль перегона через каждые 2 км, а также для тех точек, для которых построены профили трасс радиосвязи.

По результатам расчета должен строиться график $u_2 = f(r)$, на котором следует откладывать $u_{2\text{мин}}$. Дальность связи должна определяться по графику как расстояние от стационарной радиостанции до точки пересечения кривой $u_2 = f(r)$ с линией $u_{2\text{мин}}$. Пересчет расстояния по прямой линии к расстоянию вдоль железнодорожного пути должен выполняться по топографической карте.

Дальность связи должна определяться и без построения графика уровня сигнала вдоль перегона. Для этого из формулы 8.4 Методических указаний следует определить значение напряженности поля E_2 при $u_2 = u_{2\text{мин}}$, затем по графику (см. рис. 8.5 Методических указаний) или по таблице П5.1 настоящего приложения следует находить расстояние, которое и должно являться дальностью связи.

Таблица П5.1

Расстояние, км, по прямой линии	Значения напряженности поля E_2 , дБ, по кривым (см. рис. 8.5 Методических указаний)		
	1	2	3
1	74	70	62,5
2	62,1	56,7	48
4	50,2	43,4	33,3
6	43,2	35,6	24,8
8	38,2	30	18,7
10	34,5	25,8	14
12	31,2	22,3	10,8
14	28,6	19,3	8,1
16	26,3	16,7	5,8
18	24,3	14,5	3,8
20	22,5	12,5	2
22	20,8	10,6	-
24	19,3	9	-
26	17,9	7,4	-
28	16,6	6	-
30	15,5	4,7	-

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА В ДИАПАЗОНЕ 160 МГц

Уровень сигнала должен измеряться для уточнения принимаемых решений на этапе проектирования. Это должно являться неотъемлемой частью работ по организации ПРС в диапазоне 160 МГц на трассах, проходящих в сильнопересеченной и горной местностях.

Потребность в проведении измерений может возникнуть и на более легких трассах, когда рельеф местности и расположение препятствий существенно отличаются от рекомендуемых классификационных признаков.

Проведение натурных измерений должно состоять из трех этапов: подготовительного этапа измерений; проведения измерений; обработки результатов измерений и корректировки расчетных данных.

На подготовительном этапе следует выбрать место и установить антенны, промежуточные пункты оснастить передающей аппаратурой, решить вопросы электропитания, проверить и откалибровать измерительные приборы.

Для измерения уровня сигнала вдоль перегонов должны выполняться поездки в вагоне-лаборатории, в котором размещается измерительная аппаратура. После измерений полученные результаты должны обрабатываться, должны строиться диаграммы уровней сигналов вдоль обследуемых перегонов и в случае необходимости должны корректироваться ранее принятые решения в отношении высоты установки антенны, места ее расположения и размещения стационарных радиостанций по трассе.

В качестве измерительной аппаратуры следует использовать измерительный приемник П4-17, входящий в состав комплекса МИКАР, либо другое измерительное оборудование, которым оснащаются вагоны-лаборатории. Также могут применяться селективные микровольтметры РИАП – 1.8, ВК6 – 18 или другие, внесенные в Государственный реестр средств измерений. При измерениях должна быть предусмотрена возможность автоматической регистрации их результатов.

Для проведения измерений промежуточные пункты, ограждающие обследуемые перегоны, следует оборудовать стационарными антеннами. Антенны должны устанавливаться на сборно-разборных мачтах или на пригодных для установки и крепления высотных сооружениях, находящихся вблизи железнодорожного пути.

В качестве источников высокочастотных сигналов на стационарных

пунктах должны служить передатчики радиостанций соответствующего диапазона, а также генераторы стандартных сигналов и РГ4-03 (50-1100МГц) с выходной мощностью 1 Вт.

Источники излучения (генераторы) должны быть проверены на соответствие требованиям, содержащимся в нормативно-технической документации. Должны быть определены: мощность, отдаваемая генератором на согласованную нагрузку; коэффициент стоячей волны в точке присоединения кабеля к генератору; затухание, вносимое коаксиальным кабелем в тракт передачи по известной длине кабеля и его постоянной затухания. Должны быть известны также параметры применяемых антенн. Для измерения следует использовать ненаправленные антенны.

Параметры антенно-фидерного тракта приемной аппаратуры должны быть учтены при обработке результатов измерений.

Полученные записи должны быть расшифрованы. Затем должны быть построены кривые, представляющие собой зависимость уровня сигнала от расстояния между стационарной радиостанцией и подвижным объектом.

Окончательные выводы и корректировка предварительных решений должны быть выполнены на основе анализа этих зависимостей.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В СЕТЯХ ПРС-С ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН

Пример 1. Следует рассчитать уровень высокочастотного сигнала на входе приемника возимой радиостанции на трассе, проходящей по равнинной местности и горному участку повышенной сложности (тип 4,5). Участки двухпутные, электрифицированные по системе постоянного тока. На расстояниях 5,5 и 2,5 км от станции трасса железной дороги совпадает с направлением распространения радиоволн на трассах типов 1; 4,5 соответственно.

Параметры стационарной радиостанции: тип РС-46МЦ, мощность $P_1 = 10$ Вт, высота установки антенны $h_1 = 25$ м; антенна АСП-1/160, $G_1 = 0$ дБ; постоянная затухания фидера $\alpha_1 = 0,1$ дБ/м, длина фидера $l_1 = 31$ м.

Параметры возимой радиостанции: высота установки антенны $h_2 = 5$ м, антенна дискоконусная АЛП/2,3, устанавливаемая над прожектором электровоза; $G_2 = 0$ дБ, погонное затухание фидера $\alpha_2 = 0,1$ дБ/м, длина фидера $l_2 = 5$ м.

Следует определить поправочные коэффициенты из формул и графиков (см. пункт 8.2.3 Методических указаний): $B_M = 10 \lg P_1 = 10$ дБ; $M = 20 \lg(h_1 h_2 / 100) = 1,9$ дБ; $g_2 = 12$ дБ; для трассы типа 1 $a_T = 3,4$ дБ; типа 4,5 $a_T = -8,5$ дБ; $K_3 = 2$ дБ (см. таблицу 8.2 Методических указаний).

Из пункта 8.2.4 Методических указаний следует определить вероятностные коэффициенты на уровне 90 %: для трассы типа 1 $K_M = 2,0$ дБ; типа 4,5 $K_M = 5,5$ дБ; $K_B = 1,8$ дБ; $K_I = 5$ дБ.

Уровень сигнала u_2 на входе приемника возимой радиостанции следует определить по формуле 8.3 Методических указаний:

$$u_2 = E_2 + a_m + B_M + G_1 + G_2 + M - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - K_3 - K_{КС} - g_2 - K_H - K_B - K_M$$

где $K_{КС} = 2$ дБ для двухпутных участков.

Для типа трассы 1 при $G_1 = 0$ дБ уровень сигнала

$$u_2 = E_2 + 3,4 + 10 + 0 + 0 + 1,9 - 0,1 * 31 - 0,1 * 5 - 2 - 2 - 12 - 5 - 1,8 - 2 = E_2 - 13,1$$

Для трассы типа 4,5 при $G_1 = 0$ дБ уровень сигнала

$$u_2 = E_2 - 8,5 + 10 + 0 + 0 + 1,9 - 0,1 * 31 - 0,1 * 5 - 2 - 2 - 12 - 5 - 1,8 - 5,5 = E_2 - 28,5$$

Значение E_2 в зависимости от расстояния r между стационарной и возимой радиостанциями должны определяться по базовым кривым (см. рис. 8.5 Методических указаний и таблицу П.5.1 Приложения № 5 Методических указаний) для каждого типа трасс. Кривая 1 должна использоваться в данном

примере для $r \leq 5,5$ км для трассы типа 1 и $r \leq 2,5$ км для трассы типа 4,5, при больших r – кривая 2.

Результаты расчета уровней сигнала в зависимости от типа трассы и коэффициента усиления антенны сведены в таблицу П7.1 настоящего приложения.

Пример 2. Следует определить дальность действия поездной радиосвязи для условий примера 1.

Порядок расчета приведен в пункте 8.2.6 Методических указаний.

Минимально допустимый уровень полезного сигнала $u_{2\min}$ должен определяться из таблицы 8.3 Методических указаний. Для участка, электрифицированного на постоянном токе, для случая использования электрической тяги, $u_{2\min} = 12$ дБ.

Следует определить значение E_2 из формулы 8.4 Методических указаний при $u_2 = u_{2\min}$.

Для трассы типа 1:

при $G_1 = 0$ дБ; $E_2 = u_2 + 13,1 = 12 + 13,1 = 25,1$ дБ;

Для трассы типа 4,5:

при $G_1 = 0$ дБ; $E_2 = u_2 + 28,5 = 12 + 28,5 = 40,5$ дБ;

Для определения r необходимо использовать кривую 2 (см. рис. 8.5 Методических указаний), поскольку при удалении от станции трасса железной дороги не совпадает с направлением распространения радиоволн.

Для трассы типа 1 при $G_1 = 0$ дБ $r = 10$ км. Для трассы типа 4,5 при $G_1 = 0$ дБ $r = 4,5$ км.

Полученные значения r следует отсчитывать по прямой линии между стационарной и возимой радиостанциями и для пересчета к расстоянию вдоль железнодорожного пути необходимо пользоваться топографической картой.

Таблица П7.1

r , км, по прямой линии	Трасса типа 1		Трасса типа 4,5	
	E_2 , дБ	u_2 , дБ	E_2 , дБ	u_2 , дБ
		$G_1 = 0$ дБ		$G_1 = 0$ дБ
2	62,1	49	62,1	33,6
2,5	-	-	59	30,5
2,5	-	-	53,4	24,9
4	50,2	37,1	43,4	14,9
5,5	45	31,9	-	-
5,5	37,6	24,5	37,6	9,1
6	35,6	22,5	35,6	7,1
8	30	16,9	30	1,5
10	25,8	12,7	25,8	-2,7
12	22,3	9,2	22,3	-6,2

14	19,3	6,2	19,3	-9,2
16	16,7	3,6	16,7	-11,8
18	14,5	-1,4	14,5	-14
20	12,5	-0,6	12,5	-16

Пример 3. Следует рассчитать высоту установки стационарной антенны из условия обеспечения дальности связи 12 км на участке с электротягой переменного тока в европейской части РФ при трассе типа 2. Параметры аппаратуры – из примера 1.

Порядок расчета приведен в пункте 8.2.7 Методических указаний.

Следует определить $u_{2\min}$ из таблицы 8.3 Методических указаний. Для участка с электротягой переменного тока $u_{2\min} = 16$ дБ.

По кривой 1 (см. рис. 8.5 Методических указаний) следует определить E_2 (трасса железной дороги совпадает с направлением распространения радиоволн). При $r = 12$ км $E_2 = 31,2$ дБ.

Из формулы 8.4 Методических указаний следует выразить и затем вычислить значение высотного коэффициента M при $u_2 = u_{2\min}$; принимаем ориентировочно $l_1 = 31$ м:

$$M = u_{2\min} - E_2 - a_m - B_M - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + K_3 + K_{KC} + g_2 + K_H + K_B + K_M$$

Для трассы типа 2: $a_T = 0$ дБ; $K_M = 3$ дБ; следовательно

$$M = 16 - 31,2 - 0 - 10 - 0 - 0 + 0,1 * 31 + 0,1 * 5 + 3 + 2 + 12 + 5 + 1,8 + 3 = 5,2 \text{ дБ}$$

при $G_1 = 0$ дБ.

Из формулы 8.2 Методических указаний следует определить значение h_1 при $h_2 = 5$ м:

$$M = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) \Rightarrow h_1 = 10^{M/20} * 100 / h_2$$

$$\text{При } G_1 = 0 \text{ дБ } h_1 = 100/5 \cdot 1,82 = 36,4 \text{ м;}$$

Результаты расчета показывают, что для обеспечения требуемой дальности радиосвязи на данном участке необходимо использовать направленную антенну, установленную на высоте $h_1 = 36,4$ м.

После проведения ориентировочного расчета необходимо уточнить значение l_1 с учетом полученной высоты антенны и места установки радиостанции.

Пример 4. Следует определить дальность связи между машинистами электропоездов на участке, электрифицированном на переменном токе, для равнинной (тип 1) и горной (тип 4) трасс железной дороги, проходящих в азиатской части России. Параметры аппаратуры – из примера 1.

Порядок расчета приведен в пункте 8.2.8 Методических указаний. Параметры приемного и передающего антенно-фидерного трактов следует принимать одинаковыми, K_{KC} в расчете не должен учитываться.

Для участка переменного тока на территории азиатской части России $u_{2\min} = 12$ дБ.

Следует определить из формулы 8.5 Методических указаний E_2 при $u_2 = u_{2\min}$:

$$E_2 = u_{2\min} - a_m - B_M - 2G_2 + 2\alpha_2 l_2 + 2K_3 + g_2 + K_H + K_B + K_M$$

Для трассы типа 4 $a_T = -6,8$ дБ; $K_M = 5,0$ дБ; следовательно,

$$E_2 = 12 + 6,8 - 10 - 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0,1 \cdot 5 + 2 \cdot 3 + 12 + 5 + 1,8 + 5 = 39,6 \text{ дБ.}$$

По кривым 3 рис. 8.5 Методических указаний для высот установки антенн 5 м следует определить дальность связи между локомотивами: $r = 3$ км.

Для трассы типа 1 $a_T = 3,4$ дБ; $K_M = 2$ дБ; следовательно,

$$E_2 = 12 - 3,4 - 10 - 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0,1 \cdot 5 + 2 \cdot 3 + 12 + 5 + 1,8 + 2 = 26,4 \text{ дБ}$$

$r = 5,5$ км.

Пример 5. Следует рассчитать координационное расстояние $r_{крд}$ между двумя стационарными радиостанциями РС-46МЦ, работающими на одной частоте. Участок не электрифицирован.

Высоты установки антенн стационарных радиостанций 25 и 20 м, $G_1 = G_2 = 0$ дБ; $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ дБ/км, $l_1 = l_2 = 31$ м.

Порядок расчета приведен в пункте 9.1.1 Методических указаний. Расчет должен выполняться по формуле 9.1 Методических указаний.

Следует вычислить:

$$E_2 = u_{нор} - B_M - M - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + g_2 + K_H + K_B$$

Значение M должно определяться по формуле 8.3 Методических указаний:

$$M = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) = 20 \lg \left(\frac{25 \cdot 20}{100} \right) = 14 \text{ дБ}$$

Значения $u_{нор} = -10$ дБ, $K_H = 1,6$ дБ, $K_B = 2$ дБ (см. пункт 8.2.4 Методических указаний); $B_M = 10$ дБ.

Таким образом,

$$E_2 = -10 - 10 - 14 - 0 - 0 + 2 \cdot 0,1 \cdot 31 - 0,6 - 2 + 12 = -19,4 \text{ дБ}$$

По найденному значению напряженности поля по кривой рис. 9.1 Методических указаний следует определить координационное расстояние.

Для $E_2 = -19,4$ дБ, $r_{крд} = 65$ км.

Расстояние $r_{крд}$ должно определяться по прямой между двумя стационарными радиостанциями для условий распространения радиоволн по равнинной и среднепересеченной местности. Для более сложных типов трасс эти расчеты следует считать ориентировочными и их результаты должны быть откорректированы с использованием топографических карт местности в зависимости от взаимного расположения станций и антенн.

АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СЕТЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ ДИАПАЗОНА 160 МГц

Таблица П8.1.

Перечень и основные характеристики антенн

Наименование антенны	Тип антенны	Вид диаграммы направленности в горизонтальной плоскости	Вх. сопр. $R_{вх}$, Ом	Коэффициент усиления G^1
<i>Стационарные ненаправленные антенны</i>				
<i>АСП-1/160</i>	Один петлевой вибратор	Круговая, с неравномерностью ± 3 дБ	50	OMNI 2,15 / 0 OFFSET 5,15 / 3
<i>АСП-2/160</i>	Два петлевых вибратора, включенных через сумматор	Круговая, с неравномерностью ± 3 дБ	50	OMNI 6,15 / 4 OFFSET 8,15 / 6
<i>АСП-4/160</i>	Четыре петлевых вибратора, включенных через сумматор	Круговая, с неравномерностью ± 3 дБ	50	OMNI 8,15 / 6 OFFSET 11,15 / 9
<i>АСК-3/160</i>	Коллинеарно расположенные и питаемые последовательно один четверть- и один полуволновой линейные излучатели	Круговая	50	4,95 / 2,8
<i>АСК-5/160</i>	Коллинеарно расположенные и питаемые последовательно два полуволновые линейные излучатели	Круговая	50	5,3 / 3,15

¹ Для стационарных антенн – усиление по отношению к изотропному излучателю в дБи / по отношению к полуволновому вибратору в дБ, для локомотивных антенн – относительно четвертьволнового вибратора в дБ.

Наименование антенны	Тип антенны	Вид диаграммы направленности в горизонтальной плоскости	Вх. сопр. $R_{вх}$, Ом	Коэффициент усиления G^1
Стационарные направленные антенны				
<i>АСН1-3/160</i>	Один трехэлементный волновой канал	Однонаправленная	50	7,65 / 5,5
<i>АСН1-5/160</i>	Один пятиэлементный волновой канал	Однонаправленная	50	10,15 / 8
<i>АСН2-3/160</i>	Два трехэлементных волновых канала	Секторная двунаправленная	50	5,45 / 3,3
<i>АСН2-5/160</i>	Два пятиэлементных волновых канала	Секторная двунаправленная	50	8,15 / 6
<i>АСПН2-1/160</i>	Два петлевых симметричных вибратора, разнесенные в горизонтальной плоскости, с параллельным сложением мощностей	Секторная двунаправленная	50	6 / 3,85
Локомотивные антенны и антенны носимых радиостанций				
<i>АЛ1/160</i>	Несимметричный четвертьволновой петлевой вибратор	Круговая	50	0
<i>АЛ1/160/Н</i>	Несимметричный четвертьволновой петлевой вибратор	Круговая	50	0
<i>АЛ2/160</i>	Несимметричный петлевой вибратор	Круговая	50	0
<i>АЛ2/160/Н</i>	Несимметричный петлевой вибратор	Круговая	50	0
<i>Антенна РН при расположении её вблизи тела оператора</i>	Укороченный четвертьволновой несимметричный вибратор	Круговая	50	-2

**Значения коэффициентов усиления направленных антенн
(относительно изотропного излучателя, дБи)**

φ, град	АСН1-3/160	АСН1-5/160	АСН2-3/160	АСН2-5/160	АСПН2-1/160
0	7,65	10,15	5,45	8,15	6,00
15	7,55	9,95	4,95	6,65	5,50
30	7,15	9,15	3,75	3,15	3,50
45	5,85	4,75	-1,05	-7,85	-0,50
60	3,65	-9,85	-8,55	-9,85	-10,00
75	-0,35	-14,85	-14,55	-16,85	-44,00
90	-5,35	-3,85	-44,55	-21,85	-17,00
105	-6,35	-5,85	-14,55	-16,85	-44,00
120	-5,35	-5,85	-8,55	-9,85	-10,00
135	-4,85	-6,85	-1,05	-7,85	-0,50
150	-4,85	-5,85	3,75	3,15	3,50
165	-4,85	-5,85	4,95	6,65	5,50
180	-4,85	-5,85	5,45	8,15	6,00
195	-4,85	-5,85	4,95	6,65	5,50
210	-4,85	-5,85	3,75	3,15	3,50
225	-4,85	-6,85	-1,05	-7,85	-0,50
240	-5,35	-5,85	-8,55	-9,85	-10,50
255	-6,35	-3,85	-14,55	-16,85	-44,00
270	-5,35	-3,85	-44,55	-21,85	-17,00
285	-0,35	-14,85	-14,55	-16,85	-44,00
300	3,65	-9,85	-8,55	-9,85	-10,00
315	5,85	4,75	-1,05	-7,85	-0,50
330	7,15	9,15	3,75	3,15	3,50
345	7,55	9,95	4,95	6,65	5,50
360	7,65	10,15	5,45	8,15	6,00

АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ДИАПАЗОНАХ 460 И 900 МГц

П9.1. Антенны, используемые в сетях технологической железнодорожной радиосвязи диапазона 460 МГц

Перечень и основные характеристики антенн

Таблица П9.1.

Наименование антенны	Тип антенны	Частотный диапазон, МГц	Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости		Вх. сопр. R _{вх} , Ом	Коэффициент усиления G ²
			Вид	Ширина, град.		
Стационарные ненаправленные антенны						
АСК-1/460	Коллинеарная антенна	403 – 470	круговая	-	50	5,15
АСК-2/460	Коллинеарная антенна	403 – 470	круговая	-	50	7,15
АСП-1/460	Одиночный симметричный петлевой вибратор	400 – 490	круговая	-	50	OMNI 2,15 OFFSET 5,15
АСП-2/460	Два симметричных петлевых вибратора	400 – 470	круговая	-	50	OMNI 5,15 OFFSET 8,15
АСП-4/460	Четыре симметричных петлевых вибратора	400 – 470	круговая	-	50	OMNI 8,15 OFFSET 11,15
Kathrein K 75 16 37	Антенна всенаправленная стационарная	380 – 400	круговая	-	50	7,5
Kathrein K 75 15 22 I	Антенна всенаправленная стационарная	440 – 470	круговая	-	50	5
Kathrein 721 388	Антенна всенаправленная стационарная	440 – 470	круговая	-	50	7
Kathrein 720 880	Антенна всенаправленная стационарная	440 – 470	круговая	-	50	7
Kathrein 742 155	Антенна всенаправленная стационарная	450 – 470	круговая	-	50	8,5

² Для стационарных антенн – усиление по отношению к изотропному излучателю в дБи, для локомотивных антенн – относительно четвертьволнового вибратора в дБ.

Окончание таблицы П9.1.

Наименование антенны	Тип антенны	Частотный диапазон, МГц	Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости		В _х . сопр. R _{вх} Ом	Коэффициент усиления G ³
			Вид	Ширина, град		
Стационарные направленные антенны						
Kathrein K 73 33 27	Панельная антенна	400 – 512	эллипсоидальная	68	50	15
Kathrein K 73 36 21	Панельная антенна	406 – 512	эллипсоидальная	63	50	9
Kathrein K 73 30 21	Панельная антенна	400 – 512	эллипсоидальная	67	50	12
Kathrein 800 102 52	Панельная антенна	430 – 500	эллипсоидальная	63	50	12
Kathrein 800 102 53	Панельная антенна	430 – 500	эллипсоидальная	63	50	15
Kathrein 731 291	Панельная антенна	400 – 470	кардиоида	120	50	9
Локомотивные антенны						
АЛ1/460/900	Локомотивная низкопрофильная антенна, верт. коаксиальный шунтовой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	1,5
АЛ2/460/900	Локомотивная низкопрофильная антенна, составной вертикальный штыревой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	0
АЛ2/460/900/Н	Локомотивная низкопрофильная антенна, составной вертикальный штыревой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	0
Kathrein K 70 20 21	Локомотивная низкопрофильная антенна	410 – 470	круговая	-	50	0
Kathrein K 70 21 21	Локомотивная низкопрофильная антенна	450 – 470	круговая	-	50	2

³ Для стационарных антенн – усиление по отношению к изотропному излучателю в дБи, для локомотивных антенн – относительно четвертьволнового вибратора в дБ.

Значения коэффициентов усиления направленных антенн диапазона 460 МГц
по различным направлениям в горизонтальной плоскости

Таблица П9.2

Ф, град	<i>Kathrein K 73 36 21</i>	<i>Kathrein K 73 30 21</i>	<i>Kathrein 731 291</i>	<i>Kathrein 800 102 52</i>	<i>Kathrein 800 102 53</i>	<i>Kathrein K 73 33 27</i>
0	9,0	12,0	9,0	12,0	15,0	15,0
15	7,8	11,2	8,7	11,3	14,3	14,3
30	6,1	9,5	8,2	9,9	12,9	12,8
45	2,5	6,0	7,5	5,5	8,5	9,5
60	-3,0	4,0	6,0	2,0	5,0	7,0
75	-6,0	-0,5	3,0	-2,0	1,0	3,0
90	-11,0	-3,0	1,0	-5,5	-2,5	0,0
105	-18,0	-4,7	-0,5	-6,5	-3,5	-1,5
120	-16,0	-6,5	-5,0	-19,0	-16,0	-3,0
135	-15,0	-7,3	-10,0	-17,0	-14,0	-4,5
150	-14,0	-8,0	-14,0	-15,5	-12,5	-5,0
165	-13,5	-6,5	-12,5	-14,0	-11,0	-3,5
180	-13,0	-5,5	-11,0	-13,0	-10,0	-1,5
195	-13,5	-6,5	-12,5	-14,0	-11,0	-3,5
210	-14,0	-8,0	-14,0	-15,5	-12,5	-5,0
225	-15,0	-7,3	-10,0	-17,0	-14,0	-4,5
240	-16,0	-6,5	-5,0	-19,0	-16,0	-3,0
255	-18,0	-4,7	-0,5	-6,5	-3,5	-1,5
270	-11,0	-3,0	1,0	-5,5	-2,5	0,0
285	-6,0	-0,5	3,0	-2,0	1,0	3,0
300	-3,0	4,0	6,0	2,0	5,0	7,0
315	2,5	6,0	7,5	5,5	8,5	9,5
330	6,1	9,5	8,2	9,9	12,9	12,8
345	7,8	11,2	8,7	11,3	14,3	14,3
360	9,0	12,0	9,0	12,0	15,0	15,0

П9.2. Антенны, используемые в сетях технологической железнодорожной радиосвязи диапазона 900 МГц

Перечень и основные характеристики антенн

Таблица П9.3.

Наименование антенны	Тип антенны	Частотный диапазон, МГц	Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости		Вх. сопр. R _{вх} , Ом	Коэффициент усиления G ⁴
			Вид	Ширина, град.		
Стационарные ненаправленные антенны						
Kathrein 738 450	Антенна всенаправленная стационарная	870 – 960	круговая	-	50	2
Kathrein K 75 11 61	Антенна всенаправленная стационарная	806 – 960	круговая	-	50	2
Kathrein K 75 15 64 1	Антенна всенаправленная стационарная	890 – 960	круговая	-	50	5
Kathrein 736 350	Антенна всенаправленная стационарная	870 – 960	круговая	-	50	8
Kathrein 736 347	Антенна всенаправленная стационарная	870 – 960	круговая	-	50	11
Kathrein 736 349* ⁵	Антенна всенаправленная стационарная	870 – 960	круговая 5	-	50	10,5
Стационарные направленные антенны						
Kathrein 735 727	Панельная антенна	870 – 960	однаправленная	20	50	16,5
Kathrein K 73 45 64 7	Параллельная панель	870 – 960	эллипсоидальная	36	50	20
Kathrein K 73 22 67	Логопериодическая антенна	790 – 960	однаправленная	51	50	12
Kathrein 730 677	Панельная антенна	860 – 960	эллипсоидальная	65	50	9
Kathrein 730 368	Панельная антенна	880 – 960	эллипсоидальная	65	50	15,5
Kathrein 732 691*	Панельная антенна	806 – 960	эллипсоидальная 6	65	50	15,5

⁴ Для стационарных антенн – усиление по отношению к изотропному излучателю в дБи, для локомотивных антенн – относительно четвертьволнового вибратора в дБ.

⁵ Антенны, обозначенные символом «*», имеют электрический угол наклона ДН в вертикальной плоскости, отличный от нуля. Сведения об этом угле можно найти в таблице П. 9.5.

Окончание таблицы П9.3.

Наименование антенны	Тип антенны	Частотный диапазон, МГц	Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости		Вх. сопр. $R_{вх}$, Ом	Коэффициент усиления G^6
			Вид	Ширина, град.		
<i>Kathrein 730 691</i>	Панельная антенна	880 – 960	эллипсоидальная	65	50	17
<i>Kathrein 737 547*</i>	Панельная антенна	870 – 960	эллипсоидальная 9	65	50	17
<i>Kathrein 739 854</i>	Панельная антенна	870 – 960	эллипсоидальная	65	50	18
<i>Kathrein 730 376</i>	Панельная антенна	880 – 960	эллипсоидальная	65	50	18,5
<i>Kathrein 732 689*</i>	Панельная антенна	870 – 960	эллипсоидальная 6	65	50	18,5
<i>Kathrein 736 854</i>	Панельная антенна	872 – 960	кардиоида	90	50	7,5
<i>Kathrein 730 378</i>	Панельная антенна	806 – 960	кардиоида	90	50	17
<i>Kathrein 730 382</i>	Панельная антенна	870 – 960	кардиоида	120	50	16
Локомотивные антенны						
<i>АЛ1/460/900</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна, вертикальный коаксиальный шунтовой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	3,5
<i>АЛ2/460/900</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна, составной вертикальный штыревой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	0
<i>АЛ2/460/900/Н</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна, составной вертикальный штыревой вибратор	457 – 469	круговая	-	50	0
<i>АЛ3/800-3400</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна	760 – 3400	круговая	-	50	5,3
<i>АЛ3/800-3400/Н</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна	760 – 3400	круговая	-	50	5,3
<i>Kathrein К 70 21 63 1</i>	Локомотивная низкопрофильная антенна	876 – 960	круговая	-	50	3,5

⁶ Для стационарных антенн – усиление по отношению к изотропному излучателю в дБи, для локомотивных антенн – относительно четвертьволнового вибратора в дБ.

**Значения коэффициентов усиления направленных антенн диапазона 900 МГц по различным направлениям
в горизонтальной плоскости**

Таблица П9.4.

φ, град	<i>Kathrein</i> 735 727	<i>Kathrein</i> K 73 45 64 7	<i>Kathrein</i> K 73 22 67	<i>Kathrein</i> 730 677	<i>Kathrein</i> 730 368	<i>Kathrein</i> 732 691	<i>Kathrein</i> 730 691	<i>Kathrein</i> 737 547	<i>Kathrein</i> 739 854	<i>Kathrein</i> 730 376	<i>Kathrein</i> 732 689	<i>Kathrein</i> 736 854	<i>Kathrein</i> 730 378	<i>Kathrein</i> 730 382
0	16,5	20,0	12,0	9,0	15,5	15,5	17,0	17,0	18,0	18,5	18,5	7,5	17,0	16,0
15	10,0	17,5	11,0	8,5	15,0	15,0	16,5	16,5	17,4	17,9	17,9	7,2	16,7	15,8
30	-7,8	12,5	8,0	6,5	13,0	13,0	14,5	14,5	15,5	16,0	16,0	6,3	15,7	15,1
45	-20,2	5,0	0	4,7	10,0	10,0	11,5	11,7	12,5	13,0	13,0	4,5	14,0	14,1
60	-4,0	2,0	-11,7	0,0	6,3	6,2	7,5	8,0	8,8	9,0	9,1	2,8	12,2	13,0
75	-7,0	0,0	-14,2	-4,2	1,9	2,0	3,2	4,0	4,6	4,5	4,8	0,1	9,8	10,5
90	-10,0	-2,0	-14,2	-8,0	-2,0	-2,4	-1,2	-0,3	1,0	0,5	0,9	-2,5	7,1	8,3
105	-16,4	-5,0	-16,0	-10,7	-5,0	-5,0	-4,5	-3,7	-2,0	-2,6	-2,0	-3,5	4,4	6,0
120	-17,2	-8,0	-16,0	-12,8	-8,0	-8,5	-7,0	-5,3	-4,5	-5,1	-4,3	-5,9	1,8	2,8
135	-21,2	-10,0	-21,3	-14,8	-12,2	-10,5	-10,6	-8,6	-7,8	-5,7	-7,4	-9,0	-1,5	-1
150	-33,8	-12,0	-17,0	-15,0	-16,0	-11,3	-15,6	-11,4	-10,9	-10,7	-10,7	-12,0	-6,0	-5,4
165	-19,8	-15,0	-20,9	-13,0	-14,4	-10,0	-14,5	-12,0	-9,3	-10,2	-9,7	-12,5	-7,2	-5,2
180	-8,5	-18,0	-19,5	-12,0	-12,6	-9,4	-12,3	-10,8	-7,8	-9,1	-8,2	-12,5	-5,8	-4,1
195	-16,5	-15,0	-19,5	-12,5	-14,4	-10,0	-14,5	-12,5	-10,1	-10,8	-10,3	-13,5	-7,0	-5,9
210	-33,2	-12,0	-17,3	-14,2	-16,0	-14,8	-13,7	-12,5	-12,6	-11,1	-10,7	-13,5	-6,3	-5,3
225	-19,3	-10,0	-18,0	-16,0	-12,5	-11,4	-9,3	-8,4	-7,8	-7,7	-7,4	-10,5	-1,7	-0,4
240	-15,0	-8,0	-16,0	-14,0	-8,0	-8,0	-6,6	-5,9	-4,5	-5,3	-4,8	-6,9	1,7	4,2
255	-15,1	-5,0	-18,4	-11,4	-4,8	-5,0	-4,1	-3,8	-1,6	-3,1	-2,6	-4,1	4,4	6,1
270	-10,0	-2,0	-13,9	-8,3	-2,0	-3,2	-0,9	-0,6	0,3	0,1	0,5	-2,7	7,1	8,7
285	-5,6	0,0	-15,0	-4,2	1,2	0,2	3,2	3,5	4,3	4,3	4,8	0,7	9,7	10,5
300	-4,0	2,0	-12,3	0,0	6,2	5,4	7,5	8,0	8,6	9,0	9,1	2,8	12,2	13,0
315	-16,4	5,0	0	4,7	10,0	9,7	11,5	11,5	12,5	13,0	13,0	4,5	14,1	14,2
330	-9,0	12,5	8	6,5	13,0	13,0	14,5	14,5	15,5	16,0	16,0	6,0	15,7	15,2
345	10,0	17,5	11	8,5	15,0	15,0	16,4	16,3	17,4	17,9	17,9	7,1	16,7	15,8
360	16,5	20,0	12	9,0	15,5	15,5	17,0	17,0	18,0	18,5	18,5	7,5	17,0	16,0

Электрический угол наклона диаграммы направленности антенн в вертикальной плоскости

Таблица П.9.5

Наименование антенны	Угол наклона ДН в вертикальной плоскости, град
<i>Kathrein 736 349</i>	5
<i>Kathrein 732 691</i>	6
<i>Kathrein 737 547</i>	9
<i>Kathrein 732 689</i>	6

КОАКСИАЛЬНЫЕ РАДИОЧАСТОТНЫЕ КАБЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ДИАПАЗОНАХ 160, 460 и 900 МГц

Характеристики отечественных коаксиальных радиочастотных кабелей, соответствующих требованиям нормативных документов «Технического регламента о пожарной безопасности», включая ГОСТ Р 53315-2009

Таблица П.10.1.

№ п/п	Тип кабеля	Волновое сопротивле- ние, Ом	Затухание, дБ/100 м, на частотах:		
			160 МГц	460 МГц	900 МГц
Кабели, соответствующие требованиям ГОСТ Р 53315-2009 (п.5.2, ПРГО 1) по нераспространению горения при одиночной прокладке					
1	РК 50-3-14	50,0±2,5	16,9	29,6	41,9
2	РК 50-4,8-31	50,0±2,0	8,3	14,5	20,5
3	РК 50-7-35	50,0±2,0	5,4	9,4	14,0
4	РК 50-7-312	50,0±2,0	5,5	9,4	13,6
Кабели, соответствующие требованиям ГОСТ Р 53315-2009 (п.5.3, ПРГП 3) по нераспространению горения при групповой прокладке (категория С)					
5	РК 50-7-313нг(С)-HF	50,0±2,0	5,5	9,4	13,6
6	РК 50-9-36-Снг(С)-HF	50,0±1,0	4,1	7,5	10,7
7	РК 50-22-38-Снг(С)-HF	50,0±1,0	1,6	2,8	4,1
8	РК 50-22-310-Снг(С)-HF	50,0±1,0	1,4	2,6	3,7

Характеристики зарубежных коаксиальных радиочастотных кабелей

Таблица П.10.2.

№ п/п	Тип кабеля	Волновое сопротивле- ние, Ом	Затухание, дБ/100 м, на частотах:		
			160 МГц	450 МГц	900 МГц
1	RFA 7/8"-50 BHF Draka NK Cables	50,0±1,0	1,35	2,44	3,54

Окончание таблицы П.10.2.

№ п/п	Тип кабеля	Волновое сопротивле- ние, Ом	Затухание, дБ/100 м, на частотах:		
			160 МГц	450 МГц	900 МГц
2	RFA 1 1/4"-50 BHF Draka NK Cables	50,0±1,0	1,16	1,83	2,70
3	RFA 1 5/8"-50 BHF Draka NK Cables	50,0±1,0	0,79	1,45	2,14
4	LCF 58-50J RFS	50,0±1,0	2,02	3,62	
5	LCF 78-50J RFS	50,0±1,0	1,47	2,64	
6	LCF 158-50J RFS	50,0±1,0	0,84	1,56	
7	LDF5-50A Эниско	50,0±1,0	1,47	2,65	3,88
8	7/8" Eupen 5228A EC5-50A	50,0±1,0	1,41	2,50	3,62
9	7/8" AVA5-50 Andrew	50,0±1,0	1,43	2,55	3,71

Характеристики отечественных коаксиальных радиочастотных кабелей, рекомендовавшихся к применению до ужесточения требований к кабелям по пожарной безопасности в связи с введением в действие нормативных документов «Технического регламента о пожарной безопасности»
(справочная информация)

Таблица П.10.3.

№ п/п	Тип кабеля	Волновое сопротивление, Ом	Затухание, дБ/м, на частотах:		
			160 МГц	460 МГц	900 МГц
1	ПК 50-4-13	50,0±2,0	0,125	0,220	0,320
2	ПК 50-7-11	50,0±2,0	0,085	0,160	0,250
3	ПК 50-7-15	50,0±2,0	0,080	0,150	0,220
4	ПК 50-9-11	50,0±2,0	0,070	0,135	0,200
5	ПК 50-9-12	50,0±2,0	0,065	0,130	0,190
6	ПК 50-13-51	50,0±2,0	0,035	0,060	0,090
7	ПК 50-17-51С	50,0±2,0	0,020	0,035	0,050

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНТАЖУ, УСТАНОВКЕ И ЮСТИРОВКЕ СТАЦИОНАРНЫХ АНТЕНН

Монтаж и установка стационарных антенн должны выполняться в соответствии с прилагаемой к антенне технической документацией.

После распаковки и проверки комплектности необходимо провести наружный осмотр элементов с целью выявления механических повреждений и проверить качество распайки высокочастотных разъемов.

При монтаже антенных систем, состоящих из нескольких вибраторов, следует иметь в виду, что длины соединительных кабелей, идущих от вибраторов к фидеру снижения, выбраны из условий согласования и получения необходимых диаграмм направленности. Поэтому в случае необходимости замена их должна осуществляться только кабелями соответствующих типов и длин.

Все антенны должны иметь гальваническое соединение центральной жилы коаксиального кабеля с остальными элементами антенны.

После сборки антенны необходимо выполнить полную проверку гальванических соединений, включая все высокочастотные разъемы и вибраторы.

После установки направленных антенн на мачту необходимо выполнить их юстировку, которая заключается в совмещении направления максимального излучения с требуемым направлением связи. Она должна осуществляться поворотом антенны в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси.

Методика выполнения юстировки должна заключаться в следующем.

К фидеру настраиваемой антенны следует подключить селективный микровольтметр (РИАП-1.8, ВК6-18 или другой прибор, внесенный в Государственный реестр средств измерений), служащий индикатором настройки. В качестве измеряемого сигнала должен служить сигнал, передаваемый с мобильной радиостанции, находящейся в той же точке перегона, через которую проходит направление связи. Вначале антенну следует ориентировать по азимуту, а затем уточнить положение антенны по максимальному показанию прибора. После завершения юстировки антенна должна быть закреплена на мачте.

Если трасса железной дороги относительно прямолинейна, то в качестве источника сигнала необходимо использовать радиостанции соседних промежуточных пунктов.

Взаимодействие между лицами, находящимися у антенны и измерительного прибора, должно осуществляться с помощью носимых радиостанций.

Для обеспечения согласования антенн и радиостанций, входное и выходное сопротивления которых не равны, необходимо использовать согласующие трансформаторы, позволяющие обеспечить требуемое значение коэффициента стоячей волны (КСВ). При качественном выполнении соединения фидера с антенной (или радиостанции с фидером) значение КСВ не должно превышать 1,2 – 1,5 дБ.

Для проверки антенно-фидерного тракта между приемопередатчиком и антенной и качества самой антенны следует использовать измеритель КСВ, подключаемый на вход коаксиального фидера.

Коэффициент стоячей волны

$$КСВ = \frac{U_{\text{пад}} + U_{\text{отр}}}{U_{\text{пад}} - U_{\text{отр}}},$$

где $U_{\text{пад}}$ и $U_{\text{отр}}$ – напряжения соответственно падающей и отраженной волн, измеренные прибором.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Данная модель основана на Рекомендации МСЭ-Р 1546-4.

Следует отметить, что модель МСЭ ориентирована на расчет напряженности поля, создаваемого эталонным источником в 1 кВт эффективно излучаемой мощности. Таким образом, уровень сигнала на входе приемника будет равен:

$$u_2 = E + B_M + G_1 + G_2 - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - g_2 \quad (\text{П.12.1})$$

где E – напряженность поля, дБ (мкВ/м); G_1 , G_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; B_M – поправочный коэффициент, учитывающий отличие мощности передатчика от 1 кВт, рассчитывается по формуле:

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{P}{1000} \right) \quad (\text{П.12.2})$$

где P – мощность передатчика, Вт.

Затухание, вносимое фидером стационарной радиостанции, $\alpha_1 l_1$, дБ, где α_1 – постоянная затухания фидера, дБ/м; l_1 – длина фидера, м.

Затухание, вносимое фидером приемного устройства, должно составлять $\alpha_2 l_2$, дБ, где α_2 – постоянная затухания фидера, дБ/м; l_2 – длина фидера, м.

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

Следует заметить, что обозначения передающей станции и приемной станции в настоящей модели не эквивалентны. Настоящая модель предназначена главным образом для подвижных служб, в которых передающая антенна расположена выше уровня местных препятствий. Поэтому при расчете зоны покрытия существующая базовая станция должна рассматриваться в качестве передающей.

П.12.1. Кривые распространения

Кривые распространения, на основе которых прогнозируется напряженность поля, представляют значения напряженности поля для эффективной излучаемой мощности (э.и.м.) 1 кВт на номинальных частотах 100, 600 и 2000 МГц, соответственно, в зависимости от различных параметров.

П.12.2. Максимальные значения напряженности поля

Максимальная напряженность поля не должна превышать $E_{\max}$, дБ (мкВ/м), определяемого следующим образом:

$$E_{\max} = 106,9 - 20 \lg(d) \quad (\text{П.12.3})$$

где d – расстояние между передатчиком и приемником, км.

П.12.3. Передающая антенна

П.12.3.1. Высота подвеса передающей антенны

Используемая в расчетах высота передающей антенны h_1 , м, зависит от высоты ее расположения над землей, а также от типа и длины трассы.

Эффективная высота передающей антенны h_{eff} , м, определяется, как ее высота в метрах над средним уровнем земли на расстояниях от 3 до 15 км от передающей антенны в направлении приемной антенны. Если значение эффективной высоты передающей антенны h_{eff} неизвестно, эту высоту следует оценить из общей географической информации.

Таким образом, для трасс не менее 15 км справедливо:

$$h_1 = h_{eff}$$

Для трасс короче 15 км высота передающей антенны определяется следующим образом.

В случае отсутствия информации о рельефе местности для трасс не больше 3 км:

$$h_1 = h_a$$

Для трасс от 3 до 15 км:

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d - 3)/12$$

где h_a – высота антенны над землей (если известна высота подстилающей поверхности, то высота антенны отсчитывается от данной поверхности, если неизвестна, то высота антенны принимается равной высоте антенны относительно земли (высота мачты)), м.

d – протяженность трассы, км.

В случае наличия информации о рельефе местности:

$$h_1 = h_b$$

где h_b – высота антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне от $0,2 d$ до d , м.

П.12.3.2. Применение высоты подвеса передающей антенны

Значение h_1 определяет выбор кривой или кривых, из которых надо получить значения напряженности поля, а также экстраполяцию или интерполяцию, которая может потребоваться. При этом выделяют следующие случаи.

П.12.3.2.1. Высота передающей антенны более 10 м

Если значение h_1 совпадает с одним из восьми значений высоты, для которых приведены кривые, а именно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, то требуемую напряженность поля можно получить непосредственно из приведенной на графике кривой или соответствующих табулированных значений. В противном случае требуемая напряженность поля E , дБ, должна быть интерполирована или экстраполирована из значений напряженности поля, полученных из двух кривых, с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h_1 / h_{inf}) / \log(h_{sup} / h_{inf}) \quad (\text{П.12.4})$$

где $h_{inf} = 600$ м, если $h_1 > 1200$ м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота меньше h_1 ;

$h_{sup} = 1200$ м, если $h_l > 1200$ м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота больше h_l ;

E_{inf} – значение напряженности поля для h_{inf} на требуемом расстоянии;

E_{sup} – значение напряженности поля для h_{sup} на требуемом расстоянии.

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для $h_l > 1200$ м, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимум, определенный в разделе П.12.2.

П.12.3.2.2. Высота передающей антенны менее 10 м

В этом случае напряженность поля E , дБ, на требуемом расстоянии d для $0 \leq h_l < 10$ м рассчитывается с использованием уравнения:

$$E = E_{zero} + 0,1h_l(E_{10} - E_{zero}) \quad (\text{П.12.5})$$

где:

$$E_{zero} = E_{10} + 0,5(C_{1020} + C_{hlneg10}) \quad (\text{П.12.6})$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \quad (\text{П.12.7})$$

$C_{hlneg10}$ – поправка C_{hl} в рассчитанной в дБ формуле П.12.8, содержащейся в пункте П.12.3.2.3, на требуемом расстоянии для $h_l = -10$ м;

E_{10} и E_{20} – напряженности поля в дБ (мкВ/м), рассчитанные согласно пункту П.12.3.2.1, на требуемом расстоянии для $h_l = 10$ м и $h_l = 20$ м соответственно.

Следует иметь в виду, что поправки C_{1020} и $C_{hlneg10}$ должны стремиться к отрицательным величинам.

П.12.3.2.3. Отрицательные значения высоты передающей антенны

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей антенны h_{eff} может иметь отрицательное значение, поскольку ее получают на основе средней высоты рельефа местности на расстояниях 3 – 15 км. Поэтому h_l может оказаться отрицательной. В этом случае следует учитывать влияние дифракции, вызываемой близлежащими естественными препятствиями.

Процедура для отрицательных значений h_l состоит в получении значения напряженности поля для $h_l = 0$, как описано в пункте П.12.3.2.2, и добавлении поправки C_{hl} , рассчитываемой приведенным ниже способом.

При наличии карты местности, и если потенциальная возможность перелома кривой при переходе $h_l = 0$ не имеет значения, угол просвета местности $\theta_{тса}$ необходимо рассчитать как угол места для линии, которая проходит над всеми препятствиями, удаленными на расстоянии не более 15 км от передатчика в направлении на приемную антенну, но не проходит за нее.

В таком случае поправка C_{hl} , дБ, добавляемая к напряженности поля, рассчитывается следующим образом:

$$C_{hl} = J(v') - J(v) \quad (\text{П.12.8})$$

где:

$$J(v) = \left[6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \right] \quad (\text{П.12.9})$$

$$v' = 0,036\sqrt{f} \quad (\text{П.12.10})$$

$$v = 0,065\theta_{\text{тса}}\sqrt{f} \quad (\text{П.12.11})$$

где: $\theta_{\text{тса}}$ – угол просвета местности, град. Данный угол должен быть ограничен так, чтобы он был не менее $+0,55^\circ$ или не более $+40,0^\circ$.

f – требуемая частота (МГц).

Если база данных о рельефе местности отсутствует или, если она имеется, но данный метод не должен привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_l = 0$, то положительный эффективный угол просвета местности $\theta_{\text{тса}}$ можно рассчитать в предположении наличия препятствия высотой h_l на расстоянии 9 км от передающей антенны. Следует отметить, что этот метод используется для трасс любой длины, даже если они короче 9 км. Другими словами, местность считают гладкой с единственным клиновидным препятствием высотой h_l на расстоянии 9 км. Этот метод не так явно учитывает изменения рельефа, зато гарантирует также отсутствие перелома кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_l = 0$. Поправка, которая добавляется к напряженности поля в этом случае, рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_{h_l} = 6,03 - J(v) \quad (\text{П.12.12})$$

где $J(v)$ определяется уравнением П.12.9 и:

$$v = K_v \theta_{\text{тса}}$$

где:

$$\theta_{\text{тса}} = \arctan(-h_l / 9\,000)$$

$K_v = 1,35$	– для 100 МГц
$K_v = 3,31$	– для 600 МГц
$K_v = 6,00$	– для 2000 МГц

Эту поправку, значение которой всегда меньше нуля, добавляют к значению напряженности поля, полученному для $h_l = 0$.

П.12.4. Интерполяция напряженности поля в зависимости от расстояния

Для повышения точности и для предоставления возможности использования компьютера для расчетов значения напряженности поля следует получать из соответствующих таблиц. В этом случае, если только d не совпадает с одним из табулированных расстояний, напряженность поля E , дБ (мкВ/м), необходимо линейно интерполировать по логарифму расстояния с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \log(d / d_{\text{inf}}) / \log(d_{\text{sup}} / d_{\text{inf}}) \quad (\text{П.12.13})$$

где

d – расстояние, для которого требуется прогнозирование, км;

d_{inf} – ближайшее расстояние по таблице, меньшее, чем d , км;

d_{sup} – ближайшее расстояние по таблице, большее, чем d , км;

E_{inf} – значение напряженности поля для d_{inf} ;

E_{sup} – значение напряженности поля для d_{sup} .

П.12.5. Интерполяция/экстраполяция поля в зависимости от частоты

Значения напряженности поля для требуемой частоты следует получать путем интерполяции между значениями для номинальных частот в 100, 600 и 2000 МГц.

Для сухопутных трасс, если требуемая частота выше 100 МГц, требуемая напряженность поля E рассчитывается следующим образом:

$$E = E_{mf} + (E_{sup} - E_{mf}) \log(f / f_{mf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad (\text{П.12.14})$$

где

f – частота, для которой требуется прогнозирование, МГц;

f_{inf} – нижняя номинальная частота (100 МГц при $f < 600$ МГц, в противном случае 600 МГц);

f_{sup} – верхняя номинальная частота (600 МГц при $f < 600$ МГц, в противном случае 2000 МГц);

E_{inf} – значение напряженности поля для f_{inf} ;

E_{sup} – значение напряженности для f_{sup} .

П.12.6. Интерполяция напряженности поля в зависимости от процента времени

Значения напряженности поля для заданного процента времени между 1% и 50% времени необходимо рассчитывать путем интерполяции между номинальными значениями для 1% и 10% или между номинальными значениями для 10% и 50% времени с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{sup} (I_{inf} - I_p) / (I_{inf} - I_{sup}) + E_{mf} (I_p - I_{sup}) / (I_{inf} - I_{sup}) \quad (\text{П.12.15})$$

где:

$$I_p = I_p (p/100);$$

$$I_{inf} = I_i (p_{inf}/100);$$

$$I_{sup} = I_i (p_{sup}/100);$$

p – процент времени, для которого требуется прогноз;

p_{inf} – нижний номинальный процент времени;

p_{sup} – верхний номинальный процент времени;

E_{inf} – значение напряженности поля для процента времени t_{inf} ;

E_{sup} – значение напряженности поля для процента времени t_{sup} ;

$I_i(x)$ – обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения (раздел П.12.14).

П.12.7. Поправка к высоте приемной (подвижной) антенны

Значения напряженности поля, даваемые кривыми, предназначены для эталонной приемной антенны, высота которой соответствует высоте подстилающей поверхности вокруг приемной антенны R , м. Примерами высоты эталонной антенны могут служить 20 м для городского района, 30 м для городского района плотной застройки и 10 м для пригородного района.

Если реальная высота приемной антенны h_2 отличается от указанных величин, то к напряженности поля добавляется соответствующая поправка K_H , дБ. Сначала необходимо учесть угол места падающего луча путем расчета модифицированной высоты R' , м, определяемой следующим выражением:

$$R' = (1\,000dR - 15h_1) / (1\,000d - 15) \quad (\text{П.12.16})$$

где h_1 и R выражено в м, а расстояние d в км.

Необходимо отметить, что $R' \approx R$ при $h_1 < 6,5d + R$.

При необходимости значение R' должно быть ограничено так, чтобы оно было не меньше 1 м.

Если приемная антенна находится в городском районе, то тогда поправка задается выражением, приведенном ниже.

для $h_2 < R'$:

$$K_H = 6,03 - J(v) \quad (\text{П.12.17})$$

для $h_2 \geq R'$

$$K_H = K_{h_2} \log(h_2 / R') \quad (\text{П.12.18})$$

где $J(v)$ определяется уравнением П.12.9 и:

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \lg(f)$$

$$v = 0,0108 \sqrt{h_{\text{dif}} \theta_{\text{clut}} f}$$

$$h_{\text{dif}} = R' - h_2$$

$$\theta_{\text{clut}} = \arctan(h_{\text{dif}} / 27)$$

где f – частота, МГц.

В городском районе в случаях, когда R' меньше 10 м, поправка, задаваемая уравнениями П.12.17 или П.12.18, должна быть уменьшена на $K_{h_2} \log(10/R')$.

Когда приемная антенна находится в сельском районе или в открытой местности, поправка задается уравнением П.12.18 для любых значений h_2 , установив R' равным 10 м.

П.12.8. Поправка для коротких трасс в городском или пригородном районах

Для городских и пригородных трасс необходимо учесть ослабление поля при распространение над застройкой. Для случая равновысотной застройки и отсутствия значительных перепадов рельефа соответствующая поправка, прибавляемая к значению напряженности поля K_b , дБ:

$$K_b = -3,3(\lg(f))(1 - 0,85 \lg(d))(1 - 0,46 \lg(1 + h_a - R)) \quad (\text{П.12.19})$$

где h_a – высота антенны над уровнем земли (т.е. высота мачты), м.

Поправка справедлива, когда d меньше 15 км и $h_1 - R$ меньше 150 м.

П.12.9. Поправка на угол просвета местности

Если требуется высокая точность для прогнозирования напряженности поля в небольшой зоне приема, можно ввести поправку на угол просвета

местности. Данная поправка, прибавляемая к значению напряженности поля, вычисляется по формуле П.12.8, причем за угол θ_{ica} принимается угол места для линии, проходящей над всеми препятствиями (рельефом) в направлении приемной антенны (но не выходит за нее) на расстоянии до 16 км. Причем угол θ_{ica} ограничен: не менее $+0,55^\circ$, не более $+40,0^\circ$.

Наличие цифровой карты местности в этом случае обязательно.

П.12.10. Поправка на изменение индекса рефракции

Кривые, используемые в данной модели, основаны на измерениях для умеренного климата. В регионах мира, где вертикальный градиент индекса рефракции атмосферы значительно отличается, напряженность поля в общем случае нельзя прогнозировать столь же точно.

Для введения поправок к кривым, чтобы их можно было применять в любом регионе мира, необходимо использовать приведенный ниже метод учета информации о вертикальном градиенте индекса рефракции из Рекомендации МСЭ-R P.453. В массивах данных в Рекомендации МСЭ-R P.453 градиенты индекса рефракции приведены в единицах $N/\text{км}$ для нижних 65 м атмосферы в виде отрицательных значений.

Для такой корректировки кривых принимают следующие опорные значения для градиента dN_0 :

Для полей, превышаемых в течение 50% времени: $dN_0 = -43,3$ ед. $N/\text{км}$.

Для полей, превышаемых в течение 10% времени: $dN_0 = -141,9$ ед. $N/\text{км}$.

Для полей, превышаемых в течение 1% времени: $dN_0 = -301,3$ ед. $N/\text{км}$.

Для корректировки семейства кривых напряженности поля в разных радиоклиматических регионах мира рассчитывают разность ΔN градиента следующим образом:

$$\Delta N = dN_0 - dN$$

где dN – градиент для конкретного региона, полученный для 50%, 10% и 1% времени соответственно.

dN_0 – опорный градиент для кривой, которая должна корректироваться.

Если dN меньше $-301,3$, то для любого расстояния d , км, к максимальному значению напряженности поля добавляется следующая поправка $\delta E_{\max}$, дБ:

$$\delta E_{\max} = 0,007(-301,3 - dN)\{1 - \exp(-d/50)\}\exp(-d/6000) \quad (\text{П.12.20})$$

Следует отметить, что в максимальные значения напряженности поля не вносятся никаких изменений, если dN больше или равно $-301,3$.

Масштабный коэффициент K рассчитывают с помощью следующего выражения:

для $\Delta N > 0$:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6}(1494 - \Delta N)^2$$

для $\Delta N \leq 0$:

$$K = 0,08 \Delta N$$

Для самой нижней кривой в корректируемом семействе, то есть для $h_1 = 10$ м, вносят поправку δE_1 , дБ, определяемую как:

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6000) \quad (\text{П.12.21})$$

При необходимости значение δE_1 должно быть ограничено следующим образом.

– δE_1 должно быть ограничено так, чтобы скорректированная напряженность поля не превышала откорректированного максимального значения напряженности поля.

– Если ΔN больше нуля, δE_1 должна быть ограничена так, чтобы разность между откорректированным максимальным значением напряженности поля и напряженностью поля для $h_1 = 10$ м не превышала эту разность для кривых без корректировки. Следует отметить, что это условие не должно использоваться при ΔN меньше нуля.

Напряженность поля для других значений h_1 корректируется так, чтобы она занимала то же относительное положение между максимальным значением напряженности поля и напряженностью поля для $h_1 = 10$ м, что и соответствующая напряженность поля на кривых без корректировки, с использованием следующего выражения:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1)(E'_{max} - E'_1)/(E_{max} - E_1) \quad (\text{П.12.22})$$

где:

E_1 – напряженность поля для $h_1 = 10$ м;

E_n – напряженность поля для значений h_1 больше 10 м;

E_{max} – максимальное значение напряженности поля.

Штрих обозначает скорректированные значения.

П.12.11. Поправка на заданный процент пунктов приема

Методы прогнозирования зоны покрытия предназначены для получения статистических данных об условиях приема в данной зоне, а не в той или иной точке. Интерпретация таких статистических данных зависит от размера рассматриваемой зоны.

Когда один терминал на трассе радиосигнала является стационарным, а другой перемещается, потери на трассе будут непрерывно меняться в зависимости от места в соответствии с совокупностью влияний на него. Такие влияния целесообразно подразделить на три основные категории:

Изменения многолучевости: изменения сигнала, возникающие в масштабе порядка длины волны за счет векторного сложения эффектов многолучевого распространения, например отражений от земной поверхности, зданий и т.д. Обычно статистика таких изменений, как установлено, подчиняется рэлеевскому распределению.

Местные изменения наземного покрова: изменения сигнала, возникающие за счет препятствий, создаваемых наземным покровом в непосредственной близости, например зданиями, деревьями и т.д., в масштабе, соответствующем размеру таких объектов. Масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем для изменений многолучевости.

Изменения трассы: изменения сигнала, которые возникают за счет изменения геометрии всей трассы распространения, например при наличии

холмов и т.п. Для всех трасс, кроме очень коротких, масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем при местных изменениях наземного покрова.

В Рекомендации МСЭ-Р 1546-4, как правило, изменчивость в зависимости от места относится к пространственной статистике местных изменений наземного покрова. Эти данные полезны для масштабов, существенно превышающих изменения наземного покрытия и в которых изменения трассы оказываются незначительными. Поскольку изменчивость в зависимости от места определяется без учета изменений многолучевости, то она не зависит от ширины полосы системы

Изменчивость в зависимости от места определяется по-разному. В одних случаях она определяется, как относящаяся к колебанию дополнительных потерь на трассе по всей зоне обслуживания передатчика, включая, таким образом, полное влияние рельефа местности, помимо дополнительного влияния местного экранирования. В других случаях она относится к колебанию потерь на трассе для всех точек, находящихся в определенном радиусе действия от передатчика. Третье определение относится к колебанию напряженности поля на небольшой территории, обычно представленной в виде квадрата со стороной от 500 м до 1 км.

Поскольку метод, представленный в Рекомендации МСЭ-Р 1546-4, включает поправку для h_2 , учитывающую окружающие условия (раздел П.12.7), и позволяет использовать угол просвета местности, зависящий от ее рельефа (раздел П.12.9), то существует риск двойного учета этого влияния при применении поправок на изменчивость в зависимости от места.

Представленный ниже метод позволяет осуществить оценку изменчивости в зависимости от места на территории небольшого района и подходит для случаев, когда угол просвета местности применяется для того, чтобы более точно определить местные медианные уровни напряженности поля.

В тех случаях, когда угол просвета местности не применяется, соответствующее значение изменчивости в зависимости от места будет выше и, как правило, будет изменяться пропорционально радиусу зоны обслуживания, поскольку учитывает широкое разнообразие рельефов местности и влияние местных препятствий.

Итак, напряженность поля E , дБ (мкВ/м), которая будет превышать для q % мест, определяется следующим образом:

$$E(q) = E(\text{медиана}) + I_i(q/100)\sigma_L(f) \quad (\text{П.12.23})$$

где:

$I_i(x)$ – обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения (раздел П.12.14);

σ_L – стандартное отклонение гауссовского распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне, дБ.

Значения стандартного отклонения зависят от частоты и среды. Репрезентативные значения для зон размером 500 м × 500 м определяются следующим выражением:

$$\sigma_L = K_\kappa + 1,6 \log(f) \quad (\text{П.12.24})$$

где:

$K = 1,2$ – для приемников, антенны которых расположены ниже высоты препятствия в городских условиях, а в пригородах для систем подвижной связи с ненаправленными антеннами на высоте крыши подвижного объекта;

$K = 1,0$ – для приемников с антеннами, расположенными на крышах домов, на высоте приблизительно равной высоте препятствия;

$K = 0,5$ – для приемников в сельской местности.

Частота f измеряется в ГГц.

Как отмечалось выше, если зона, к которой должна относиться изменчивость, больше 500 м × 500 м или если речь идет об изменчивости, относящейся ко всем зонам в заданном интервале, а не об изменениях внутри отдельной зоны, значение σ_L оказывается больше. При этом изменчивость в зависимости от места возрастает (в отношении значений для небольших районов) не более чем на 4 дБ для радиуса в 2 км и не более чем на 8 дБ – для радиуса в 50 км.

Процент мест q может меняться от 1 до 99.

П.12.12. Поправка на тропосферное рассеяние

Существует вероятность того, что рассчитанная напряженность поля занижена, поскольку не было полностью учтено тропосферное рассеяние.

В случае наличия информации о рельефе местности необходимо рассчитать поправку на тропосферное рассеяние, прибегнув к следующей процедуре.

Рассчитывается угол рассеяния на трассе в градусах θ_s , используя формулу:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \quad (\text{П.12.25})$$

где:

θ_{eff} – угол просвета местности терминала h_1 в градусах, рассчитанный с использованием метода из раздела П.12.3.2.3 для случая, когда карта местности имеется, и если потенциальная возможность перелома кривой при переходе $h_1 = 0$ не имеет значения, независимо от того, какое значение имеет h_1 , положительное или отрицательное (градусы);

θ – угол просвета местности терминала h_2 в градусах, рассчитанный как показано в пункте П.12.9, имея в виду, что это угол места относительно местной горизонтали в градусах;

d – длина трассы, км;

a – радиус Земли, 6370 км;

k – эффективный коэффициент радиуса Земли для медианных условий рефракции, 4/3.

Если θ_s меньше нуля, устанавливается, что θ_s равно нулю.

Рассчитывается напряженность поля, спрогнозированная для тропосферного рассеяния, E_{ps} , дБ (мкВ/м), с использованием формулы:

$$E_{ps} = 24,4 - 20 \log(d) - 10 \theta_s - L_f + 0,15 N_0 + G_p \quad (\text{П.12.26})$$

где:

L_f – потери, зависящие от частоты;

$$L_f = 5 \log(f) - 2,5[\log(f) - 3,3]^2$$

N_0 – рефракция медианной поверхности, в единицах N , типичных для измерений в умеренном климате, равна 325;

G_p – усиление в зависимости от времени;

$$G_p = 10,1[-\log(0,02p)]^{0,7}$$

f – требуемая частота, МГц;

p – требуемый процент времени.

П.12.13. Дополнительные коэффициенты

В случае нахождения приемника внутри здания может быть использована поправка на проникновение сигнала внутрь здания, определяемая в соответствии с П.13.2.9.

Для учета дополнительных потерь сигнала, связанных с его распространением в условиях железнодорожной инфраструктуры, могут использоваться следующие поправочные коэффициенты.

Для диапазона 150 МГц:

$K_{КС}$ – поправка, учитывающая влияние контактной сети на распространение радиосигнала, рассчитываемая в соответствии с пунктом 8.2.6.;

$K_{Э}$ – поправка, учитывающая ослабление напряженности поля вследствие экранирования, рассчитываемая в соответствии с пунктом 8.2.3.

Поправка, учитывающая организацию радиосвязи с носимыми радиосредствами, рассчитываемая в соответствии с пунктом 8.2.9.

Для диапазонов 460 и 900 МГц:

K_M – поправка на мелкомасштабные флуктуации сигнала, определяемая по интегральным функциям распределения уровня сигнала в зависимости от требуемой надежности радиосвязи. Интегральные функции распределения, соответствующие конкретному типу железнодорожного участка (род тяги, количество железнодорожных путей), должны быть получены экспериментальным путем. На рисунках П.12.1 приведены интегральные функции распределения уровней сигналов в диапазонах 460 МГц (для системы стандарта TETRA) и 900 МГц (для системы стандарта GSM-R), соответствующие двухпутным железнодорожным участкам с односторонним размещением опор контактной сети и тягой постоянного тока.

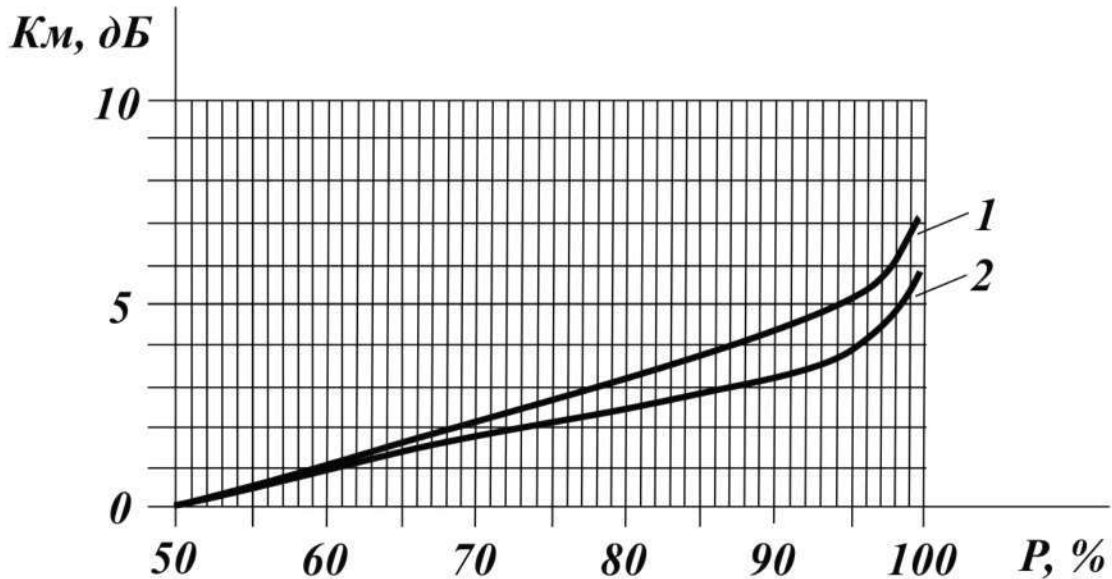


Рис. П.12.1. Интегральные функции распределения уровня сигнала в ЦСТР.
1 – TETRA, 2 – GSM-R

Необходимость использования описанных в данном пункте поправок и их конкретный набор должны определяться экспертом, выполняющим частотно-территориальное планирование радиосетей в зависимости от требуемой точности расчетов и имеющихся исходных данных.

Поправки вводятся в правую часть уравнения П.12.1.

П.12.14. Аппроксимация для обратной дополнительной функции кумулятивного нормального распределения

Приведенная далее аппроксимация обратной дополнительной функции кумулятивного нормального распределения действительна для $0,000001 \leq x \leq 0,999999$ и дает ошибку не более 0,00054.

Функция $I(x)$ определяется выражением для $0,000001 \leq x \leq 0,5$:

$$I(x) = T(x) - \xi(x) \quad (\text{П.12.27})$$

и симметрично для $0,5 < x \leq 0,999999$:

$$I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad (\text{П.12.28})$$

где:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1}$$

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$D_1 = 1.432788$$

$$D_2 = 0.189269$$

$$D_3 = 0.001308$$

П.12.15. Процедура применения данной модели

Приведенная ниже пошаговая процедура описывает основные этапы использования данной модели, порядок внесения поправок и проведения расчетов.

- 1) Расчет h_1 и E_{max} .
- 2) Определение номиналов процентов времени p :
 если $p = 50\%$ или $p = 10\%$, или $p = 1\%$, то номинал один ($p = 50\%$ или $p = 10\%$, или $p = 1\%$ соответственно);
 если $10\% < p < 50\%$, то номиналов два: $p_{inf} = 10\%$ – нижний номинал, $p_{sup} = 50\%$ – верхний номинал;
 если $1\% < p < 10\%$, то номиналов два: $p_{inf} = 1\%$ – нижний номинал, $p_{sup} = 10\%$ – верхний номинал.
- 3) Определение номиналов частот (f):
 если частота $f = 100$ или $f = 600$, или $f = 2000$ МГц, то номинал один ($f = 100$ МГц или $f = 600$ МГц, или $f = 2000$ МГц соответственно);
 если f не равна 100 МГц или 600 МГц, или 2000 МГц, то:
 если $f < 600$ МГц, то номиналов два: $f_{inf} = 100$ МГц – нижний номинал, $f_{sup} = 600$ МГц – верхний номинал;
 если $f > 600$ МГц, то номиналов два: $f_{inf} = 600$ МГц – нижний номинал, $f_{sup} = 2000$ МГц – верхний номинал.
- 4) Определение номиналов высот антенны базовой станции (h_1):
 если h_1 равно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600; 1200 м, то это значение и является единственным номиналом;
 если h_1 не равно ни одному из значений, указанных выше, то:
 если $h_1 > 600$ м, то номиналов два: $h_{inf} = 600$ м – нижний номинал, $h_{sup} = 1200$ м – верхний номинал;
 если $10 \text{ м} < h_1 < 600 \text{ м}$, то h_{inf} – ближайшее к h_1 и меньшее h_1 значение из указанных выше значений; h_{sup} – ближайшее к h_1 и большее h_1 значение из указанных выше значений;
 если $h_1 < 10 \text{ м}$, то номиналы частот не определяются (п. П.12.3.2.2 и п. П.12.3.2.3).
- 5) Определение номиналов расстояний:
 если d равно одному из значений, указанных в таблице П.12.1, то это значение и является единственным номиналом.
 если d не равно ни одному значению из таблицы П.12.1, то нижний номинал d_{inf} – ближайшее к d и меньшее d значение из таблицы П.12.1; верхний номинал d_{sup} – ближайшее к d и большее d значение из таблицы П.12.1.
- 6) Для p_{inf} выполняют с п. 7 по п. 14.
- 7) Для f_{inf} выполняют шаги с п. 8 по п. 12.
- 8) Для h_{inf} выполняют шаги с п. 9 по п. 10.

Таблица П.12.1.

Номиналы расстояний, км			
1	14	55	140
2	15	60	150
3	16	65	160
4	17	70	170
5	18	75	180
6	19	80	190
7	20	85	200
8	25	90	225
9	30	95	250
10	35	100	275
11	40	110	300
12	45	120	325
13	50	130	350

9) Для d_{inf} определяют значение напряженности поля E_{inf} .

Если dN (градиент индекса рефракции) для данной местности для данного процента времени отличается от указанного в таблице П.12.2, то для корректировки полученного значения напряженности необходимо использовать метод из раздела П.12.10.

- Таблица П.12.2.

процент времени p , %	градиент индекса рефракции dN_0 , ед. $N/\text{км}$
- 50	- -43,3
- 10	- -141,9
- 1	- -301,3

10) Для d_{sup} аналогично d_{inf} определяют значение напряженности поля E_{sup} . Затем интерполируют значение напряженности по расстоянию.

11) Для h_{sup} определяют значение напряженности поля E_{sup} (с п. 8 по п. 10). Затем интерполируют/экстраполируют значение напряженности по высоте антенны базовой/передающей станции.

12) При необходимости результат ограничивают E_{max} .

13) Для f_{sup} определяют значение напряженности поля E_{sup} (с п. 8 по п. 12). Затем интерполируют/экстраполируют значение напряженности по частоте.

14) При необходимости результат ограничивают E_{max} .

15) Для p_{sup} определяют значение напряженности поля E_{sup} (с п. 7 по п. 14). Затем интерполируют по проценту времени.

16) Если требуется ввести поправку на угол просвета местности (и имеется ЭКМ), то данная поправка рассчитывается в соответствии с П.12.9 для приемной/подвижной антенны.

- 17) Если имеется ЭКМ, то в соответствии с П.12.12 рассчитывается E_{ps} .
- 18) Корректируется напряженность поля в соответствии с П.12.7.
- 19) Если трасса пригородная или городская, то в соответствии с П.12.8 рассчитывается поправка:
- $$K_b = -3,3(\log(f))(1 - 0,85\log(d))(1 - 0,46\log(1 + h_a - R))$$
- где R определяется для передающей антенны в м.
- 20) Если процент мест надежного приема радиосигнала q отличается от 50%, то в соответствии с П.12.11 корректируется значение напряженности поля.
- 21) При необходимости результат ограничивают E_{max} .
- 22) Рассчитывается u_2 по П.12.1. Затем при необходимости вносятся дополнительные поправки (раздел П.12.13).

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН, ОСНОВАННАЯ НА ДЕТАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

Данная модель основана на Рекомендациях МСЭ-Р 1812-2 и 526-12.

Метод прогнозирования параметров распространения радиоволн, описанный в данном разделе, рекомендуется для детальной оценки уровней сигнала и пригоден для линий связи с наземными системами радиосвязи «из пункта в зону» в полосах частот УВЧ и ОВЧ. Он предсказывает уровень сигнала (т.е. напряженность электрического поля), превышаемый в течение данного процента времени среднего года p в пределах $1 \% \leq p \leq 50 \%$ и для процента мест размещения p_L в пределах $1 \% \leq p_L \leq 99 \%$.

Этот метод сначала описывает расчет основных потерь передачи (дБ), которые не превышаются в течение процента времени p для среднего числа местоположений. Затем выполняется статистическое описание элементов, определяемых изменением местоположения и потерь на проникновение в здания для мест размещения приемников. Затем выполняется процедура приведения к напряженности электрического поля дБ (мкВ/м) для эффективно излучаемой мощности, равной 1 кВт.

Для приведения полученной в результате расчетов напряженности поля к уровню сигнала на входе приемника (напряжению) необходимо использовать формулу П.12.1. В случае необходимости, «железнодорожные» поправки вводятся так, как это описано в разделе П.12.13.

Этот метод предназначен главным образом для систем, использующих антенны с малым усилением. Однако на изменение точности при использовании антенн с высоким коэффициентом усиления влияет только один элемент из всего метода – тропосферное рассеяние, и изменение прогнозов достаточно мало. Например, даже если на обоих концах линии будут использоваться антенны с усилением 40 дБи, завышение оценки сигналов тропосферного рассеяния составит всего лишь около 1 дБ.

Метод пригоден для прогнозирования распространения сигналов систем радиосвязи, в которых используются наземные линии связи длиной от 0,25 км до примерно 3000 км, когда оба терминала располагаются не выше 3 км над уровнем земли.

П.13.1. Формирование исходных данных

П.13.1.1. Базовые исходные данные

В таблице П.13.1 описаны базовые исходные данные, которые определяют точки размещения терминалов, частоту и процент времени и мест размещения, для которого требуется прогнозирование.

Широта и долгота двух станций указывается как базовые исходные данные на основании того, что они необходимы для определения профиля

земной поверхности. Радиометеорологические параметры должны быть представлены для одного места трассы распространения, и для дальних трасс в качестве такой точки должна быть выбрана середина трассы. Если выполняется прогнозирование области покрытия передатчика, то вполне разумно использовать радиометеорологические параметры для точки размещения передатчика.

Базовые исходные данные

Таблица П.13.1.

Параметр	Единицы измерения	Мин.	Макс.	Описание
f	ГГц	0,03	3,0	Частота (ГГц)
p	%	1,0	50,0	Процент времени среднего года, в течение которого превышает рассчитанный уровень сигнала
p_L	%	1	99	Процент мест размещения, в которых превышает рассчитанный уровень сигнала
Φ_t, Φ_r	градусы	-80	+80	Широта передатчика, приемника
Ψ_t, Ψ_r	градусы	-180, 0	180,0	Долгота передатчика, приемника (положительные значения – на восток от Гринвича)
h_{tg}, h_{rg}	м	1	3 000	Высота центра антенны над уровнем земли

П.13.1.2. Профиль земной поверхности

Для применения данного метода прогнозирования параметров распространения требуется профиль земной поверхности трассы передачи радиосигнала. В принципе, он состоит из трех массивов, каждый из которых имеет одинаковое число n следующих значений:

d_i (d_i – расстояние от передатчика до i -той точки профиля, км);

h_i (h_i – высота i -той точки профиля над уровнем моря, м);

$g_i = h_i +$ типовая высота препятствия в i -той точки профиля, м;

где: $i = 1, 2, 3 \dots n$ – это номер точки профиля;

n – общее число точек профиля.

Первой точкой профиля является передатчик. Следовательно, $d_1 = 0$, а h_1 равно высоте земной поверхности в точке размещения передатчика (в метрах над уровнем моря). Аналогично, n -ой точкой профиля является приемник. Следовательно, d_n – протяженности трассы в км, а h_n равно высоте земной поверхности в точке размещения приемника (в метрах над уровнем моря). Интервалы между точками не обязательно, но желательно, чтобы были одинаковыми.

Значения типовой высоты для различных видов препятствий представлено в таблице П.13.2. Данные значения типовых высот препятствий следует использовать только тогда, когда нет более точных данных о препятствиях. Вообще, типовая высота препятствия не всегда соответствует физической высоте препятствия. Например, там, где

препятствия расположены на значительном расстоянии друг от друга, сигнал между препятствиями может распространяться и вдоль поверхности Земли. В таком случае типовая высота препятствия может быть снижена. С другой стороны, даже в районах, классифицируемых как «открытые» существуют дополнительные потери, поэтому может быть уместным в таких случаях принимать не нулевую высоту препятствий, а присваивать ей малые значения.

Типовая высота препятствий

Таблица П.13.2

Типы препятствий	Типовая высота препятствия (м)		Модель расчета потерь на препятствии
	Добавить к высоте профиля по формуле для g_i	Потери на препятствии в П.13.2.7	
Открытая/сельская местность	0	10	Уравнение П.13.117
Пригород	10	10	Уравнение П.13.116
Городские кварталы/отдельные деревья/лес	15	15	Уравнение П.13.116
Плотная городская застройка	20	20	Уравнение П.13.116

П.13.1.3. Метеорологические параметры

В процедуре прогнозирования для описания изменения рефракции атмосферы требуются радиометеорологические параметры:

ΔN (N -единиц/км), средняя вертикальная скорость изменения градиента рефракции в нижнем километре атмосферы, она представляет собой данные, на основе которых может быть рассчитан соответствующий эффективный радиус Земли для выполнения анализа профиля трассы и препятствий на трассе. Отметим, что в этой процедуре ΔN принимает положительные значения.

N_0 (N -единицы), преломляющая способность поверхности на уровне моря, используется только в модели тропосферного рассеяния в качестве меры изменчивости механизма тропосферного рассеяния.

Значения ΔN и N_0 приведены в Рекомендации МСЭ-R P.453.

П.13.1.4. Климатические зоны для радиосвязи

Необходимы также данные о том, в каких климатических зонах, которые описаны в таблице П.13.3, находятся точки профиля трассы.

Климатические зоны для радиосвязи

Таблица П.13.3

Тип зоны	Код	Определение
Побережье	A1	Побережье и береговые зоны, т.е. суша, граничащая с морем на высоте до 100 м относительно среднего уровня морской воды, на расстоянии до 50 км от ближайшего моря. Там, где нет данных с точностью 100 м, может использоваться примерное значение.
Территория, удаленная от моря	A2	Вся суша, за исключением побережья и береговых зон, определенных выше, как "побережье".

П.13.1.5. Распространение по атмосферному волноводу

Степень, до которой будут увеличены уровни сигналов из-за аномального распространения, в частности, по атмосферному волноводу, оценивается параметром β_0 (%), процентом времени, в течение которого можно ожидать, что в нижних 100 м атмосферы вертикальные скорости изменения коэффициента рефракции превышают значение 100 N-единиц/км. Значение β_0 рассчитывается следующим образом.

Рассчитать параметр μ_1 :

$$\mu_1 = \left(10^{\frac{-d_{tm}}{16-6,6\tau}} + 10^{-5(0,496+0,354\tau)} \right)^{0,2} \quad (\text{П.13.1})$$

где величина μ_1 должна ограничиваться значениями $\mu_1 \leq 1$. При этом параметр τ рассчитывается по формуле:

$$\tau = 1 - e^{-\left(4,12 \cdot 10^{-4} \sqrt{d_{tm}^{2,41}}\right)} \quad (\text{П.13.2})$$

где: d_{tm} – наиболее продолжительная непрерывная сухопутная часть трассы (территория, удаленная от моря + побережье) по дуге большого круга (км);

d_{lm} – наиболее продолжительная непрерывная сухопутная часть трассы по дуге большого круга (км), пролегающая по территории, удаленной от моря.

Для получения значений d_{tm} и d_{lm} должны использоваться климатические зоны для радиосвязи, определенные в таблице П.13.3. Если все точки трассы находятся на расстоянии, как минимум, 50 км от моря или других больших водоемов, то используется только категория «территория, удаленная от моря», и значения d_{tm} и d_{lm} равны длине трассы d .

Рассчитать параметр μ_4 , который зависит от μ_1 и от географической широты середины трассы в градусах:

$$\begin{aligned} \mu_4 &= \mu_1^{(-0,935+0,017\phi)} & \text{для } |\phi| \leq 70^\circ \\ \mu_4 &= \mu_1^{0,3} & \text{для } |\phi| > 70^\circ \end{aligned} \quad (\text{П.13.3})$$

где: ϕ – географическая широта середины трассы (град).

Необходимо рассчитать β_0 :

$$\beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\varphi| + 1,67} \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{для } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4,17 \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{для } |\varphi| > 70^\circ \end{cases} \quad (\text{П.13.4})$$

П.13.1.6. Эффективный земной радиус

Средний коэффициент k_{50} эффективного радиуса Земли для трассы определяется уравнением:

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N} \quad (\text{П.13.5})$$

Среднее значение эффективного радиуса Земли a_e , км, определяется выражением:

$$a_e = 6371 k_{50} \quad (\text{П.13.6})$$

Средняя эффективная кривизна Земли равна c_e :

$$c_e = 1/a_e \quad (\text{П.13.7})$$

Эффективный радиус Земли a_β , км, превышаемый в течение времени β_0 , определяется выражением:

$$a_\beta = 6371 \cdot k_\beta \quad (\text{П.13.8})$$

где $k_\beta = 3,0$ – оценка коэффициента эффективного радиуса Земли, превышаемого в течение времени β_0 .

П.13.1.7. Получение необходимых параметров из профиля трассы

В таблице П.13.4 перечислены параметры, используемые или полученные в ходе анализа профиля трассы.

Таблица П.13.4

Определение параметров профиля трассы

Параметр	Описание
a_e	Эффективный радиус Земли (км)
d	Расстояние по дуге большого круга (км)
d_{ii}	Длина интервала для профиля трассы с равномерно распределенными точками (км)
f	Частота (ГГц)
λ	Длина волны (м)
h_{ts}	Высота антенны передатчика над средним уровнем моря (м над уровнем моря)
h_{rs}	Высота антенны приемника над средним уровнем моря (м над уровнем моря)
θ_t	Условный угол возвышения передатчика по отношению к собственной горизонтали
θ_r	Условный угол возвышения приемника по отношению к собственной горизонтали
θ	Угловое расстояние трассы (мрад)
h_{st}	Высота гладкой Земной поверхности в месте размещения передающей станции (м над уровнем моря)

Параметр	Описание
h_{sr}	Высота гладкой Земной поверхности в месте размещения приемной станции (м над уровнем моря)
h_i	Высота i -той точки земной поверхности (м над уровнем моря) h_1 – высота земной поверхности в точке размещения передатчика h_n – высота земной поверхности в точке размещения приемника
h_m	Неровность земной поверхности (м)
h_{te}	Эффективная высота передающей антенны (м)
h_{re}	Эффективная высота приемной антенны (м)

П.13.1.7.1. Классификация трассы

Профиль трассы может быть либо линией прямой видимости, либо загоризонтной линией, что определяется расчетом углов места терминалов.

Наибольший угол возвышения θ_{tim} , для промежуточных точек относительно местной горизонтали у передатчика:

$$\theta_{tim} = \max \left[\frac{h_i - h_s}{d_i} - \frac{500d_i}{a_e} \right] \quad (\text{П.13.9})$$

где i меняется от 2 до $n-1$.

Угол места приемника, как его видно от передатчика, считая, что трасса является линией прямой видимости, θ_{tr} , равен:

$$\theta_{tr} = \frac{h_s - h_n}{d} - \frac{500d}{a_e} \quad (\text{П.13.10})$$

Если $\theta_{tim} < \theta_{tr}$, то трасса является линией прямой видимости. В этом случае:

$$\begin{aligned} \theta_i &= \theta_{tr} \\ \theta_r &= -\theta_{tr} - \frac{1000d}{a_e} \end{aligned}$$

Если $\theta_{tim} \geq \theta_{tr}$, то трасса загоризонтная. В таком случае:

$$\theta_i = \theta_{tim} \quad (\text{П.13.11})$$

Наибольший угол возвышения θ_{rim} , для промежуточных точек относительно местной горизонтали у приемника:

$$\theta_{rim} = \max \left[\frac{h_i - h_n}{d - d_i} - \frac{500(d - d_i)}{a_e} \right] \quad (\text{П.13.12})$$

где i меняется от 2 до $n-1$.

И тогда:

$$\theta_r = \theta_{rim} \quad (\text{П.13.13})$$

Все углы измеряются в мрад.

П.13.1.7.2. Угловое расстояние трассы

Угловое расстояние трассы θ , мрад, определяется по следующей формуле:

$$\theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_i + \theta_r \quad (\text{П.13.14})$$

П.13.1.7.3. Протяженность трассы

Метод требует длину трассы d , км, которая доступна из профиля трассы:

$$d = d_n$$

Также может оказаться полезным определение длины трассы исходя из координат конечных устройств. Для этого необходимо сделать следующее.

Вычислить разность долгот между конечными устройствами Δ_{lon} , град, по формуле:

$$\Delta_{lon} = \psi_r - \psi_l$$

Рассчитать величину r :

$$r = \sin(\varphi_l)\sin(\varphi_r) + \cos(\varphi_l)\cos(\varphi_r)\cos(\Delta_{lon})$$

Вычислить длину трассы как угол, стянутый в центре средними радиусами Земли:

$$\phi_d = \arccos(r)$$

Определить большую дугу длины трассы d_{gc} , км:

$$d_{gc} = \phi_{drad} R_e \quad (\text{П.13.15})$$

где ϕ_{drad} есть ϕ_d в радианах, а R_e – это радиус Земли (6371 км).

При этом:

$$d = d_{gc}$$

П.13.1.7.4. Расстояние прямой видимости для передающей антенны d_{lt} и приемной антенны d_{lr}

Расстояние прямой видимости для передающей (приемной) антенны – это расстояние от передатчика (приемника) до промежуточной точки с наибольшим углом возвышения относительно передатчика (приемника).

$$d_{lt} = d_{imax} \quad (\text{П.13.16})$$

$$d_{lr} = d - d_{jmax} \quad (\text{П.13.17})$$

где: d_{imax} – расстояние от передатчика до промежуточной точки с наибольшим углом возвышения относительно передатчика, км;

d_{jmax} – расстояние от передатчика до промежуточной точки с наибольшим углом возвышения относительно приемника, км.

Для открытой трассы:

$$d_{lr} = d - d_{lt} \quad (\text{П.13.18})$$

П.13.1.7.5. Модель гладкой земной поверхности

Гладкая земная поверхность определяется на основании профиля для расчета эффективных высот антенн.

Стоит заметить, что на данном этапе уже желательно выбрать метод расчета дифракционного затухания (по методу Буллингтона или по методу расчета дифракционного затухания над изолированными препятствиями), так как эффективная высота антенн для дифракционной модели необходима только для метода Буллингтона.

Определение гладкой земной поверхности

Выполним линейную аппроксимацию высот земной поверхности над средним уровнем моря по формуле:

$$h_{si} = h_{st} + m \cdot d_i$$

где: h_{si} – высота (в м над уровнем моря) поверхности, подобранной по методу наименьших квадратов, в точке, находящейся на расстоянии d_i , км, от передатчика;

h_{st} – высота (в м над уровнем моря) гладкой земной поверхности в месте расположения передатчика;

m – наклон (в м/км) поверхности, подобранной по методу наименьших квадратов, относительно уровня моря.

Для следующих двух этапов расчетов существуют альтернативные методы. Если точки профиля распределены равномерно, могут использоваться уравнения П.13.19 и П.13.21. Если точки профиля распределены неравномерно, могут использоваться уравнения П.13.20 и П.13.22. Причем уравнения П.13.20 и П.13.22 могут использоваться в любых случаях.

Для профилей с равномерно распределенными точками:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_a) \left(d_i - \frac{d}{2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(d_i - \frac{d}{2} \right)^2} \quad (\text{П.13.19})$$

где m измеряется в м/км.

Для любых профилей:

$$m = \left(\frac{1}{d^3} \right) \sum_{i=2}^n 3 (d_i - d_{i-1}) (d_i + d_{i-1} - d) (h_i + h_{i-1} - 2h_a) + (d_i - d_{i-1})^2 (h_i - h_{i-1}) \quad (\text{П.13.20})$$

где m измеряется в м/км.

где: h_i – реальная высота i -той точки земной поверхности, м над уровнем моря;

h_a – среднее значение реальных высот трассы (в м над уровнем моря) от h_1 до h_n включительно. h_a для профилей с равномерно распределенными точками:

$$h_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{П.13.21})$$

h_a для любых профилей среднее значение вычисляется по формуле:

$$h_a = \left(\frac{1}{2d} \right) \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1}) (h_i + h_{i-1}) \quad (\text{П.13.22})$$

Теперь необходимо вычислить высоту гладкой земной поверхности в точке размещения передатчика h_{st} , м, используя выражение:

$$h_{st} = h_a - m \frac{d}{2} \quad (\text{П.13.23})$$

Отсюда высота гладкой земной поверхности в точке размещения приемной станции h_{sr} , м, определяется выражением:

$$h_{sr} = h_{st} + m \cdot d \quad (\text{П.13.24})$$

Эффективные высоты антенн для дифракционной модели

В случае определения дифракционных потерь по методу, изложенному в П.13.2.3 расчеты, представленные в данном подразделе, можно опустить.

Необходимо найти высоту самого большого препятствия над прямой линией, соединяющей передатчик с приемником, h_{obs} , м, и горизонтальные углы возвышения α_{obt} , α_{obr} , мрад, все в соответствии с геометрией плоской Земли:

$$h_{obs} = \max \{h_{obi}\}$$

$$\alpha_{obt} = \max \{h_{obi}/d_i\}$$

$$\alpha_{obr} = \max \{h_{obi}/(d - d_i)\}$$

где:

$$h_{obi} = h_i - [h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i]/d$$

Причем индекс i принимает значения от 2 до $n-1$.

Необходимо рассчитать предварительные высоты гладкой поверхности на передающем и приемном концах трассы.

Если, h_{obs} , меньше или равно нулю, тогда:

$$h_{stp} = h_{st}$$

$$h_{srp} = h_{sr}$$

в противном случае:

$$h_{stp} = h_{st} - h_{obs}g_t$$

$$h_{srp} = h_{sr} - h_{obs}g_r$$

где:

$$g_t = \alpha_{obt}/(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})$$

$$g_r = \alpha_{obr}/(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})$$

где h_{stp} , h_{srp} , g_t , g_r измеряются в м.

Теперь необходимо вычислить окончательные значения высот гладкой поверхности на передающем и приемном концах трассы.

Если h_{stp} больше h_1 , то:

$$h_{std} = h_1$$

В противном случае:

$$h_{std} = h_{stp}$$

Если h_{srp} больше, чем h_n , тогда:

$$h_{srd} = h_n$$

В противном случае:

$$h_{srd} = h_{srp}$$

Значения эффективных высот передающей и приемной антенн (в м) соответственно определяется по формулам:

$$h_{te} = h_{rs} - h_{std} \quad (\text{П.13.25})$$

$$h_{re} = h_{rs} - h_{std} \quad (\text{П.13.26})$$

Параметры для модели распространения по атмосферному волноводу и за счет отражения от слоев атмосферы

Высоты гладкой поверхности на передающем и приемном концах h_{str} , м, и h_{srr} , м, требуемые для определения коэффициента неровности земной поверхности, вычисляются по формулам:

$$h_{str} = \min (h_{st}, h_1)$$

$$h_{srr} = \min (h_{sr}, h_n)$$

Если какое-либо значение h_{str} или h_{srr} или оба они оказались не равны h_{st} или h_{sr} соответственно, то необходимо скорректировать наклон m , м/км, гладкой земной поверхности:

$$m = \frac{h_{srr} - h_{str}}{d}$$

Эффективные высоты терминалов h_{te} , м, и h_{re} , м, описываются выражениями:

$$h_{te} = h_{tg} + h_1 - h_{st} \quad (\text{П.13.27})$$

$$h_{re} = h_{rg} + h_n - h_{sr} \quad (\text{П.13.28})$$

Параметр неровности земной поверхности h_m – это максимальная высота земли над гладкой земной поверхностью на участке трассы между точками горизонта (включая эти точки), м:

$$h_m = \max_{i=i_{lt}}^{i_{lr}} [h_i - (h_{st} + m \cdot d_i)] \quad (\text{П.13.29})$$

где: i_{lt} – номер точки профиля на расстоянии d_{lt} от передатчика;
 i_{lr} – номер точки профиля на расстоянии d_{lr} от приемника.

П.13.2. Процедура прогнозирования

П.13.2.1. Распространение по линии прямой видимости (с учетом кратковременных явлений)

Основные потери передачи в свободном пространстве L_{bfs} , дБ, определяются выражением:

$$L_{bfs} = 92,44 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{П.13.30})$$

Корректировки E_{sp} , дБ, и $E_{s\beta}$, дБ, учитывающие влияние многолучевости и фокусировки в течение p и β_0 процентов времени, соответственно, описываются выражениями:

$$E_{sp} = 2.6 \left(1 - e^{-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}} \right) \log \left(\frac{p}{50} \right) \quad (\text{П.13.31})$$

$$E_{s\beta} = 2.6 \left(1 - e^{-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}} \right) \log \left(\frac{\beta_0}{50} \right) \quad (\text{П.13.32})$$

Основные потери передачи по линии прямой видимости (вне зависимости от того, является ли трасса в действительности трассой прямой видимости) L_{b0p} , дБ, которые не превышаются в течение процента времени p можно рассчитать следующим образом:

$$L_{b0p} = L_{bfs} + E_{sp} \quad (\text{П.13.33})$$

Рассчитаем основные потери передачи по линии прямой видимости (вне зависимости от того, является ли трасса в действительности трассой прямой видимости) $L_{b0\beta}$, дБ, которые не превышаются в течение процента времени β_0 , можно рассчитать следующим образом:

$$L_{b0\beta} = L_{bfs} + E_{s\beta} \quad (\text{П.13.34})$$

П.13.2.2. Распространение за счет дифракции: метод Буллингтона

Этот метод позволяет оценивать потери вследствие дифракции для трасс всех типов, включая трассы над морем, над побережьем или над территорией, удаленной от моря, независимо от того, является ли трасса гладкой или пересеченной, загоризонтной или прямой видимости. Дифракционное затухание определяется на основании комбинации двух методов: конструкции Буллингтона и дифракции за счет сферичности Земли. В данном методе для аппроксимации потерь применяется следующая функция от безразмерного параметра v :

$$J(v) = 6,9 + 20 \cdot \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \quad (\text{П.13.35})$$

Следует отметить, что $J(-0,78) \approx 0$, и значение $v = -0,78$ является нижним пределом, когда еще может использоваться аппроксимация. Для $v \leq -0,78$ значение функции $J(v)$ устанавливается равным нулю.

П.13.2.2.1. Потери из-за дифракции

Потери из-за дифракции, L_d , дБ, не превышаемые в течение процента времени p , вычисляются по формуле:

$$L_d = L_{dba} + \max \{ L_{dsph} - L_{dbs}, 0 \} \quad (\text{П.13.36})$$

где:

L_{dsph} – дифракционные потери из-за сферичности Земли, дБ,

L_{dba} – потери из-за дифракции для реального профиля трассы, дБ,

L_{dbs} – потери из-за дифракции для гладкого профиля трассы, дБ.

П.13.2.2.2. Дифракционные потери из-за сферичности Земли

Дифракционные потери из-за сферичности Земли, не превышаемые в течение процента времени p , рассчитываются описанным ниже способом.

Необходимо рассчитать предельную длину линии прямой видимости для гладкого профиля (в км):

$$d_{los} = \sqrt{2a_e} \cdot (\sqrt{0.001h_{te}} + \sqrt{0.001h_{re}}) \quad (\text{П.13.37})$$

Если $d \geq d_{los}$, то необходимо рассчитать потери из-за дифракции, используя метод из подраздела П.13.2.2.3, приняв $a_{dft} = a_e$, чтобы получить L_{dft} , затем примите L_{dsph} равным L_{dft} . Дальнейшие расчеты дифракционных потерь из-за сферичности Земли в данном случае не нужны.

В противном случае необходимо продолжить следующим образом.

Требуется вычислить просвет h , м, по формуле:

$$h = \frac{\left(h_{te} - 500 \frac{d_1^2}{a_e}\right)d_2 + \left(h_{re} - 500 \frac{d_2^2}{a_e}\right)d_1}{d} \quad (\text{П.13.38})$$

где:

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b)$$

$$d_2 = d - d_1$$

$$b = 2\sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right\}$$

Причем d_1, d_2 измеряются в км.

где функция $\arccos$ возвращает угол в радианах:

$$c = \frac{h_{te} - h_{re}}{h_{te} + h_{re}}$$

$$m = \frac{250d^2}{a_e(h_{te} + h_{re})}$$

Затем вычисляется просвет для нулевых потерь из-за дифракции, h_{req} , м, по формуле:

$$h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2 \cdot \lambda}{d}} \quad (\text{П.13.39})$$

Если $h > h_{req}$, то потери из-за дифракции вследствие сферичности Земли L_{dsph} равны нулю. Дальнейшие расчеты дифракционного затухания из-за сферичности Земли не нужны.

В противном случае необходимо продолжить следующим образом:

Вычисляется измененный эффективный радиус Земли (в км):

$$a_{em} = 500 \left(\frac{d}{\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}}} \right)^2 \quad (\text{П.13.40})$$

Используя метод из подраздела П.13.2.2.3, приняв $a_{dft} = a_{em}$, необходимо получить L_{dft} .

Если L_{dft} отрицательный, то потери из-за дифракции вследствие сферичности Земли L_{dsph} равны нулю, и в дальнейших расчетах ослабления из-за дифракции вследствие сферичности Земли нет необходимости.

В противном случае потери из-за дифракции вследствие сферичности Земли вычисляются с использованием метода интерполяции:

$$L_{dsph} = [1 - h/h_{req}] L_{dft} \quad (\text{П.13.41})$$

П.13.2.2.3. Первый член ряда, описывающего потери из-за дифракции вследствие сферичности Земли

В этом подразделе приводится метод для вычисления потерь из-за дифракции вследствие сферичности Земли, использующий только первый член остаточного ряда. Метод является частью общего дифракционного метода, описанного выше в подразделе П.13.2.2.2, и необходим для получения первого члена ряда, описывающего потери из-за дифракции, L_{dft} , при данном значении эффективного радиуса Земли a_{dft} . Использование значения a_{dft} определено в подразделе П.13.2.2.2.

Пусть для суши $\varepsilon_r = 22$ и $\sigma = 0,003$ См/м (в случае, если имеются данные, в большей степени соответствующие реальным параметрам почвы вдоль линии трассы, необходимо использовать их). Тогда вычисляется L_{dft} , используя уравнения от П.13.42 до П.13.52.

Нормировочные коэффициенты полной проводимости поверхности для горизонтальной (K_H) и вертикальной поляризаций (K_V) определяются по формулам:

$$K_H = 0.036 (a_{dft} f)^{-1/3} [(\varepsilon_r - 1)^2 + (18\sigma/f)^2]^{-1/4} \quad (\text{П.13.42})$$

$$K_V = K_H [\varepsilon_r^2 + (18\sigma/f)^2]^{1/2} \quad (\text{П.13.43})$$

Необходимо рассчитать параметр почва Земли/поляризация (параметр, который учитывает, как характер и свойства почвы влияют на распространение радиоволны с определенной поляризацией):

$$\beta = \frac{1 + 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4} \quad (\text{П.13.44})$$

где $K - K_H$ или K_V в зависимости от типа поляризации.

Нормализованное расстояние равно:

$$X = 21.88 \beta \left(\frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d \quad (\text{П.13.45})$$

Нормализованные высоты передатчика и приемника:

$$Y_t = 0.9575 \beta \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{te} \quad (\text{П.13.46})$$

$$Y_r = 0.9575 \beta \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{re} \quad (\text{П.13.47})$$

Необходимо рассчитать член остаточного ряда, учитывающий нормализованное расстояние:

$$F_X = \begin{cases} 11 + 10 \log(X) - 17.6X & \text{для } X \geq 1.6 \\ -20 \log(X) - 5.6488X^{1.425} & \text{для } X < 1.6 \end{cases} \quad (\text{П.13.48})$$

Необходимо определить функцию нормализованной высоты по формуле:

$$G(Y) = \begin{cases} 17.6(B-1.1)^{0.5} - 5 \log(B-1.1) - 8 & \text{для } B > 2 \\ 20 \log(B + 0.1B^3) & \text{в других случаях} \end{cases} \quad (\text{П.13.49})$$

где:

$$B = \beta Y \quad (\text{П.13.50})$$

Необходимо ограничить $G(Y)$ так, чтобы:

$$G(Y) \geq 2 + 20 \log K \quad (\text{П.13.51})$$

Первый член ряда, описывающего потери из-за дифракции вследствие сферичности Земли (в дБ), находится по формуле:

$$L_{\text{дф}} = -F_X - G(Y_r) - G(Y_t) \quad (\text{П.13.52})$$

П.13.2.2.4. Определение затухания из-за дифракции методом Буллингтона для реального профиля

Затухание из-за дифракции для реального профиля методом Буллингтона вычисляется следующим образом.

В следующих уравнениях наклоны вычисляются в м/км относительно линии, соединяющей точку, располагающуюся на уровне моря на передающем конце, с точкой, располагающейся на уровне моря на приемном конце.

Необходимо найти промежуточную точку профиля с самым большим наклоном линии от передатчика к точке:

$$S_{\text{им}} = \max \left[\frac{h_i + 500c_e d_i (d - d_i) - h_{ts}}{d_i} \right] \quad (\text{П.13.53})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

Вычислите наклон линии от передатчика к приемнику, предполагая, что трасса является линией прямой видимости:

$$S_{tr} = \frac{h_{ts} - h_{tr}}{d} \quad (\text{П.13.54})$$

Два случая должны быть рассмотрены.

Случай 1. Трасса является линией прямой видимости при эффективной кривизне Земли, не превышаемой в течение процента времени p .

Если $S_{\text{им}} < S_{tr}$, то трасса – линия прямой видимости.

Найдите промежуточную точку профиля с самым большим параметром дифракции v :

$$v_{\text{max}} = \max \left\{ \left[h_i + 500c_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{tr} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\} \quad (\text{П.13.55})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

В этом случае затухание $L_{\text{дбк}}$, дБ, определяется по формуле:

$$L_{\text{дбк}} = J(v_{\text{max}}) \quad (\text{П.13.56})$$

где функция J определяется так, как это описано выше.

Случай 2. Трасса является загоризонтной при эффективной кривизне Земли, не превышаемой в течение процента времени p .

Если $S_{tim} \geq S_{tr}$, то трасса загоризонтная.

Найдите промежуточную точку профиля с самым большим наклоном линии от приемника к точке:

$$S_{rim} = \max \left[\frac{h_i + 500c_e d_i (d - d_i) - h_{tr}}{d - d_i} \right] \quad (\text{П.13.57})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

Вычислите следующее расстояние (в км):

$$d_b = \frac{h_{rs} - h_{ts} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad (\text{П.13.58})$$

Рассчитайте параметр дифракции, v_b :

$$v_b = \left[h_{ts} + S_{tim} d_b - \frac{h_{ts} (d - d_b) + h_{rs} d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_b (d - d_b)}} \quad (\text{П.13.59})$$

В этом случае затухание L_{dbk} , дБ, определяется по формуле:

$$L_{dbk} = J(v_b) \quad (\text{П.13.60})$$

где функция J определяется так, как это описано выше.

Продолжение для обоих случаев.

Для расчета L_{dbk} используйте или уравнение П.13.56, или П.13.60, и, таким образом, потери из-за дифракции на реальной трассе по методу Буллингтона (в дБ) определяются по формуле:

$$L_{dba} = L_{dbk} + [1 - \exp(-L_{dbk}/6)](10 + 0.2d) \quad (\text{П.13.61})$$

П.13.2.2.5. Определение затухания из-за дифракции методом Буллингтона для гладкого профиля

В этом разделе вычисляется затухание из-за дифракции методом Буллингтона для профиля трассы, имеющего промежуточные точки в таких же местах, что и реальный профиль, но со всеми высотами рельефа местности, приравненными нулю. Высоты передатчика и приемника выше этого «гладкого» профиля и обозначаются как h_{te} и h_{re} соответственно.

Итоговые потери из-за затухания L_{abs} вычисляются следующим образом.

В следующих уравнениях наклоны вычисляются в м/км относительно линии, соединяющей точку, располагающуюся на уровне моря на передающем конце, с точкой, располагающейся на уровне моря на приемном конце.

Необходимо найти промежуточную точку профиля с самым большим наклоном линии от передатчика к точке:

$$S_{rim} = \max \left[\frac{h_i + 500c_e d_i (d - d_i) - h_{te}}{d_i} \right] \quad (\text{П.13.62})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

Вычислите угол возвышения приемника:

$$S_{tr} = \frac{h_{re} - h_{te}}{d} \quad (\text{П.13.63})$$

Будут рассмотрены два случая.

Случай 1. Трасса является линией прямой видимости при эффективной кривизне Земли, не превышаемой в течение процента времени p .

Если $S_{tim} < S_{tr}$, то трасса – линия прямой видимости.

Найдите промежуточную точку профиля с самым большим параметром дифракции v :

$$v_{\max} = \max \left\{ \left[\frac{500d_i(d-d_i)}{a_e} - \frac{h_e(d-d_i)+h_{re}d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i(d-d_i)}} \right\} \quad (\text{П.13.64})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

Затем необходимо определить затухание L_{dbk} , дБ:

$$L_{dbk} = J(v_{\max}) \quad (\text{П.13.65})$$

где функция J определяется так, как это описано выше.

Случай 2. Трасса является загоризонтной при эффективной кривизне Земли, не превышаемой в течение процента времени p .

Если $S_{tim} \geq S_{tr}$, то трасса загоризонтная.

Необходимо найти промежуточную точку профиля с самым большим наклоном линии от приемника к точке:

$$S_{rim} = \max \left[\frac{500d_i}{a_e} - \frac{h_{re}}{d-d_i} \right] \quad (\text{П.13.66})$$

где индекс точки профиля i принимает значения от 2 до $n-1$.

Вычислите расстояние (в км):

$$d_b = \frac{h_{re}-h_{te}+S_{rim}d}{S_{tim}+S_{rim}} \quad (\text{П.13.67})$$

Рассчитайте параметр дифракции, v_b :

$$v_b = \left[h_{te} + S_{tim}d_b - \frac{h_e(d-d_b)+h_{re}d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b(d-d_b)}} \quad (\text{П.13.68})$$

В этом случае затухание L_{dbk} , дБ, определяется по формуле:

$$L_{dbk} = J(v_b) \quad (\text{П.13.69})$$

где функция J определяется по так, как это описано выше.

Потери из-за дифракции по методу Буллингтона для гладкой трассы (в дБ) рассчитываются по формуле:

$$L_{dbs} = L_{dbk} + [1 - \exp(-L_{dbk}/6)](10 + 0.2d) \quad (\text{П.13.70})$$

П.13.2.2.6. Потери за счет дифракции, не превышаемые в течение процента времени p .

Пусть $L_{d50} = L_d$, вычисленное по формуле П.13.36 (или с помощью метода, представленного в П.13.2.3).

Если $p = 50$, то $L_{dp} = L_{d50}$ и дальнейшие расчеты потерь дифракции не нужны.

Если p меньше 50, то расчеты необходимо продолжить следующим образом.

Используя метод, изложенный в П.13.2.2 (или метод из П.13.2.3), необходимо вычислить L_d для эффективного радиуса Земли a_β , определенного по формуле П.13.8. Пусть рассчитанное L_d для процента времени β_0 будет именоваться $L_{d\beta}$.

Применение двух возможных значений коэффициента эффективного радиуса Земли регулируется при помощи коэффициента интерполяции F_i на основе логнормального распределения потерь из-за дифракции в диапазоне $\beta_0 < p \leq 50$, %.

Если $p = 50\%$, то

$$F_i = 0 \quad (\text{П.13.71})$$

Если $50\% > p > \beta_0\%$, то:

$$F_i = \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad (\text{П.13.72})$$

Если $\beta_0\% \geq p$, то:

$$F_i = 1 \quad (\text{П.13.73})$$

где $I(x)$ – это обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение в зависимости от вероятности x . Аппроксимация зависимости $I(x)$, которая может уверенно использоваться для $x \leq 0,5$, приведена в разделе П.13.2.12.

Теперь необходимо получить потери за счет дифракции L_{dp} , дБ, которые не превышаются в течение процента времени p , используя выражение:

$$L_{dp} = L_{d50} + (L_{d\beta} - L_{d50}) F_i \quad (\text{П.13.74})$$

Средние основные потери передачи (в дБ), обусловленные дифракцией L_{bd50} , определяются выражением:

$$L_{bd50} = L_{bfs} + L_{d50} \quad (\text{П.13.75})$$

где L_{bfs} определяется из формулы П.13.30.

Основные потери передачи (в дБ), обусловленные дифракцией, которые не превышаются в течение процента времени p , определяются выражением:

$$L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad (\text{П.13.76})$$

где L_{b0p} определяется по формуле П.13.33.

П.13.2.3. Потери за счет дифракции над изолированными препятствиями

В случае наличия на трассе изолированных препятствий вместо метода Буллингтона применяется данный метод (он описан в Рекомендации МСЭ-R 526-12).. После получения дифракционных потерь L_d необходимо выполнить процедуру, изложенную в П.13.2.2.6.

В данном методе принимается, что препятствие имеет идеализированную форму: они являются либо клиновидными пренебрежимо малой толщины, либо объемными гладкими объектами с хорошо обозначенным радиусом кривизны в вершине.

В тех случаях, когда прямая трасса между терминалами намного короче дифракционной трассы, необходимо рассчитать дополнительные потери передачи, обусловленные увеличением длины трассы.

П.13.2.3.1. Понятие изолированного препятствия

Препятствие можно считать изолированным, если между самим препятствием и окружающей местностью нет никакого взаимодействия. Т.е. ослабление на трассе обусловлено лишь препятствием без какого-либо воздействия от остальной местности. Должны выполняться следующие условия:

- отсутствует перекрытие между значениями ширины области полутени, связанными с каждым терминалом и вершиной препятствия;
- просвет трассы с обеих сторон препятствий должен быть не менее 0,6 от радиуса первой зоны Френеля;
- по обеим сторонам препятствия отсутствует какое-либо зеркальное отражение.

Ширина области полутени.

Переход от света к тени определяется областью полутени (рисунок П.13.1). Этот переход происходит вдоль узкой полоски (ширина области полутени) на границе геометрической тени. Ширина области полутени W , м, определяется как:

$$W = \left[\frac{\lambda a_e^2}{\pi} \right]^{1/3}$$

где:

λ – длина волны, м;

a_e – эффективный радиус Земли, м.

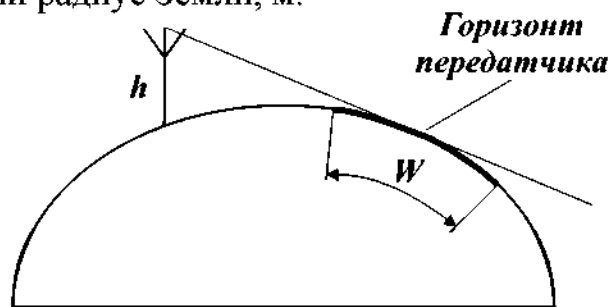


Рис. П.13.1. Ширина области полутени.

Эллипсоиды и зоны Френеля.

При исследовании распространения радиоволн между двумя точками A и B пространство между ними можно разбить на семейство эллипсоидов, известных как эллипсоиды Френеля, фокусы которых находятся в точках A и B , и для любой точки M на каждом эллипсоиде выполняется соотношение:

$$AM + MB = AB + n \frac{\lambda}{2}$$

где n – целое число, характеризующее эллипсоид ($n = 1$ соответствует первому эллипсоиду Френеля и т. д.), а λ – длина волны.

Радиус эллипсоида R_n , м, в точке между передатчиком и приемником может быть определен как:

$$R_n = 550 \left[\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2) f} \right]^{1/2} \quad (\text{П.13.77})$$

где f – частота, МГц

d_1 и d_2 – расстояния от передатчика и приемника до точки, в которой вычисляется радиус эллипсоида, км.

Зоны Френеля получаются в результате пересечения семейства эллипсоидов плоскостью. Зона с номером n является участком между кривыми, полученными от n -го и $(n - 1)$ -го эллипсоидов.

П.13.2.3.2. Единичное клиновидное препятствие

В абсолютно идеальном случае все геометрические параметры входят в один безразмерный параметр, обозначаемый ν , который можно вычислить по различным эквивалентным формулам в зависимости от выбранных (или известных) геометрических параметров:

$$\nu = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (\text{П.13.78})$$

$$\nu = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}} \quad (\text{П.13.79})$$

ν имеет тот же знак, что h и θ :

$$\nu = \sqrt{\frac{2 h \theta}{\lambda}} \quad (\text{П.13.80})$$

ν имеет тот же знак, что α_1 и α_2 :

$$\nu = \sqrt{\frac{2 d}{\lambda} \cdot \alpha_1 \alpha_2} \quad (\text{П.13.81})$$

где: h – высота препятствия над прямой линией, соединяющей два конца трассы, если вершина препятствия ниже этой линии, то h отрицательна, км;

λ – длина волны, км;

d_1, d_2 – расстояния от вершины препятствия до передающего и приемного концов трассы соответственно, км;

d – длина трассы, км;

θ – угол дифракции (предполагается, что его значение меньше 0,2), рад;

α_1, α_2 – углы между линией, соединяющей два конца трассы, и линией, соединяющей вершину препятствия с соответствующим концом трассы, рад.

Знак у $\theta, \alpha_1, \alpha_2$ такой же, как и у h .

На рисунках П.13.2, а и П.13.2, б представлены все вышеперечисленные геометрические параметры трассы.

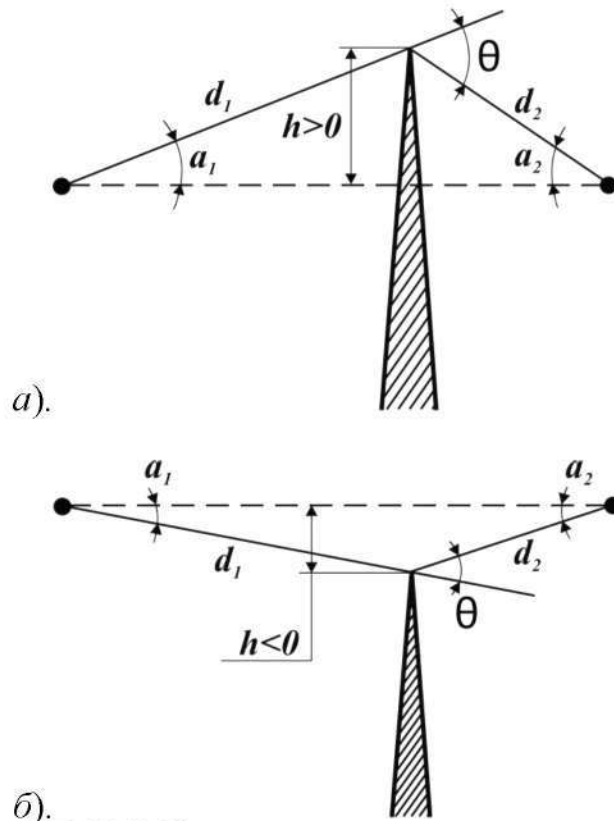


Рис. П.13.2. Геометрические параметры трассы, на которой имеется единичное клиновидное препятствие.

Дифракционные потери за счет единичного клиновидного препятствия L_d , дБ, равны:

$$L_d = J(v) \quad (\text{П.13.82})$$

где функция $J(v)$ определена так, как это указано в формуле П.13.35. В случае, если v меньше $-0,78$, L_d равно нулю.

П.13.2.3.3. Единичное закругленное препятствие

Геометрические параметры трассы, на которой имеется закругленное препятствие радиуса R , представлены на рисунке П.13.3. Стоит заметить, что h , d_1 , d_2 вычисляются по отношению к точке, в которой пересекаются проекции лучей, проводимых от концов трассы по касательной к закругленному препятствию.

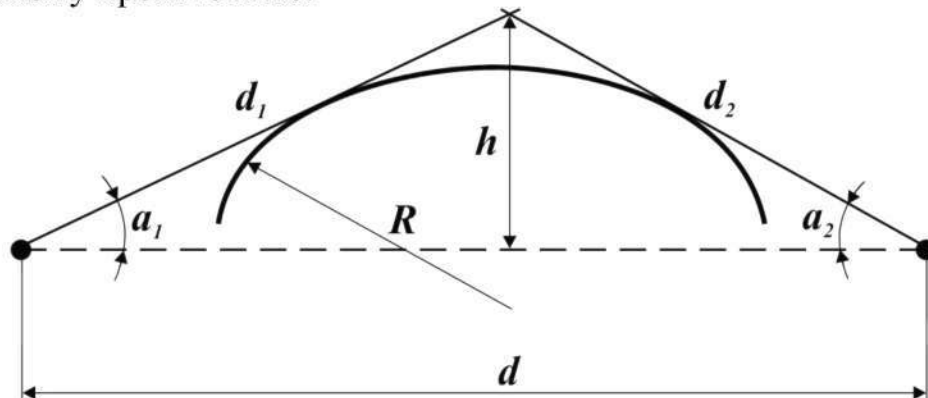


Рис. П.13.3. Геометрические параметры трассы, на которой имеется закругленное препятствие.

В таком случае дифракционные потери L_d , дБ, определяются по формуле:

$$L_d = J(v) + T(m, n) \quad (\text{П.13.83})$$

где: $J(v)$ – потери Френеля-Кирхгофа за счет эквивалентного клиновидного препятствия, вершина которого совпадает с точкой пересечения проекций лучей, параметр v можно рассчитать с помощью любого из уравнений П.13.78 – П.13.81, дБ;

$T(m, n)$ – дополнительные потери, обусловленные кривизной препятствия, дБ.

Для $mn \leq 4$ потери $T(m, n)$ равны:

$$T(m, n) = 7,2m^{1/2} - (2 - 12,5n)m + 3,6m^{3/2} - 0,8m^2$$

Для $mn > 4$ потери $T(m, n)$ равны:

$$T(m, n) = -6 - 20 \log(mn) + 7,2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3,6m^{3/2} - 0,8m^2$$

где:

$$m = R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \bigg/ \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3}$$

$$n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} \bigg/ R$$

Причем R , d_1 , d_2 , h и λ выражены в км.

Радиус кривизны препятствия соответствует радиусу кривизны в вершине параболы, приближенной к профилю препятствия поблизости от его вершины. При подгонке параболы максимальное расстояние по вертикали от вершины параболы, которое следует использовать в рассматриваемой процедуре, должно быть порядка радиуса первой зоны Френеля, где расположено данное препятствие. Пример этой процедуры показан на рисунке П.13.4, где:

$$y_i = \frac{x_i^2}{2r_i}$$

а r_i – радиус кривизны, соответствующий элементу i -го вертикального профиля горного хребта. В случае N элементов медианный радиус кривизны препятствия определяется как:

$$r = \frac{1}{N} \sum_1^N \frac{x_i^2}{2y_i} \quad (\text{П.13.84})$$

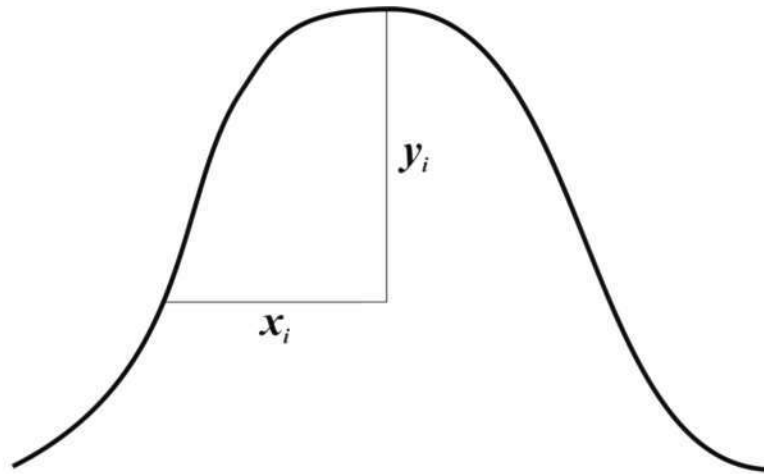


Рис. П.13.4. Вертикальный профиль препятствия.

П.13.2.3.4. Двойные изолированные препятствия

В случае, когда на трассе имеется два изолированных препятствия, теорию дифракции над одиночным препятствием можно применить последовательно к двум препятствиям. Тогда вершина первого препятствия действует как источник для дифракции над вторым препятствием (см. рисунок П.13.5). На первой дифракционной трассе, определяемой расстояниями a и b и высотой h'_1 , создаются потери L_1 , дБ. На второй дифракционной трассе, определяемой расстояниями b и c и высотой h'_2 , потери составляют L_2 , дБ. L_1 и L_2 вычисляются по формулам, приведенным в разделе П.13.2.3.2. Для учета разноса между кромками препятствий вводится поправочный коэффициент L_c , дБ, который определяется по следующей формуле:

$$L_c = 10 \log \left[\frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \right] \quad (\text{П.13.85})$$

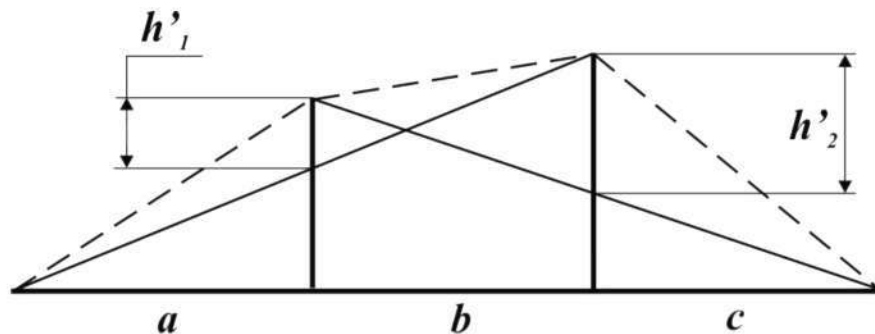


Рис. П.13.5. Вертикальный профиль препятствия.

Формула справедлива, когда каждая из величин L_1 и L_2 превышает приблизительно 15 дБ. Тогда полные дифракционные потери определяются как:

$$L = L_1 + L_2 + L_c \quad (\text{П.13.86})$$

Когда одна из кромок препятствий оказывает преобладающее влияние (рисунок П.13.6), первая дифракционная трасса определяется расстояниями a и $b+c$, и высотой h_1 . Вторая дифракционная трасса определяется расстояниями b и c и высотой h'_2 .

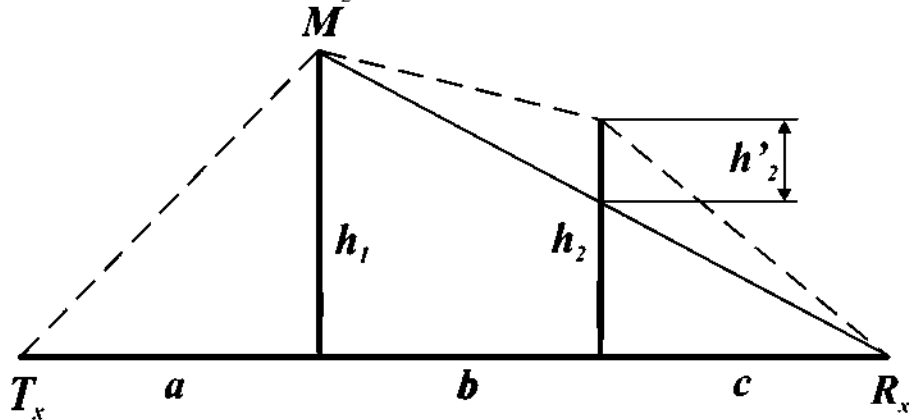


Рис. П.13.6. Трасса с основным и второстепенным препятствием.

Большее отношение h/r определяет основное препятствие М, где h – это высота кромки препятствия относительно прямой трассы $T_x R_x$, как показано на рисунке П.13.6, а r – радиус первого эллипсоида Френеля, рассчитываемый по уравнению П.13.77. Далее для вычисления потерь, вносимых вторым препятствием на субтрассе MR_x , используется высота h'_2 этого второго препятствия. Для учета разнесения между двумя кромками препятствий, а также их высоты, необходимо отнять поправочный член T_c , дБ. Величина T_c может быть определена по следующей формуле:

$$T_c = \left[12 - 20 \log_{10} \left(\frac{2}{1 - \frac{a}{\pi}} \right) \right] \left(\frac{q}{p} \right)^{2p} \quad (\text{П.13.87})$$

где:

$$p = \left[\frac{2}{\lambda} \frac{(a+b+c)}{(b+c)a} \right]^{1/2} h_1$$

$$q = \left[\frac{2}{\lambda} \frac{(a+b+c)}{(a+b)c} \right]^{1/2} h_2$$

$$\tan \alpha = \left[\frac{b(a+b+c)}{ac} \right]^{1/2}$$

h_1 и h_2 – высоты кромок препятствий относительно прямой трассы передатчик – приемник.

Общие дифракционные потери определяются как:

$$L = L_1 + L_2 - T_c \quad (\text{П.13.88})$$

Этот метод применим и в случае закругленных препятствий, если использовать формулы, приведенные в разделе П.13.2.3.4.

При вычислении поправок T_c и L_c все значения углов выражаются в радианах, а высот и расстояний – в км.

П.13.2.3.5. Несколько изолированных препятствий

В данном методе при расчете потерь из-за дифракции над пересеченной местностью, на которой имеется несколько препятствий при распространении в пределах прямой видимости, предполагается, что каждое препятствие можно представить в виде цилиндра, радиус которого равен радиусу кривизны на вершине препятствия.

Используются массивы со значениями h_i и d_i (описаны в разделе П.13.1.2). Кроме того, в данном разделе используется следующее обозначение:

d_{ij} – расстояние от i -й до j -й точки.

Во-первых, производится анализ профиля по методу «натянутой веревки». На данном этапе определяются точки элементов профиля, которых будет касаться «веревка», натянутая над профилем от передатчика к приемнику.

В изложенной ниже процедуре все значения высот и расстояний выражены в км, а все углы даны в радианах. В данном методе используются некоторые приближения, справедливые для радиотрасс, образующих небольшие углы с горизонталью. Если градиенты луча на трассе превышают 5° , то может быть оправдано применение более точной геометрии.

Определение параметров идеализированных препятствий.

Каждая точка «веревки» идентифицируется в виде точки профиля с более высоким углом места относительно локальной горизонтали по сравнению с предыдущей точкой «веревки», если начать с одного конца профиля и закончить на другом. Со стороны точки s , возвышение i -го элемента профиля ($i > s$) определяется как:

$$e = \frac{h_i - h_s}{d_{si}} - \frac{d_{si}}{2a_e} \quad (\text{П.13.89})$$

где a_e – эффективный радиус Земли.

Для элементов профиля с расстояниями разнесения 250 м или менее любая группа точек «веревки», являющаяся последовательными элементами профиля, отличными от местоположений передатчика или приемника, должна рассматриваться в качестве одного препятствия.

Теперь каждое препятствие моделируется в виде цилиндра, как показано на рисунке П.13.7. Геометрия каждого отдельного цилиндра соответствует рисунку П.13.3. Стоит отметить, что расстояния s_{11} , s_{21} , s_{12} , s_{22} , s_{13} , s_{23} определяются между вершинами препятствий. Для лучей, углы которых относительно горизонтали больше 5° , эти расстояния следует определять между точками пересечения соответствующих лучей.

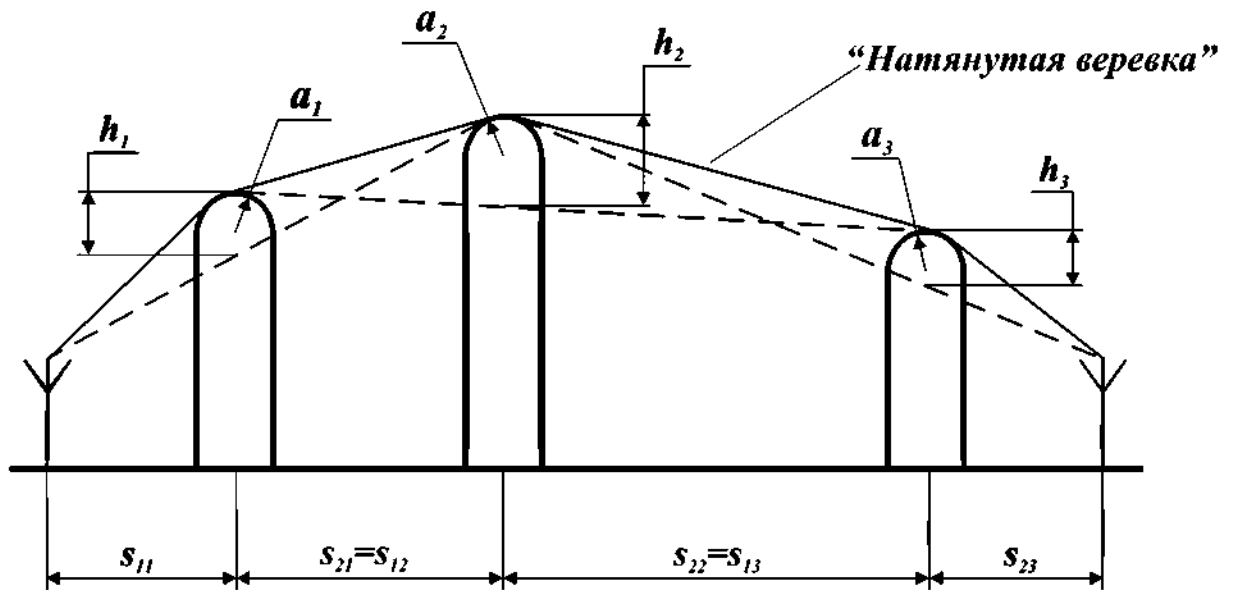


Рис. П.13.7. Метод «каскада цилиндров».

Аналогичным образом на рисунке П.13.7 высота h каждого цилиндра определяется по вертикали от его вершины вниз до прямой линии, соединяющей соседние вершины или терминалы. Но опять же, для лучей с углами более 5° необходимо рассчитать значения h под прямыми углами к базовой линии соответствующего цилиндра.

На рисунке П.13.8 показана геометрия для препятствия, состоящего из более, чем одной точки на «веревке». Стоит отметить, что точки w и z являются либо терминалами, либо крайними точками «веревки», не относящимися непосредственно к препятствию, а v – точка вершины, образованной пересечением падающих лучей над препятствием.

Буквы w , x , y и z служат также индексами для массивов элементарных расстояний и высот профиля. Стоит заметить, что для каскада цилиндров точки y и z одного цилиндра будут точками w и x следующего и т. д.

Ниже представлен расчет параметров препятствия для углов приблизительно 5° .

$$d_{wy} = \frac{d_{wx} + d_{wy}}{2} \quad (\text{П.13.93})$$

Расстояние от точки z до вершины будет равно:

$$d_{vz} = d_{wz} - d_{wy} \quad (\text{П.13.94})$$

Высота вершины над уровнем моря тоже зависит от того, представлено ли препятствие одним элементом профиля или несколькими.

Для препятствия, представленного одной точкой:

$$h_v = h_x$$

Для многоточечного препятствия:

$$h_v = d_{wy}\alpha_w + h_w + \frac{d_{wy}^2}{2a_e}$$

В таком случае:

$$h = h_v + \frac{d_{wy}d_{vz}}{2a_e} - \frac{h_w d_{vz} + h_z d_{wy}}{d_{wz}} \quad (\text{П.13.95})$$

Для расчета **радиуса цилиндра** используются два следующих элементарных участка профиля:

p – точка, соседняя с x со стороны передатчика.

q – точка, соседняя с y со стороны приемника.

Таким образом, индексы p и q можно представить следующим образом:

$$p = x - 1$$

$$q = y + 1$$

Если точка, определяемая p или q , окажется терминалом, то соответствующее значение h будет высотой рельефа местности в этой точке, а не высотой антенны над уровнем моря.

Радиус цилиндра вычисляется по формуле

$$R = (d_{pq}/t)(1 - e^{-4v})^3 \quad (\text{П.13.96})$$

где:

$$t = \frac{h_x - h_p}{d_{px}} + \frac{h_y - h_q}{d_{yq}} - \frac{d_{pq}}{a_e}$$

$$d_{px} = d_x - d_p$$

$$d_{yq} = d_q - d_y$$

$$d_{pq} = d_p - d_q$$

a_e – эффективный радиус Земли.

v – безразмерный параметр в уравнении П.13.83 для клиновидного препятствия.

Стоит отметить, что t выражается в радианах.

Второй множитель в уравнении П.13.96 – это сглаживающая функция, используемая для того, чтобы избежать неоднородностей для препятствий, находящихся на грани пределов прямой видимости.

Расчет потерь на трассе.

Общие дифракционные потери L_d , дБ, можно представить как:

$$L_d = \sum_{i=1}^N L'_i + L''(w \ x)_1 + \sum_{i=1}^N L''(y \ z)_i - 20 \log C_N \quad (\text{П.13.97})$$

где:

L'_i – потери за счет дифракции над i -м цилиндром, вычисленные с помощью метода из раздела П.13.2.3.3;

$L''(w \ x)_1$ – дифракционные потери на субтрассе для участка трассы между точками w и x первого цилиндра;

$L''(y \ z)_i$ – дифракционные потери на субтрассе для участка трассы между точками y и z всех цилиндров;

C_N – поправочный коэффициент, учитывающий потери на рассеяние за счет дифракции над последовательно расположенными цилиндрами.

Дифракционные потери на субтрассах должны вычисляться для каждого участка всей трассы между точками w и x или y и z . Это участки трассы, расположенные между препятствиями или между препятствием и терминалом и находящиеся в пределах прямой видимости.

Для участка профиля в пределах прямой видимости, расположенного между элементами профиля с индексами u и v , необходимо найти элемент профиля, лежащий между u и v , который затеняет большую часть первой зоны Френеля для луча, распространяющегося от u к v .

Для того чтобы избежать выбора точки, которая по существу является частью одного из наземных препятствий, уже смоделированного в виде цилиндра, часть профиля между u и v ограничивают участком между двумя дополнительными индексами p и q , которые задаются следующим образом:

положим, что $p = u + 1$;

если одновременно $p < v$ и $h_p > h_{p+1}$, то следует увеличить p на 1 и повторить все сначала;

положим $q = v - 1$;

если одновременно $q > u$ и $h_q < h_{q-1}$, то следует уменьшить q на 1 и повторить.

Если $p = q$, то считаем, что потери за счет препятствия на субтрассе равны 0. В противном случае необходимо выполнить следующую процедуру.

Необходимо найти минимальное значение нормированного просвета на трассе C_F :

$$C_F = \frac{\min}{i=p}^q [(h_z)_i / (F_1)_i] \quad (\text{П.13.98})$$

где h_z – высота луча над точкой профиля, м:

$$(h_z)_i = (h_r)_i - (h_t)_i$$

F_1 – радиус первой зоны Френеля, м:

$$(F_1)_i = \sqrt{\lambda \cdot d_m \cdot d_n / d_{mn}}$$

$(h_r)_i$ – высота луча над прямой линией, соединяющей точки u и v на уровне моря в i -й точке профиля, определяемая как:

$$(h_r)_i = \frac{h_u d_{iv} - h_v d_{ui}}{d_{uv}}$$

$(h_r)_i$ – высота местности над прямой линией, соединяющей точки u и v на уровне моря в i -й точке профиля, определяемая как:

$$(h_r)_i = h_i + \frac{d_{ui} d_{iv}}{2a_e}$$

Минимальное нормированное значение просвета используется для расчета геометрического параметра дифракции над клиновидным препятствием для наиболее существенного препятствия на субтрассе:

$$v = -C_P \cdot \sqrt{2} \quad (\text{П.13.99})$$

Значение дифракционных потерь L'' на субтрассе теперь получают из уравнения П.13.35.

Для некоторых применений может быть нежелательно учитывать увеличения дифракции на субтрассе. Тогда следует установить значение L'' равным нулю, если в противном случае оно стало бы отрицательным.

Поправочный коэффициент C_N рассчитывается по формуле:

$$C_N = \sqrt{(P_a/P_b)} \quad (\text{П.13.100})$$

где:

$$P_a = s_{11} \left(\prod_{i=1}^N s_{2i} \right) \left(s_{11} + \sum_{j=1}^N s_{2j} \right)$$

$$P_b = s_{11} s_{2N} \prod_{i=1}^N (s_{1i} + s_{2i})$$

П.13.2.4. Распространение за счет тропосферного рассеяния

Для значений процента времени много меньше 50% трудно отделить влияние режима тропосферного рассеяния от влияния других вторичных явлений распространения, которые оказывают похожее влияние на процесс распространения сигнала. Следовательно, модель «тропосферного рассеяния», используемая здесь, является эмпирическим обобщением концепции тропосферного рассеяния, и охватывает также и другие эффекты распространения. Она позволяет выполнять непрерывное прогнозирование основных потерь передачи для p от 0,001% до 50%, таким образом, соединяя для малых процентов времени модель атмосферного волновода и модель отражения от слоев атмосферы с режимом «тропосферного рассеяния», что вполне пригодно для слабого остаточного поля, превышаемого в течение больших процентов времени.

Основные потери передачи из-за тропосферного рассеяния L_{bs} , дБ, которые не превышаются в течение любого процента времени $p < 50\%$, определяются выражением:

$$L_{bs} = 190,1 + L_f + 20 \log d + 0,573\theta - 0,15 N_0 - 10,125 \left(\log \left(\frac{50}{p} \right) \right)^{0,7} \quad (\text{П.13.101})$$

где L_f – частотно-зависимые потери:

$$L_f = 25 \cdot \log(f) - 2,5 \cdot \left[\log\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2$$

N_0 – преломляющая способность поверхности на уровне моря в середине трассы.

П.13.2.5. Распространение в атмосферном волноводе и за счет отражения от слоев атмосферы

Основные потери передачи L_{ba} , дБ, обусловленные атмосферным волноводом и отражением от слоев атмосферы, которые не превышаются в течение процента времени p , определяется выражением:

$$L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad (\text{П.13.102})$$

где: A_f – суммарные фиксированные объединенные потери (за исключением локальных потерь на отражение) между антеннами и структурой аномального распространения в атмосфере, дБ:

$$A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log(d_{it} + d_{ir}) + A_{if} + A_{st} + A_{sr} \quad (\text{П.13.103})$$

где A_{if} – эмпирическая поправка для учета возрастающего ослабления и длины волны при волноводном распространении. Если $f < 0,5$ ГГц, то:

$$A_{if}(f) = 45,375 - 137f + 92,5f^2$$

В противном случае:

$$A_{if}(f) = 0,0$$

A_{st} , A_{sr} – потери за счет дифракции на экранах вокруг передающей и приемной станций соответственно, дБ:

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log(1 + 0,361 \theta''_{i,r} (f d_{it,ir})^{1/2}) + 0,264 \theta''_{i,r} f^{1/3} & \text{для } \theta''_{i,r} > 0 \text{ мрад,} \\ 0 & \text{для } \theta''_{i,r} \leq 0 \text{ мрад,} \end{cases}$$

где:

$$\theta'_{i,r} = \theta_{i,r} - 0,1 d_{it,ir} \quad (\text{П.13.104})$$

$A_d(p)$ – потери, зависящие от процента времени и углового расстояния в рамках механизмов аномального распространения, дБ:

$$A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p) \quad (\text{П.13.105})$$

где: γ_d – конкретное ослабление, дБ/мрад.

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3}$$

θ' – угловое расстояние (при необходимости, скорректированное при помощи уравнения П.13.104 для того чтобы иметь возможность применения модели экранирования, описанной уравнением П.13.102), мрад:

$$\theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_i + \theta'_r$$

$$\theta'_{i,r} = \begin{cases} \theta_{i,r} & \text{для } \theta_{i,r} \leq 0,1 d_{it,ir} \\ 0,1 d_{it,ir} & \text{для } \theta_{i,r} > 0,1 d_{it,ir} \end{cases}$$

$A(p)$ – изменение процента времени (кумулятивное распределение), дБ:

$$A(p) = -12 + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d) \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^{\Gamma}$$

где Γ измеряется в дБ и равно:

$$\Gamma = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \times e^{-(9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2) \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,13}}$$

и β измеряется в % и равно:

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3$$

μ_2 – корректировка геометрии трассы:

$$\mu_2 = \left(\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right)^{\alpha} \quad (\text{П.13.106})$$

Значение μ_2 не должно превышать 1.

$$\alpha = -0,6 - \varepsilon \cdot 10^{-9} \cdot d^{3,1} \cdot \tau \quad (\text{П.13.107})$$

где: $\varepsilon = 3,5$;

τ – определяется в уравнении П.13.2, и значение α не должно быть менее $-3,4$;

μ_3 – корректировка неровностей рельефа:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{для } h_m \leq 10 \text{ м} \\ e^{-4,6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_I)} & \text{для } h_m > 10 \text{ м} \end{cases} \quad (\text{П.13.108})$$

и d_I , км:

$$d_I = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40)$$

Остальные слагаемые определены в разделе П.13.1.

П.13.2.6. Основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p и в 50% местоположений, без учета эффекта отражения от терминала.

Описанную далее процедуру следует применять к результатам описанных выше расчетов для всех трасс для того, чтобы рассчитать основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p в 50% местоположений. В целях недопущения физически невозможных неоднородностей в результатах прогнозирования теоретических основных потерь передачи вышеописанные модели распространения должны быть смешаны для получения модифицированных значений основных потерь передачи для того, чтобы достичь общего прогнозирования для процента времени p и 50% местоположений.

Необходимо рассчитать коэффициент интерполяции F_j , который позволит учесть угловое расстояние:

$$F_j = 1,0 - 0,5 \left(1,0 + \tanh \left(3,0 \cdot \xi \cdot \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right) \quad (\text{П.13.109})$$

где: Θ – фиксированный параметр, определяющий диапазон углов соответствующего слияния моделей, он выставляется равным 0,3;

ξ – фиксированный параметр, определяющий спад характеристики слияния в конце диапазона, он выставлен равным 0,8;

θ – угловое расстояние, мрад.

Необходимо рассчитать коэффициент интерполяции F_k , который позволит учесть расстояние по дуге большого круга:

$$F_k = 1,0 - 0,5 \left(1,0 + \tanh \left(3,0 \cdot \kappa \cdot \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right) \quad (\text{П.13.110})$$

где: d – протяженность трассы по дуге большого круга, км;

d_{sw} – фиксированный параметр, определяющий диапазон расстояний соответствующего слияния; он выставляется равным 20;

κ – фиксированный параметр, определяющий спад характеристики слияния на границах диапазона, устанавливается равным 0,5.

Необходимо рассчитать теоретические минимальные потери передачи L_{minb0p} , дБ:

$$L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + L_{dp} & \text{для } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F_i & \text{для } p \geq \beta_0 \end{cases} \quad (\text{П.13.111})$$

где: L_{b0p} – теоретические основные потери передачи по линии прямой видимости, которые не превышаются в течение процента времени p ;

$L_{b0\beta}$ – теоретические основные потери передачи по линии прямой видимости, которые не превышаются в течение процента времени β_0 ;

L_{dp} – потери из-за дифракции, которые не превышаются в течение процента времени p ;

L_{bd50} – средние основные потери из-за дифракции;

F_i – коэффициент интерполяции, определяемый в соответствии с одним из уравнений П.13.71 – П.13.73.

Необходимо рассчитать теоретические минимальные основные потери передачи L_{minbap} , дБ, обусловленные изменением сигнала при распространении по линии прямой видимости и при загоризонтном распространении:

$$L_{minbap} = \eta \cdot \ln \left(e^{\left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right)} + e^{\left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right)} \right) \quad (\text{П.13.112})$$

где: L_{ba} – основные потери передачи, обусловленные атмосферным волноводом и отражением от слоев атмосферы, которые не превышаются в течение процента времени p ;

L_{b0p} – теоретические основные потери передачи по линии прямой видимости, которые не превышаются в течение процента времени p ;

$\eta = 2,5$

Необходимо рассчитать теоретические минимальные основные потери передачи L_{bda} , дБ, обусловленные дифракцией и изменениями сигнала при

распространении в атмосферном волноводе и при отражении от слоев атмосферы:

$$L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{для } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap}) \cdot F_k & \text{для } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad (\text{П.13.113})$$

где: L_{bd} – основные потери передачи из-за дифракции, которые не превышаются в течение процента времени p ;

L_{minbap} – теоретические минимальные основные потери передачи, обусловленные распространением по линии прямой видимости и загоризонтным распространением;

F_k – коэффициент интерполяции, определяемый уравнением П.13.110, в соответствии со значением расстояния трассы по дуге большого круга d .

Рассчитать модифицированные основные потери передачи L_{bam} , дБ, учитывающие изменение сигнала из-за дифракции, при распространении по линии прямой видимости или в атмосферном волноводе/из-за отражения от слоев атмосферы:

$$L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda}) \cdot F_j \quad (\text{П.13.114})$$

где: L_{bda} – теоретические основные потери передачи, обусловленные дифракцией и распространением по линии прямой видимости или в атмосферном волноводе/из-за отражения от слоев атмосферы;

L_{minb0p} – теоретические минимальные основные потери передачи;

F_j – коэффициент интерполяции, определяемый уравнением П.13.109, в соответствии с величиной углового расстояния трассы θ .

Рассчитать основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p и для 50% местоположений, без учета влияния отражения от терминала L_{bu} , дБ, используя выражение:

$$L_{bu} = -5 \cdot \log(10^{-0,2L_{bs}} + 10^{-0,2L_{bam}}) \quad (\text{П.13.115})$$

где: L_{bs} – основные потери передачи из-за тропосферного рассеяния, которые не превышаются в течение процента времени p ;

L_{bam} – измененные основные потери передачи, учитывающие изменение сигнала из-за дифракции, распространения по линии прямой видимости, распространения в атмосферном волноводе и отражения от слоев атмосферы.

П.13.2.7. Дополнительные потери, обусловленные расположением терминалов относительно окружающей местности

Когда антенна передатчика или приемника расположена ниже высоты R_t или R_r – высота земной поверхности, окружающей передатчик или приемник, или, как ее еще называют, типовая высота препятствия, дополнительные потери, A_{ht} и A_{hr} , рассчитываются следующим образом. При этом R_t и R_r берутся из таблицы П.13.2.

Метод, изложенный ниже, позволяет рассчитать средние потери, обусловленные особенностями местности, где располагается терминал. При этом различается два основных случая: для городских или лесных трасс предполагается, что основной механизм – дифракция на маленьких

препятствиях, для других трасс предполагается, что доминирует рассеяние и отражение от земли и мелких объектов.

Метод идентичен для приемника и для передатчика, поэтому в следующих формулах считается, что $A_h = A_{ht}$ или A_{hr} , $h = h_{tg}$ или h_{rg} и $R = R_t$ или R_r .

Если $h \geq R$ то $A_h = 0$.

Если $h < R$, то A_h , дБ, может иметь одну из двух форм, в зависимости от типа отражения (см. таблицу П.13.2):

$$A_h = J(v) - 6.03 \quad (\text{П.13.116})$$

или

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad (\text{П.13.117})$$

$J(v)$ вычисляются с применением уравнения П.13.35.

Значения v и K_{h2} описываются выражениями:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}$$

$$h_{dif} = R - h$$

$$\theta_{clut} = \tan^{-1}(h_{dif} / 27)$$

$$K_{h2} = 21.8 + 6.2 \log(f)$$

$$K_{nu} = 0.342 \sqrt{f}$$

где f – частота (ГГц),

h_{dif} измеряется в м, а θ_{clut} – в град.

Уравнение П.13.116 предназначено для расчета потерь Френеля из-за огибания препятствия, и его следует применять для таких категорий отражения, как здания. В частности в городских условиях все препятствия будут именно такого типа.

Уравнение П.13.117 представляет собой функцию зависимости коэффициента усиления за счет интерференции от высоты относительно поверхности Земли.

Основные потери передачи L_{bc} , дБ, которые не превышаются в течение процента времени p и в 50% местоположений, с учетом влияния потерь из-за отражения от терминала, определяется выражением:

$$L_{bc} = L_{bu} + A_{ht} + A_{hr} \quad (\text{П.13.118})$$

где: L_{bu} – основные потери передачи, которые не превышаются в течение $p\%$ времени и в 50% местоположений на (или выше, если требуется) высоте типичного отражающего местного препятствия, дБ,

$A_{ht, hr}$ – дополнительные потери, учитывающие экранирование отражений от передатчика и приемника, в соответствии с уравнениями П.13.116 и П.13.117. Если экранирования нет, то эти величины должны быть приняты равными нулю.

П.13.2.8. Изменение местоположения потерь

Изменение местоположения относится к изменениям пространственных статистических данных о свойствах подстилающей поверхности. Поскольку

изменение местоположения определяется без учета изменений, вносимых многолучевыми отражениями, оно не зависит от полосы частот системы.

Известно, что распределение средней напряженности поля из-за изменений подстилающей поверхности в городских условиях и в пригородах имеет приблизительно логнормальную зависимость с нулевым средним значением.

Значения стандартной девиации σ_L , дБ, зависят от частоты и внешних условий, и имеют существенный разброс. Типичные значения для площади $500 \text{ м} \times 500 \text{ м}$ описываются следующим выражением:

$$\sigma_L = K + 1.3 \log(f) \quad (\text{П.13.119})$$

где: $K = 5,1$ – для приемников, антенны которых расположены ниже высоты препятствия в городских условиях, а в пригородах для систем подвижной связи с ненаправленными антеннами на высоте крыши подвижного объекта;

$K = 4,9$ – для приемников с антеннами, расположенными на крышах домов, на высоте приблизительно равной высоте препятствия;

$K = 4,4$ – для приемников в сельской местности;

f – требуемая частота (ГГц).

Если площадь области, для которой требуется определить изменение, более $500 \text{ м} \times 500 \text{ м}$, или если изменение должно относиться ко всем областям на данном расстоянии, а не к отдельным областям, то значение σ_L будет существенно больше. Изменение местоположения увеличивается (по отношению к значениям для малых областей) на величину до 4 дБ для зоны радиусом 2 км, и на величину до 8 дБ для зоны радиусом 50 км.

Процент местоположений p_L может меняться от 1 % до 99 %. Настоящая модель недействительна для процента местоположений менее 1 % или более 99 %.

Если приемник расположен вблизи моря, то корректировка изменения местоположения применяться не должна.

Когда приемник/мобильная станция расположен на суше и вне здания, а его высота над уровнем земли равна или выше высоты типичного отражающего препятствия, разумно предположить, что изменение местоположения будет монотонно уменьшаться с увеличением высоты до тех пор, пока в какой-то точке, оно совершенно исчезнет. В таком случае изменение местоположения из-за изменения высоты $u(h)$ определяется выражением:

$$\begin{aligned} u(h) &= 1 && \text{для } 0 \leq h < R, \\ u(h) &= 1 - \frac{(h-R)}{10} && \text{для } R \leq h < R+10, \\ u(h) &= 0 && \text{для } R+10 \leq h, \end{aligned} \quad (\text{П.13.120})$$

где R (м) – высота типичного отражающего препятствия в месте размещения приемника/мобильной станции. Следовательно, для приемника/мобильной станции, находящихся вне зданий, стандартная девиация изменения местоположения, σ_L , должна быть умножена на

функцию изменения высоты $u(h)$, определяемую из уравнений П.13.120, при расчете величины основных потерь передачи для значений p_L , не равных 50%.

П.13.2.9. Потери на проникновение сигнала внутрь здания

Потери на проникновение сигнала внутрь здания определяются как разница (дБ) между средней напряженностью поля (с учетом местоположения) вне стен здания на данной высоте над уровнем земли и средней напряженностью поля внутри этого же здания (с учетом местоположения) на той же высоте над уровнем земли.

Для приема внутри зданий должны быть учтены два существенных параметра. Первый – потери на проникновение сигнала внутрь здания, и второй – изменение потерь на проникновение сигнала внутрь здания из-за различных строительных материалов. Приведенные далее значения стандартной девиации учитывают большой разброс потерь на проникновение в здания, но не учитывают изменение местоположения внутри различных зданий. Следует отметить, что в таблице П.13.5 приведены ориентировочные значения потерь на проникновение сигнала внутрь здания. В случае наличия более достоверных данных, следует воспользоваться ими.

Потери на проникновение сигнала внутрь здания L_{be} , σ_{be} Таблица П.13.5

F	Среднее значение, L_{be} , дБ	Стандартная девиация, σ_{be} , дБ
0,15 ГГц	9	3
0,45 ГГц	10,3	4,9
0,9 ГГц	11	6

Изменение напряженности поля для приема внутри зданий – это комбинированный результат изменений напряженности поля вне зданий (σ_L) и изменения из-за ослабления в здании (σ_{be}). Эти значения, по всей вероятности, не коррелированы. Следовательно, стандартную девиацию для приема внутри зданий (σ_i , дБ) можно рассчитать как квадратный корень из суммы квадратов отдельных значений стандартной девиации.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \quad (\text{П.13.121})$$

где σ_L – стандартная девиация изменения местоположения, определяемая из уравнения П.13.119.

П.13.2.10. Основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p и для процента местоположений p_L

Для вычисления желаемого процента местоположений, средние потери L_{loc} и стандартная девиация σ_{loc} описываются выражениями: вне зданий:

$$L_{loc} = 0 \quad (\text{П.13.122})$$

внутри зданий:

$$L_{loc} = L_{be} \quad (\text{П.13.123})$$

и:

вне зданий:

$$\sigma_{loc} = u(h) \cdot \sigma_L \quad (\text{П.13.124})$$

внутри зданий:

$$\sigma_{loc} = \sigma_i \quad (\text{П.13.125})$$

где средние потери на проникновение сигнала внутрь здания L_b рассчитываются выше, функция высоты $u(h)$ определяется из уравнения П.13.120, а значения стандартной девиации σ_L и σ_i берутся из уравнения П.13.119 и уравнения П.13.121 соответственно.

Основные потери передачи L_b , дБ, которые не превышаются в течение процента времени p и для процента местоположений p_L , определяются выражением:

$$L_b = \max \left\{ L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left(\frac{p_L}{100} \right) \cdot \sigma_{loc} \right\} \quad (\text{П.13.126})$$

где: L_{b0p} – основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p и для процента местоположений, равного 50 %, обусловленные распространением по линии прямой видимости с кратковременными выбросами;

L_{bc} – основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p и для процента местоположений, равного 50 %, с учетом влияния потерь из-за отражений от терминала;

L_{loc} – среднее значение потерь в конкретном местоположении, определяемое уравнениями П.13.122 и П.13.123;

$I(x)$ – обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение в зависимости от вероятности x . Аппроксимация зависимости $I(x)$, которая может использоваться для $0,000001 \leq x \leq 0,999999$, приведена в разделе П.13.2.12;

σ_{loc} – комбинированная стандартная девиация (т. е. учитывающая потери на проникновение сигнала внутрь здания и потери на изменение местоположения).

Процент местоположений p_L может меняться от 1 % до 99 %. Настоящая модель недействительна для процента местоположений менее 1 % или более 99 %.

П.13.2.11. Напряженность поля, превышаемая в течение процента времени p и для процента местоположений p_L

Напряженность поля E_p , дБ (мкВ/м), приведенная к эффективно излучаемой мощности 1 кВт, превышаемая в течение процента времени p и для 50 % местоположений, может быть рассчитана с использованием формулы:

$$E_p = 199.36 + 20 \log(f) - L_b \quad (\text{П.13.127})$$

где: L_b – основные потери передачи, которые не превышаются в течение процента времени p для процента местоположений p_L , рассчитанные по формуле П.13.126.

f – требуемая частота (ГГц).

П.13.2.12. Аппроксимация обратной дополнительной функции кумулятивного нормального распределения

Обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения и ее аппроксимация описаны в разделе П.13.3.14.

Стоит отметить: если $x < 0,000001$, что предполагает $\beta_0 < 0,0001$ %, то x должен быть установлен в значение $0,000001$. Аналогичные действия должны быть выполнены и для $x > 0,999999$. Однако в уравнении П.13.126 значение x должно быть ограничено: $0,01 \leq x \leq 0,99$.

РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ЭВМ

В условиях одновременного функционирования на железнодорожных станциях и перегонах большого количества сетей и средств технологической железнодорожной радиосвязи важной задачей является оперативное и корректное решение вопросов, связанных с частотно-территориальным планированием новых радиосетей и модернизацией существующих.

Расчет любой сети радиосвязи должен включать не только определение требуемой высоты установки антенны для обеспечения заданной дальности связи, но и комплексный расчет, связанный с обеспечением электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

И если решение отдельно взятых задач определения дальности связи или необходимой высоты установки антенн (в диапазонах ГМВ и МВ) по традиционным методикам может быть найдено без использования программных средств, то решение задач обеспечения ЭМС РЭС, а также всех задач, решаемых с применением цифровых карт местности, без применения программных средств оказывается практически невозможным.

Специализированное программное обеспечение, предназначенное для расчета сетей поездной радиосвязи, должно обеспечивать решение следующих основных задач:

- формирование и хранение баз данных используемых в сетях ПРС ОАО «РЖД» радиостанций, антенн, кабелей;

- формирование и хранение «проектов», содержащих информацию об оборудовании радиосвязи, используемом на конкретной железнодорожной станции (участке), а также результаты расчетов, выполненных в рамках «проекта»;

- расчет характеристик сетей поездной радиосвязи, организуемой в диапазонах 2, 160, 460 и 900 МГц, в соответствии с моделями, описанными в настоящих Методических указаниях;

- работу с цифровыми картами местности с отображением на них результатов расчетов.

Для решения этих и ряда других задач требуется программный комплекс частотно-территориального планирования сетей поездной радиосвязи, подробная информация о котором будет содержаться в руководстве пользователя программы.

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ И НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ АКТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЮ И РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Документы по обеспечению безопасности движения и охраны труда

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (утверждены Приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286).
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 26.08.2011 г. № 1871р «О порядке обеспечения безопасности движения поездов при организации и производстве работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств технологической электросвязи ОАО «РЖД».
3. Типовая инструкция по охране труда для электромеханика и электромонтера хозяйства связи ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.11.2009 г. № 2319р).
4. Инструкция по охране труда при обслуживании и ремонте линейно-кабельных сооружений и кабельной канализации ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 09.09.2009 г. № 1871р).
5. Инструкция по охране труда по техническому обслуживанию и ремонту направляющих линий поездной радиосвязи ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 06.03.2008 г. № 458р).
6. Инструкция по охране труда при обслуживании и ремонте устройств электропитания аппаратуры связи ОАО «РЖД» (до 1000 В) (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 26.05.2009 г. № 1092р).
7. Правила по охране труда при обслуживании скоростных и высокоскоростных линий железных дорог ОАО «РЖД» (утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 25.06.2010 г. № 1362р).
8. Комплекс стандартов СТО РЖД 1.15.(002-012)-(2005-2010).

Документы по организации и производству работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств поездной радиосвязи

9. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту объектов железнодорожной электросвязи ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 30.04.2009 г. № 905р).
10. Регламент технического обслуживания и ремонта объектов железнодорожной электросвязи ОАО «РЖД» в зависимости от класса

железнодорожных линий (утвержден Распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2010 г. № 2782р).

11. Инструкция по приемке в эксплуатацию законченных строительством объектов железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (№ ЦШ-571 от 06.07.1998 г.).

12. Правила эксплуатации объектов инфраструктуры ОАО «РЖД», подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов со скоростями более 140 до 250 км/ч включительно (утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 13.02.2012 г. № 283р).

13. Инструкция о порядке проверки действия и контроля параметров поездной радиосвязи ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 08.04.2010 г. № 751р).

14. Инструкция по обслуживанию антенно-фидерных устройств КВ и УКВ диапазонов локомотивных радиостанций (№ ЦСВТ-ЦТ-2004).

15. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту направляющих линий, линейных и станционных устройств поездной радиосвязи гектометрового диапазона (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 05.06.2006 г.).

16. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту направляющих линий и станционных устройств поездной радиосвязи (№ ЦСВТ/90 от 13.07.2006 г.).

17. Правила технической эксплуатации поездной радиосвязи ОАО «РЖД» (утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 23.09.2009 г. № 1987р).

18. Р.877. Порядок пользования радиосредствами, применяемыми для поездной радиосвязи, и требования к ним для обеспечения совместной работы на приграничных территориях стран – членов ОСЖД. Утвержден ОСЖД 28.10.2011 г.

19. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.04.2009 г. № 787р «О повышении надежности и качества работы поездной радиосвязи гектометрового диапазона».

20. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.04.2009 г. № 788р «Об организации комиссионных проверок устройств поездной радиосвязи на тяговом подвижном составе».

21. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.07.2011 г. № 1537р «О порядке формирования и утверждения перечня перегонов, на которых разрешается обеспечивать поездную радиосвязь между машинистами поездных локомотивов, мотор-вагонных поездов, специального самоходного

подвижного состава с дежурным по ближайшей железнодорожной станции и поездным диспетчером».

22. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21.07.2009 г. № 1524р «О порядке проверки и ремонта устройств безопасности и радиосвязи на локомотивах и мотор-вагонном подвижном составе».

23. Реестр оборудования радиосвязи ОАО «РЖД» (ОАО «НИИАС», 2006 г.).

24. ГОСТ Р 53953-2010 Электросвязь железнодорожная. Термины и определения.

25. СТО РЖД 1.18.001-2008 Средства железнодорожной связи. Порядок разработки, испытаний, приемки и регистрации.

26. Распоряжение от 13.09.2011 г. № 2014р «Об утверждении методов контроля технических требований к поездной радиосвязи ОАО «РЖД». Временные правила.

27. Правила прокладки кабелей в земляном полотне железных дорог (№ ЦШС-14/16, 1987 г.).

28. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах, ЦЭ-191, 10.06.1993.

29. ГОСТ Р 50571.10-96 Заземляющие устройства и защитные проводники.

30. Радиостанция РВС-1-12. Руководство по эксплуатации. ЦВИЯ.464514.005-12 РЭ.

31. Радиостанции РЛСМ-10-40. Руководство по эксплуатации. ДЕКШ.464117.001-40 РЭ

Документы по проектированию сетей поездной радиосвязи

32. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи ОАО «РЖД» (№ ХЗ-7970 от 26.08.2004 г.).

33. ОТУ32-4484. Конструкции устройств направляющих линий для поездной радиосвязи на электрифицированных участках железных дорог.

34. Схемы непосредственного присоединения стационарных радиостанций к волноводному проводу при организации поездной радиосвязи в гектометровом диапазоне волн. Технические решения. Утверждены Главным инженером ЦСС – филиала ОАО «РЖД» 20.06.2012 г.

35. Схемы симметричного высокочастотного возбуждения однопроводного волновода при организации поездной радиосвязи в гектометровом радиочастотном диапазоне. Технические решения. Утверждены Главным инженером ЦСС – филиала ОАО «РЖД» 20.07.2012 г.

36. Типовые проектные решения 501-0-102. Антенные устройства поездной и станционной радиосвязи для постов электрической централизации. ШР-3. Утверждены ГУ сигнализации и связи МПС с 30.05.1978 г. Приказ № 105 от 29.12.1977 г.

37. Типовые материалы для проектирования. 410425-ТМП-26. Радиоканал поездной радиосвязи с использованием высоковольтной линии электроснабжения (автоблокировки) ОАО «РЖД». Утверждены ЦСС – филиалом ОАО «РЖД» в 2009 г.

38. Типовые материалы для проектирования. 411103-ТМП. Система передачи данных и речи диапазона 160 МГц в тоннелях для обеспечения движения соединенных поездов (СДПР-Т). Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2515р в 2011 г.

39. Типовые материалы для проектирования 1410810-ТМП "Антенно-мачтовые сооружения и антенно-фидерные тракты технологической радиосвязи", Гипротрансигналсвязь - филиал ОАО "Росжелдорпроект", утверждены распоряжением ОАО "РЖД" от 26.11.10 г. № 2427р.

40. Типовые материалы для проектирования. 411105-ТМП. Организация системы станционной радиосвязи с использованием ретрансляторов. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 20.01.2012 г. № 65р.

41. Типовые материалы для проектирования. 411106-ТМП. Линейные сети железнодорожной радиосвязи стандарта TETRA. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 20.01.2012 г. № 66р.

42. Типовые материалы для проектирования. 410624-ТМП. Номенклатура кабелей, применяемых при разработке проектов. Книга 1. Номенклатура и краткие технические характеристики кабелей связи. Утверждены ЦСС – филиалом ОАО «РЖД» № ЦСС-408 от 31.07.2008 г.

43. Типовые материалы для проектирования 410901-ТМП «Защита кабелей технологической связи ОАО «РЖД» от воздействий атмосферных, коммутационных перенапряжений и влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог (утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 03.06.2010 г. № 1206р).

44. Руководящий документ отрасли РД 45.162-2001. Ведомственные нормы технологического проектирования. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования. Введен в действие 15.03.2001 распоряжением №1809 Минсвязи России.

45. Временная инструкция по проектированию инфраструктуры цифровой системы радиосвязи на сети железных дорог Российской Федерации. Министерство путей сообщения Российской Федерации. Утверждена руководителем департамента информатизации и связи МГТС России В.С. Ворониным. Москва 2002 г.

46. Временная инструкция по проектированию цифровых систем технологической радиосвязи. Министерство путей сообщения Российской Федерации. Утверждена руководителем департамента информатизации и связи МГТС России В.С. Ворониным. Москва 2003 г.

47. Типовые технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости стационарных радиостанций с устройствами контактной сети, высоковольтными линиями электропередачи и тяговыми подстанциями, ОАО «РЖД», 2008 г.

48. ВНТП/МПС-91 Ведомственные нормы технологического проектирования электросвязи на железнодорожном транспорте.

49. Порядок получения разрешительных документов для использования радиочастотного спектра и радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств ОАО «РЖД» (утвержден Распоряжением ОАО «РЖД» от 16.06.2008 г. № 1237р).

50. P.888. Рекомендации по внедрению цифровой технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте стандарта GSM-R. Утвержден ОСЖД 10.11.2005 г.

51. Rec. ITU-R P.526-12. Propagation by diffraction. ITU, 2012.

52. Rec. ITU-R P.1546-4. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz. ITU, 2009.

53. Rec. ITU-R P.1812-2. A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands. ITU, 2012.

54. Rec. ITU-R SM.1134-1. Intermodulation Interference Calculations in the Land Mobile Service. ITU, 2007.

55. ETSI EN 300 910 V8.5.1 (2000-11) Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+). Radio Transmission and Reception (GSM 05.05 Version 8.5.1 Release 1999). ETSI, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие положения	1
2.	Общие требования к поездной радиосвязи	6
2.1.	Сети гектометрового диапазона волн ПРС-С	6
2.2.	Сети метрового диапазона волн ПРС-С	8
2.3.	Организация сетей ПРС-С на протяженных перегонах	9
2.4.	Организация радиосвязи в тоннелях в диапазоне МВ	13
2.5.	Организация резервирования стационарных радиостанций поездной радиосвязи	18
2.6.	Организация цифровых сетей технологической радиосвязи стандартов TETRA (460 МГц) и GSM-R (900 МГц)	21
3.	Организация линейных каналов в сетях ПРС	25
3.1.	Организация линейных каналов ПРС-С в цифровых сетях связи	25
3.2.	Организация линейных каналов ПРС-С в аналоговых сетях связи	30
3.3.	Организация мониторинга состояния стационарных радиостанций и радиоканалов поездной радиосвязи	32
4.	Способы передачи энергии высокой частоты в гектометровом диапазоне волн	35
5.	Станционные устройства поездной радиосвязи гектометрового диапазона волн	38
5.1.	Высокочастотное возбуждение направляющих линий	38
5.2.	Стационарные антенны	48
5.3.	Одновременная работа радиостанций на несколько нагрузок	48
6.	Линейные устройства поездной радиосвязи гектометрового диапазона волн	50
6.1.	Одно- и двухпроводные волноводы	50
6.2.	Высокочастотная обработка высоковольтных линий	58
6.3.	Особенности организации радиосвязи в тоннелях	65
7.	Расчет дальности связи в сетях ПРС-С гектометрового диапазона волн	68
7.1.	Дальность действия радиосвязи между РС и РВ	68
7.2.	Минимально допустимый уровень полезного сигнала	68
7.3.	Переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции	69

7.4.	Суммарное затухание сигнала ПРС в стационарных устройствах	69
7.5.	Суммарное затухание сигнала ПРС в линейных устройствах	72
7.6.	Суммарное затухание сигнала ПРС в локомотивных устройствах	73
7.7.	Дальность действия уверенной радиосвязи при использовании на перегоне направляющих линий разных типов	73
7.8.	Расчет дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн	73
8.	Расчет дальности связи в сетях технологической железнодорожной радиосвязи диапазонов 160 (ПРС-С), 460 (TETRA), 900 МГц (GSM-R)	77
8.1.	Обобщенный алгоритм частотно-территориального планирования радиосетей диапазонов 160, 460 и 900 МГц	77
8.2.	Традиционная методика расчета дальности связи в сетях ПРС-С диапазона 160 МГц	89
8.3.	Статистическая модель потерь распространения радиоволн	99
8.4.	Детерминированная модель потерь распространения радиоволн, основанная на детальной оценке профиля трассы	99
8.5.	Расчет зон обслуживания базовых (стационарных) радиостанций	99
8.6.	Основные характеристики радиостанций стандарта TETRA, необходимые для расчета сетей технологической железнодорожной радиосвязи	101
8.7.	Основные характеристики радиостанций стандарта GSM-R, необходимые для расчета сетей технологической железнодорожной радиосвязи	104
9.	Обеспечение электромагнитной совместимости радиостанций в сетях технологической железнодорожной радиосвязи в диапазонах 160, 460 и 900 МГц	105
9.1.	Расчет ЭМС сетей ПРС, организованных в диапазоне 160 МГц	106
9.2.	Расчет ЭМС сетей ПРС, организованных в диапазонах 460 и 900 МГц	114
10.	Рекомендации по применению стационарных антенн диапазона 160 МГц	116
10.1.	Типы стационарных антенн	116
10.2.	Рекомендации по применению коаксиальных кабелей	116
10.3.	Рекомендации по применению стационарных антенн в поездной радиосвязи	116
10.4.	Молниезащита стационарных антенн	118

11. Рекомендации по применению стационарных антенн в ЦСТР стандартов TETRA (460 МГц) и GSM-R (900 МГц)	120
11.1. Общие положения	120
11.2. Рекомендации по применению антенн в ЦСТР стандарта TETRA	121
11.3. Рекомендации по применению антенн в ЦСТР стандарта GSM-R	122
Приложение 1. Характеристика блоков линейных устройств ПРС гектометрового диапазона волн	124
Приложение 2. Определение наведенных напряжений на волноводных секциях от электрического и магнитного влияния тяговой сети переменного тока	126
Приложение 3. Примеры расчета дальности связи в сетях ПРС-С гектометрового диапазона волн	131
Приложение 4. Методика определения типа трассы радиосвязи	133
Приложение 5. Особенности расчета дальности связи между стационарной и возимой радиостанциями в диапазоне 160 МГц	136
Приложение 6. Методика измерения уровня полезного сигнала в диапазоне 160 МГц	139
Приложение 7. Примеры расчета дальности связи в сетях ПРС-С диапазона метровых волн	141
Приложение 8. Антенны, используемые в сетях технологической радиосвязи диапазона 160 МГц	145
Приложение 9. Антенны, используемые в диапазонах 460 и 900 МГц	148
Приложение 10. Коаксиальные радиочастотные кабели, используемые в диапазонах 160, 460 и 900 МГц	155
Приложение 11. Рекомендации по монтажу, установке и юстировке стационарных антенн	157
Приложение 12. Статистическая модель потерь распространения радиоволн	159
Приложение 13. Детерминированная модель потерь распространения радиоволн, основанная на детальной оценке профиля трассы	174
Приложение 14. Расчет сетей поездной радиосвязи на ЭВМ	212
Приложение 15. Перечень нормативных правовых и нормативных технических актов, регламентирующих организацию и расчет сетей поездной радиосвязи	213

