

П. М. Тимонин

**ТРАНКИНГОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ
С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2024

УДК 621.396
ББК 39.2+32.88
Т41

Р е ц е н з е н т :

заместитель начальника Минераловодского регионального центра связи –
структурного подразделения Ростовской дирекции
Центральной станции связи – филиала ОАО «РЖД» *В. В. Шульга*

Тимонин, П. М.

Т41 Транкинговая радиосвязь с подвижными объектами железнодорожного транспорта : учебное пособие / П. М. Тимонин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 336 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1981-9

Рассмотрены принципы передачи радиосигнала с использованием электромагнитного излучения – радиоволн. Показаны современные системы радиосвязи GSM-R, DMR, TETRA, DECT и проведен их сравнительный анализ. Рассматривается назначение и организация перегонной связи на основе стандарта DECT с одной и множеством ячеек покрытия. Изложена методика расчета дальности связи между стационарными, возимыми и носимыми радиостанциями, используемыми для организации радиосвязи на предприятиях железнодорожного транспорта, и принципы создания и отображения схем радиосвязи на объектах железнодорожного транспорта. Приведен пример расчета параметров радиосвязи для реального участка железной дороги.

Для оказания помощи обучающимся техникумов и колледжей, а также лицам, проходящим переподготовку на курсах повышения квалификации, по специальности «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования», при освоении профессионального модуля «Монтаж, ввод в действие и эксплуатация радиоэлектронного оборудования». Может использоваться преподавателями при проведении уроков по предмету обучения «Радиосвязь с подвижными объектами».

УДК 621.396
ББК 39.2+32.88

ISBN 978-5-9729-1981-9

© Тимонин П. М., 2024
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

ВВЕДЕНИЕ

Человечество во все времена испытывало огромную потребность в получении и передаче информации. Полученная или переданная информация помогала при выполнении своих служебных обязанностей специалистам различных областей науки и техники. В различные периоды времени использовались различные технологии, методы и способы получения и передачи необходимой информации. Эти технологии шли в ногу со временем. После изобретения телеграфа информацию передавали с его помощью, телефон, радиосвязь и другие виды связи использовали свои технологии. Современные технологии, использующие оптические виды связи, используют свои новейшие методы и способы передачи информации. Однако технологии, использующие передачу сигнала с помощью электромагнитного излучения радиоволн, будут использоваться еще долгое время. Радиосвязь была и будет основным средством передачи информации на большие расстояния между подвижными объектами.

Транкинговая система радиосвязи (ТСР), которая будет рассматриваться в данном учебном пособии, представляет собой систему, в которой используется принцип равной доступности каналов для всех абонентов или групп абонентов. Этот принцип давно и повсеместно используется в телефонных сетях, откуда в радиосвязь и пришло слово «*trunk*» (пучок, т. е. пучок равнодоступных каналов). Транковые системы создавались как ведомственные и хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации при передаче информации между подвижными объектами, например на железнодорожном транспорте.

Суть транкинговой связи заключается в том, что строится три радиочастотных канала, каждый из которых жестко закреплен за несколькими группами пользователей. Для такой системы, а точнее, трех отдельных систем, типична ситуация когда канал 1 перегружен и абонент этой группы не может выйти на связь, в то же время каналы 2 и 3 не используются. В случае, когда три канала объединены в единую систему, т. е. присутствует элемент централизации базовая станция, которая равнодоступна для любой группы абонентов, тогда любой из абонентов имеет возможность установления связи.

Основной, определяющей название, функцией оборудования ТСР является автоматическое предоставление свободного радиоканала по требованию абонента радиостанции и переключение на этот канал вызываемого абонента или группы абонентов.

Транкинговые сети связи предоставляют широкий спектр услуг, а именно:

- внутренние вызовы (индивидуальный и групповой);
- роуминг;
- передача данных;
- режим непосредственной связи;
- тарификация;
- удаленное управление абонентскими радиостанциями.

Системы профессиональной радиосвязи характеризуются большим радиусом действия, поскольку, даже в простейшей ТСР, связь радиостанций между собой осуществляется через ретрансляторы базовой станции (БС). Кроме того, многозоновые ТСР имеют в своем составе несколько, от единиц до сотен БС, каждая из которых обслуживает свою зону. При этом система установит соединение между радиостанциями независимо от их местоположения и, как правило, совершенно прозрачно для пользователей вызываемой и вызывающей радиостанций.

Кроме вызова группы радиостанций данная опция имеется во всех ТСР, все системы обеспечивают индивидуальный вызов конкретной радиостанции. При этом многие современные ТСР обеспечивают разделение всего парка радиостанций на отдельные отряды. Отряд – это совокупность радиостанций, принадлежащих определенному предприятию или организации, внутри которого осуществим индивидуальный и групповой вызов. Предполагается, что вызовы между отрядами в большинстве случаев запрещены. Таким образом, каждая из организаций, пользующихся ТСР, может иметь как бы свою изолированную систему связи.

Как правило, ТСР обеспечивают связь радиостанции с абонентами городской и нескольких учрежденческих телефонных сетей, причем их подключение к таким сетям может осуществляться как простейшим способом по абонентским линиям, аналогично офисным АТС, так и по соединительным линиям. В последнем случае, с точки зрения нумерации абонентов, ТСР становится частью телефонной сети города или учреждения.

Доступ к каждому виду услуг, предоставляемых системой, обычно программируется индивидуально для каждого абонента. Кроме того, программируется предельное время разговора и приоритет абонента. ТСР имеют также защиту от несанкционированного доступа в систему. Все радиостанции, рассчитанные на работу в ТСР, имеют возможность переключения в режим обычной радиостанции.

Оборудование любой ТСР рассчитано на коммерческую эксплуатацию, поэтому обязательно обеспечивает учет времени (тарификацию) использования системы каждым абонентом сети.

Глава 1.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

О СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

1.1. Назначение сетей подвижной радиосвязи

Одной из наиболее динамично развивающихся отраслей инфраструктуры современного общества является связь. Это связано с тем, что на современном этапе развития человечество требует постоянного роста спроса на услуги связи и информацию, а также достижения научно-технического прогресса в области электроники, вычислительной техники и волоконной оптики. В активно разрабатываемой Международным союзом электросвязи (МСЭ) концепции универсальной персональной связи (УПС) большое место отводится сетям подвижной связи (СПС).

Радиостанции, используемые в подвижной связи в зависимости от их технических возможностей, места установки и выполняемых функций классифицируются как стационарные и подвижные.

Подвижные радиостанции в свою очередь делятся на:

- мобильные,
- переносные,
- носимые,
- портативные.

Стационарные радиостанции – используются в подвижной радиосети и по своим техническим данным не могут работать во время движения. Это связано с тем, что данный класс радиостанций оснащен стационарными антеннами, расположенными на специальных мачтах. Электропитание радиостанции, осуществляется, от промышленной сети 220 В. Радиостанции могут, устанавливаться в отапливаемых и неотапливаемых служебных помещениях, специальных контейнерах или на открытом воздухе. Управление радиостанцией может осуществляться непосредственно органами управления на лицевой панели или дистанционно, на расстоянии до 20 километров.

Значительным преимуществом стационарных радиостанций является их высокая мощность и большой радиус действия. Это позволяет обеспечить стабильное и качественное соединение на большие расстояния. Благодаря этому, стационарные радиостанции являются незаменимыми средствами связи в сферах, где важна надежность и дальность сигнала.

Подвижные радиостанции – могут быть мобильные, носимые и переносные. Они предназначены для организации связи с абонентами, как во время движения, так и во время остановок в неопределенных пунктах.

• **Мобильная (возимая)** радиостанция устанавливается на подвижных объектах, таких как железнодорожные локомотивы, дрезины, тяжелая строительная техника, автолечушки и т. д. и является устройством связи, которое позволяет людям находиться на связи внутри установленного радиуса действия. Она

позволяет передавать голосовые сообщения по радиочастотам, без использования проводной или мобильной сети. Питание радиостанции осуществляется от бортовой сети подвижного объекта.

• **Переносные радиостанции** предназначены для организации связи с абонентами радиосети только во время остановок. Это обусловлено тем, что данная радиостанция хранится и перевозится в нерабочем состоянии и перед работой ее следует «развернуть», то есть подключить источник электропитания, антенну, выполнить необходимые настройки. Часто используются для организации временной связи при проведении аварийно-восстановительных работ.

• **Носимые радиостанции** предназначены для организации радиосвязи между работниками, как на месте, так и в движении. Обладают простым и интуитивно понятным интерфейсом, что делает их доступными для использования даже для неопытных пользователей. Электропитание осуществляется от встроенной аккумуляторной батареи. Многие модели радиостанций оснащены функцией сканирования частот, что позволяет находить свободные радиоканалы и выбирать наилучший сигнал. Кроме того, некоторые радиостанции обладают возможностью подключения к компьютеру, что позволяет загружать карты, обновлять прошивку и осуществлять другие настройки.

• **Портативные радиостанции** – это переносные радиостанции, вес которых не превышает одного килограмма и предназначенные для передачи и приема голосовых сообщений внутри их радиуса действия. Таким образом, обеспечивается двусторонняя связь между пользователями радиостанций, позволяющая им общаться на расстоянии до нескольких километров.

Как правило, данные радиостанции относятся к классу личных мобильных радиосистем, и не требуют лицензирования, так как используются технологии:

- PMR (personal mobile radio);
- LPD (low power device).

Они нашли широкое применение для общения между собой работников выполняющих свои обязанности в различных отделах и службах железнодорожного транспорта, и чаще там где обеспечивается прямая видимость при радиосвязи.

Все перечисленные радиостанции обладают основными характеристиками и параметрами:

Частотный диапазон – радиостанции могут работать в различных диапазонах частот, которые определяются их назначением и условиями использования.

Выходная мощность – это параметр, который определяет силу радиосигнала, излучаемого стационарной радиостанцией. Высокая выходная мощность позволяет передавать сигналы на большие расстояния.

Количество каналов: стационарные радиостанции могут иметь различное количество каналов, что позволяет одновременно передавать и принимать несколько независимых радиосигналов.

Модуляция – это метод передачи информации по радиоканалу. Стационарные радиостанции могут использовать различные методы модуляции, такие как амплитудная модуляция (АМ) или частотная модуляция (ЧМ), чтобы эффективно передавать сигналы разной природы.

По технологическому назначению радиосвязь подразделяется на поездную, станционную и ремонтно-оперативную.

Поездная радиосвязь (ПРС) относится к участковым видам и обеспечивает обмен информацией между машинистом поездного локомотива и диспетчером, ДСП ближайшей к локомотиву станции, а также машинистами встречных и попутных локомотивов.

Станционная радиосвязь предназначена для оперативного управления технологическими процессами работы станции. Включает маневровую и горочную радиосвязь, связь работников, обеспечивающих обработку составов (списчики вагонов, составители) и др.

Ремонтно-оперативная радиосвязь предназначена для организации оперативного управления проведением ремонтных и восстановительных работ, а также работ по текущему содержанию устройств путевого хозяйства, энергоснабжения, автоматики и связи и т. д.

В настоящее время во многих странах ведется интенсивное внедрение сетей персонального радиовызова (СПС), и систем спутниковой связи. Такие сети предназначены для передачи данных (ПД) и обеспечения подвижных и стационарных объектов телефонной связью. Подобные сети связи позволяют подвижному абоненту расширить его возможности по передаче и приему данных. данных, поскольку, кроме телефонных, он может принимать телексы и факсимильные сообщения, различного рода графическую информацию и многое другое. Увеличение объема информации потребует сокращения времени ее передачи и получения. Поэтому в настоящее время наблюдается устойчивый рост производства и использования мобильных средств радиосвязи.

Преимущества СПС состоят в следующем: подвижная связь позволяет абоненту получать услуги связи в любой точке в пределах зон действия наземных или спутниковых сетей. Современные технологии производства средств связи позволяют создавать малогабаритные универсальные абонентские терминалы (АТ), сопрягаемые с персональным компьютером (ПК) и имеющие интерфейсы для подключения к СПС всех действующих стандартов.

Сети подвижной связи можно разделить на следующие классы:

- сети сотовой подвижной связи (ССПС);
- сети транкинговой связи (СТС);
- сети персонального радиовызова (СПР);
- сети персональной спутниковой (мобильной) связи.

Сети подвижной связи созданы с целью максимального удовлетворения потребностей абонентов в услугах связи с возможностью выхода в телефонную сеть общего пользования (ТфОП).

1.2. Сети сотовой подвижной связи

На настоящем этапе развития современного общества наиболее стремительно развиваются сети сотовой радиотелефонной связи. Активное внедрение сотовых систем связи позволило решить проблему экономичного использования выделенной полосы радиочастот путем передачи сообщений на одних и тех же частотах и увеличить пропускную способность телекоммуникационных сетей. Данный вид связи получил свое название в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания делится на ячейки, так называемые соты.

Система сотовой связи – это сложная, но вместе с тем, гибкая техническая система, которая допускает как большое разнообразие по вариантам конфигурации так и по набору выполняемых функций. Она может обеспечивать передачу речи и других видов информации, в частности факсимильных, текстовых, мультимедийных сообщений и компьютерных данных. Для передачи речи, в свою очередь, может быть реализована обычная двухсторонняя и многосторонняя телефонная связь (конференцсвязь – с участием в разговоре более двух абонентов одновременно), голосовая почта. При организации обычного телефонного разговора возможны режимы автодозвона, ожидания вызова, переадресации (условной или безусловной) вызова и другие дополнительные виды обслуживания.

Использование современной технологии позволяет обеспечить абонентам таких сетей миниатюрность и высокую надежность средств связи, высокое качество речевых сообщений, надежность и конфиденциальность связи, использование сетей Internet, защиту от несанкционированного доступа (НСД) к данным абонента в сети.

1.3. Сети транкинговой связи

Сети транкинговой связи до некоторой степени близки к сотовым сетям связи. Как и сотовые сети, они являются наземной подвижной связи выполненной на основе радиотелефонной и обеспечивают неограниченную мобильность абонентов в пределах достаточно большой зоны обслуживания. Основное отличие состоит в том, что СТС проще по принципам построения и предоставляют абонентам меньший набор услуг, но за счет этого они дешевле сотовых. СТС имеют значительно меньшую емкость, чем сотовые, и принципиально не могут стать системами массовой мобильной связи.

Название транкинговой связи происходит от английского trunk (ствол) и отражает то обстоятельство, что ствол связи в такой системе содержит несколько физических (как правило, частотных) каналов, каждый из которых при его свободности может быть предоставлен любому из абонентов системы. Указанная особенность отличает СТС от предшествовавших ей систем двухсторонней радиосвязи, в которых каждый абонент имел возможность доступа лишь к одному каналу. СТС в сравнении с такими системами обладают значительно бо-

лее высокой емкостью (пропускной способностью) при тех же показателях качества обслуживания.

Если использовать аналогию с сотовой связью, то в простейшем случае СТС – это одна ячейка сотовой системы, но при несколько специфическом наборе услуг. Сотовая сеть всегда строится в виде множества ячеек, замыкающихся на общий центр коммутации (ЦК), с передачей обслуживания из ячейки в ячейку по мере перемещения абонента. При необходимости наращивания емкости сотовой сети производится дополнительное дробление ячеек с соответствующей модификацией частотного плана (распределения частот по ячейкам). В сетях транкинговой связи, заведомо идущей на функционирование с ограниченной емкостью, обычно стремятся предельно увеличить зону действия. Практически радиус ячейки СТС может достигать 40–50 км и более. Отсюда вытекает большая по сравнению с сотовой связью мощность передатчика, большой расход энергии источника питания, большие габариты и масса абонентского терминала (АТ).

В некоторых случаях СТС может быть построена в виде нескольких ячеек, так называемая многозоновая система, это делается не ради повышения емкости, а в первую очередь ради расширения зоны действия, причем размеры ячеек (зон) остаются достаточно большими. Централизованное управление совокупностью зон остается при этом ограниченным, как и передача обслуживания из зоны в зону, которая, если она вообще реализуется, приводит к кратковременному прерыванию связи.

Основное применение СТС – корпоративная, служебная или ведомственная связь, например, оперативно-технологическая связь на железнодорожном транспорте, служебная связь пожарной службы или полиции с числом выходов (каналов) «в город», значительно меньшим числа абонентов системы.

Абоненты и операторы предъявляют к профессиональным сетям транкинговой связи следующие требования:

- обеспечение связи в заданной зоне обслуживания независимо от местоположения мобильных (подвижных) абонентов (МА);
- возможность взаимодействия отдельных групп абонентов и организации циркулярной связи;
- оперативность управления связью, в том числе на различных уровнях;
- обеспечение связи через центры управления;
- возможность приоритетного установления каналов связи;
- низкие энергетические затраты подвижной станции (ПС);
- конфиденциальность разговоров.

Для повышения пропускной способности обычно накладываются ограничения на длительность разговора, а специфика корпоративной связи находит отражение в системе приоритетов пользователей, учитываемых при предоставлении канала связи в условиях очереди, и в объединении абонентов в группы с возможностью диспетчерского вызова одновременно всех абонентов группы. Та же специфика обуславливает более высокие в среднем по сравнению с сотовой связью требования к оперативности и надежности установления связи.

Кроме информации речи в СТС возможна передача и некоторых других видов информации, в частности, цифровой – управления, телеметрии, охранной сигнализации и др.

Общей тенденцией развития профессиональных систем подвижной радиосвязи является переход от аналоговых стандартов к единым международным цифровым стандартам, обеспечивающим конфиденциальность и повышенное качество связи, более эффективное использование частотного диапазона, роуминг для всех абонентов и возможность передачи данных с высокой скоростью.

1.4. Сети персонального радиовызова

Сети персонального радиовызова (СПР), или пейджинговые сети (paging – вызов), – это сети односторонней мобильной связи, обеспечивающие передачу коротких сообщений из центра системы (с пейджингового терминала) на миниатюрные абонентские приемники (пейджеры).

Следует сказать о том, что пейджинговая связь использовалась на очень коротком промежутке времени. В настоящее время не используется.

Однако рассмотрим принципы ее организации как исторический факт.

В простейшем случае СПР состояла из пейджингового терминала (ПТ), базовой станции (БС) и пейджеров. Терминал, включающий пульт оператора и контроллер системы, выполнял все функции управления системой. БС состояла из радиопередатчика и антенно-фидерного устройства и обеспечивала передачу пейджинговых сигналов на всю зону действия системы, радиус которой мог составлять до 100 км.

Пейджеры осуществляли прием тех сообщений, которые им адресованы. В более сложных случаях СПР могла иметь несколько радиопередатчиков, по возможности равномерно распределенных в пределах зоны действия, что позволяло более надежно обеспечить связью всю зону.

В СПР могли передаваться сообщения четырех типов: тональные, цифровые, буквенно-цифровые (БЦ), речевые. Тональные сообщения были единственным типом сообщений в ранних моделях пейджеров. Цифровое сообщение могло содержать номер телефона, по которому следует позвонить. Наиболее распространенное БЦ сообщение могло содержать практически любой текст, длиной до 100–200 и более символов. Цифровое или БЦ сообщение отображалось на дисплее пейджера, который мог иметь от одной до восьми строк, до 12–20 символов в строке. Длинные сообщения отображались по частям.

Передача речевых сообщений широкого распространения не получила. Вызов абонента, т. е. адресация сообщения, могла осуществляться одним из трех способов:

- индивидуально,
- нескольким абонентам (общий вызов),
- группе абонентов (групповой вызов ГВ).

В первом случае вызов адресовался конкретному абоненту по его индивидуальному номеру, во втором – нескольким абонентам с последовательной передачей их индивидуальных номеров, в третьем – вызов адресовался одновременно группе абонентов по общему групповому номеру.

Сообщения, подлежащие передаче, также вводились в систему одним из трех способов:

- голосом через телефонные сети (ТС) и оператора пейджинговой связи;
- через телефонные сети с тональным набором – сообщение набирается на клавиатуре телефонного аппарата (ТА) и проходило сразу на пейджинговый терминал (ПТ) минуя оператора;
- через ТС с ПК с набором сообщения на пульте компьютера и выходом также непосредственно на ПТ.

Основная отличительная особенность пейджинговой связи, имеющая качественный характер, это асинхронная передача информации, т. е. работа вне реального времени (РВ). Другими словами сообщение передается не в момент его выдачи отправителем, а в порядке очереди с аналогичными сообщениями других отправителей, хотя практически задержка от момента получения сообщения до его передачи в эфир невелика, обычно она не превышает нескольких минут. В сочетании с краткостью сообщений, передаваемых, как правило, только в одну сторону, обеспечивается весьма эффективное использование канала связи. Канал связи по числу обслуживаемых абонентов, минимум на два порядка используется более эффективно, чем в сотовой связи. В результате пейджинг оказывается технически проще и экономичнее сотовой связи, т. е. в конечном итоге значительно дешевле для абонента.

Кроме сообщений, предназначенных конкретным абонентам или группам абонентов, в пейджинговых системах мог быть организован своеобразный общий информационный канал, содержащий оперативную информацию о новостях, погоде, обстановке на дорогах и т. п. В пейджерах, как правило, предусматривается ряд дополнительных услуг: часы, календарь, возможность регулировки типа и громкости звукового сигнала, сохранение в памяти полученных ранее сообщений с возможностью их повторного чтения и др.

Сети персонального радиовызова предоставляли услуги удобного и относительно дешевого вида мобильной связи, но с существенными ограничениями: связь односторонняя, и только в виде коротких сообщений. Поэтому пейджинг удачно дополняет сотовую связь, но никак не заменяет обычного телефонного общения, позволяющего вести диалог в РВ.

1.5. Сети мобильной спутниковой связи

В последние годы человечество все более активно начинает использовать сети мобильной спутниковой связи (СПСС).

Наиболее актуальным направлением развития и применения мобильной спутниковой связи является:

- расширение сотовых сетей;

- использование спутниковой связи взамен сотовой в тех районах, где ее развертывание нецелесообразно, например, из-за низкой плотности населения;
- использование спутниковой связи в дополнение к существующей сотовой, например, для обеспечения роуминга при несовместимости стандартов или в каких-либо чрезвычайных ситуациях;
- при передаче информации в глобальном масштабе;
- в акваториях Мирового океана или в местах разрывов наземной инфраструктуры и т. д.

Например, при удалении пользователя за пределы зоны обслуживания местных сотовых сетей спутниковая связь играет ключевую роль, поскольку она не имеет ограничений по привязке абонента к конкретной местности.

Аналитики делали прогнозы, что к началу XXI в. сотовыми сетями связи будет охвачено более 25–30 % земной поверхности. Однако, организация связи с помощью сотовых систем не всегда представляется возможной, поэтому во многих регионах мира спрос на услуги подвижной связи может быть эффективно удовлетворен только с помощью спутниковых систем.

Так же результаты анализа показывают, что спутниковая связь очень хорошо сочетается с сотовой связью. Это обусловлено тем, что разработчиками систем спутниковой связи предусмотрена высокая степень интеграции с сотовой связью. Например, кроме абонентских терминалов, предназначенных для работы со спутниковыми системами передачи, в настоящее время создаются и успешно используются двухрежимные терминалы, предназначенных для работы, как в спутниковых, так и в сотовых стандартах.

Для абонента пользование спутниковым терминалом не требует специальных знаний. Набор номера производится пользователем с помощью клавиатуры, как и при пользовании, обычным телефоном. Система автоматически выделяет свободный канал и закрепляет его за собеседниками на время разговора. Как правило, используется уплотнение (временное, частное или кодовое), хорошо зарекомендовавшее себя в многоканальной связи.

Различные, СПСС обладают своими особенностями, обусловленными, главным образом, характеристиками их орбитальных группировок, но в сфере пользовательских характеристик и предоставляемых услуг они имеют много общего, как между собой, так и с наземными сотовыми системами. Передача всех видов информации ведется в цифровой форме со скоростями от 1200 до 9600 бит/с. Телефонный режим связи организуется с помощью встроенных в АТ устройств, преобразования скорости передачи сигналов. Кроме дуплексной телефонной связи, персональные АТ позволяют подключать компьютер и поддерживают разнообразный набор услуг, таких как передача факсимильных сообщений, электронная и голосовая почта, персональный вызов и приоритетное обслуживание, шифрование, а также определение местоположения абонента.

В новых проектах космических аппаратов (КА) предполагается использование передовых технологий, позволяющих повысить пропускную способность

каналов связи и улучшить энергетические характеристики технических средств. При проектировании и внедрении систем космической связи особое внимание уделяется их сопряжению с наземными сетями, прежде всего, с центрами или узлами коммутации того или иного уровня, использованию международных стандартов (МС) для сетевых интерфейсов и протоколов обмена, сигнализации, нумерации.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите и охарактеризуйте, на какие классы подразделяются радиостанции.
2. Перечислите и охарактеризуйте основные параметры, которые присущи всем типам радиостанций.
3. Расскажите о назначении и организации сотовой связи.
4. Расскажите о назначении и организации сетей транкинговой связи.
5. Расскажите о назначении и организации сетей связи персонального вызова.
6. Расскажите о назначении и организации сетей мобильной спутниковой связи.

Глава 2.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ

2.1. Радиоволны и принципы их распространения

Целью изучения данной главы является ознакомление с общими принципами организации радиосвязи, изучение структурных схем систем радиосвязи, основных функциональных узлов радиопередатчиков и радиоприемных устройств, знакомство с основными техническими показателями приемопередающих устройств.

Прежде чем говорить о принципах радиосвязи следует решить вопрос, а кем же впервые была открыта радиосвязь?

Говорить о конкретном изобретателе радио в принципе неправильно, так как слишком много людей в разное время сделали свой вклад в развитие этой технологии. Здесь и Томас Эдисон, и Никола Тесла, и Александр Попов, и Гульельмо Маркони, и многие другие.

Интересно, что во многих странах есть свой изобретатель радио. Споры о том, кто был первым, велись долго, и на то было много причин.

В России традиционно считалось, что радио изобрел Александр Попов. Да, Попов проводил успешные эксперименты в области передачи данных, начиная с 1895 года, однако его изобретение было сильно усовершенствовано иностранными коллегами. К тому же Попов не патентовал свою работу.

Безусловно, вклад Попова в развитие радио нельзя недооценивать. Однако считать его единственным изобретателем радио неверно. Мнение, что Александр Попов изобрел радио, во многом было навязано пропагандой СССР, когда все возможные и невозможные изобретения пытались приписать Советскому союзу.

Также противостояние вели Тесла и Маркони. Никола Тесла утверждал, что провел эксперименты по беспроводной передаче сигнала раньше 1896 года, когда это сделал Маркони. Однако Маркони, обладавший коммерческой жилкой, успел запатентовать изобретение первым.

Заслуга этого человека в том, что именно он смог найти прежде лишь теоретическим идеям действительно широкое практическое применение.

Настоящей сенсацией в 1901 году стала передача радиосигнала на расстояние 3200 километров. Тогда многие ученые считали, что радиоволна не может распространиться на такую дальность из-за шарообразной формы Земли.

Возникает вопрос, а что такое радиоволна? Волна – это колебание. Например, морская волна – это колебание поверхности воды. А радиоволна – изменение электромагнитного поля, распространяющееся в пространстве.

Так же как и свет, радиоволны представляют собой электромагнитное излучение. Разница лишь в частоте и длине волны. Скорость распространения радиоволны в вакууме равна примерно 300 000 километров в секунду.

На рисунке 1 приведен весь спектр электромагнитных колебаний и показано место радиоволн в нем.

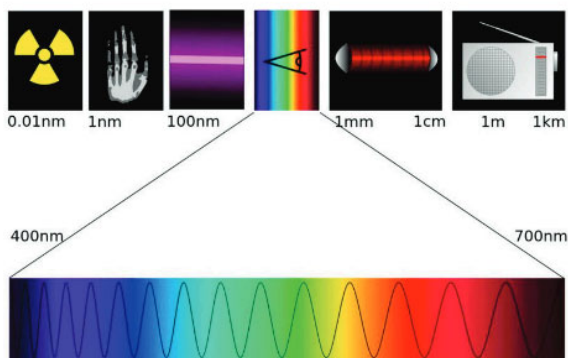


Рисунок 1 – Спектр электромагнитных колебаний

Радиоволна – это сигнал. То, что передает информацию. Радиоволны делятся на диапазоны: от субмиллиметровых до сверхдлинных. Для каждого диапазона волн характерны свои особенности распространения.

Например, чем больше длина волны и чем меньше частота, тем больше волна способна огибать преграды. Длинные волны огибают всю планету. В связи с этим все маяки и спасательные станции настроены на волну длиной 6 метров и частотой 500 кГц.

Средние волны подвержены поглощению и рассеиванию сильнее. Они могут распространяться на расстояние около 1500 км.

Короткие волны проходят небольшие расстояния, их энергия поглощается поверхностью планеты.

На рисунке 2 показано как распространяются радиоволны в зависимости от их длины.

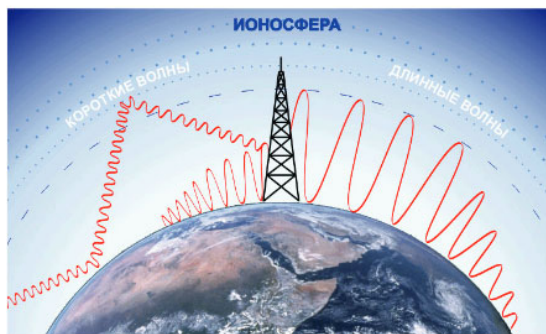


Рисунок 2 – Принципы распространения радиоволн в зависимости от их длины

Для лучшего понимания того, как работает радиосвязь, следует уяснить несколько ключевых моментов.

2.2. Модуляция – основной параметр радиопередачи

Основой передачи информации с помощью радиопередающей аппаратуры является радиоволна. Она представляет собой синусоиду, колебания векторов напряженности магнитного и электрического полей. Возникает вопрос «Где же здесь информация?», и в этом вопросе есть резон.

Сама по себе синусоида не несет никакой информации. Для передачи данных используется модуляция сигнала, причем существуют разные виды модуляции:

- амплитудная;
- фазовая;
- частотная;
- амплитудно-частотная.

Например, аббревиатура FM означает *frequency modulation* – частотная модуляция.

Модуляция – это изменение одного из параметров сигнала.

Частотная модуляция – это изменение частоты.

Амплитудная – соответственно, амплитуды.

Конечно, изменение не простое, а несущее в себе информацию.

У нас есть несущий сигнал, который представляет собой высокочастотный определенной частоты (Мегагерцы) синусоидальный сигнал. Также низкочастотный (речь, звук, музыка) в диапазоне 20–20000 Гц информационный сигнал. На рисунке 3 показано как выглядит спектр низкочастотного сигнала. Это – информационный сигнал.

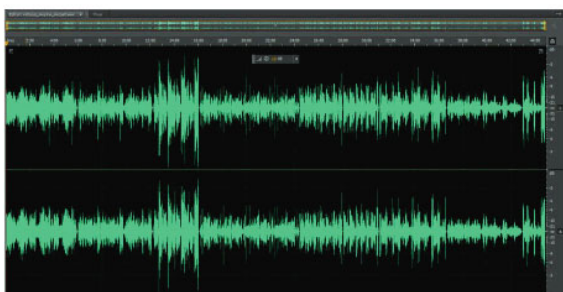


Рисунок 3 – Вид передаваемого низкочастотного сигнала

Однако передать этот сигнал в таком виде не представляется возможным.

Чтобы передать его на расстояние, эту информацию нужно зашифровать, промодулировать высокочастотный сигнал – низкочастотным. Модуляция несущего сигнала позволяет зашифровать в нем информацию. Причем параметр этого сигнала изменяется в соответствии с информационным сигналом.

Поэтому любое радиоприемное устройство содержит приемник и передатчик.

- Передатчик должен отправить сигнал, а приемник – принять его. При этом передатчик не просто передает, а кодирует сигнал, применяя модуляцию.
- Приемник должен произвести обратное действие, то есть декодировать сигнал. И вот тогда мы получим тот же сигнал, что нам передали. Далее сигнал отправляется на усилитель, с усилителя – на динамик.

Рассмотрим вопрос, когда необходимо передать с помощью радиоволн человеческую речь или музыку от одного абонента к другому. Для этого нужно преобразовать звуковые колебания в электрические, а последние с помощью антенны преобразовать в электромагнитные волны, чтобы затем в приемном пункте электромагнитные волны снова превратить в звуковые.

Звуковые колебания, воспринимаемые человеческим слухом, как было сказано выше, лежат обычно в полосе частот от 20 до 20 000 Гц, т. е. такие колебания создадут волны длиной от 15 000 до 15 км. Антенны же могут эффективно излучать электромагнитные колебания только тогда, когда их размеры соизмеримы с длиной волны. Естественно, что такого размера антенну создать просто невозможно, да и построить передатчик такой мощности, чтобы передать такую длину волны, весьма проблематично. В этом случае нужно использовать высокочастотные колебания, которые создадут приемлемую длину волны.

Однако сами по себе колебания высокой частоты информацию не несут. Посылать их по линии связи бесполезно. Так же бесполезно, как посылать телеграмму с адресом, но без текста: она дойдет сравнительно быстро, но ее получатель сведений не получит.

Таким образом, в нашем распоряжении есть сообщение, содержащее информацию, но не способное дойти до получателя. Есть и высокочастотное колебание, которое найдет своего получателя, но не принесет ему информацию.

Единственным способом решения данной проблемы выполнить наложение на высокочастотное колебание отпечаток сообщения, т. е. использовать высокочастотное колебание лишь в роли переносчика сообщения, содержащего информацию. С этой целью нужно изменять один или несколько признаков (параметров) несущего колебания в соответствии с изменениями сообщения. Тогда мы получим высокочастотное колебание с меняющимися во времени параметрами по закону передаваемого сообщения. Рассмотренный нами процесс называется *модуляцией*. На рисунке 4 показаны процессы модуляции и демодуляции передаваемого сигнала.

1) До момента времени $t = t_0$ от источника информации в передающее устройство сообщение не поступает. Поэтому напряжение, снимаемое с микрофона, постоянно $= U_0$, модуляции не происходит и напряжение радиосигнала, которое генератор высокой частоты создает на зажимах передающей антенны, имеет постоянные амплитуду U_0 , которое имеет минимальное значение обусловленное шумами источника информации и преобразователя и несущую частоту $\omega_0 = 2\pi f_0$.

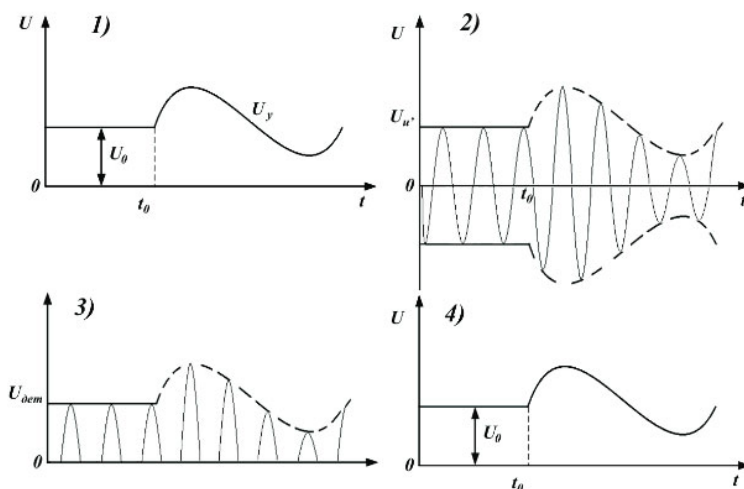


Рисунок 4 – Процессы, происходящие при модуляции и демодуляции передаваемого сигнала

2) С момента поступления звукового сообщения ($t = t_0$) оно преобразуется микрофоном в управляющий сигнал низкой частоты U_y . Этим сигналом модулируются колебания генератора высокой частоты. В данном случае предполагается амплитудная модуляция, т. е. амплитуда колебаний несущей частоты изменяется по тому же закону, что и мгновенное значение управляющего сигнала. Полученный радиосигнал U_u' , при помощи передающей антенны излучается в пространство в виде радиоволн.

3) Достигнув приемной антенны, радиоволны возбуждают на ее зажимах напряжение U_u' , совпадающее по форме с радиосигналом в передающей антенне. Кроме антенны, приемное устройство содержит детектор и телефон.

4) Детектор преобразует радиосигнал в управляющий, а телефон под воздействием управляющего сигнала воспроизводит переданное звуковое сообщение.

2.3. Структурная схема и принципы построения приемо-передающих радиостанций

Приемо-передающие радиостанции являются неотъемлемой аппаратурой, входящей в схему радиолинии.

На рисунке 5 приведена упрощенная схема радиолинии, происходит передача сообщения от радиопередающего устройства к радиоприемному.

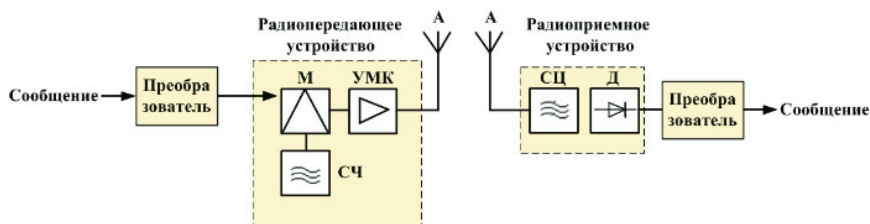


Рисунок 5 – Структурная схема радиоприемника

Передаваемое сообщение поступает в преобразователь, которым может являться микрофон, телевизионная камера или телеграфный аппарат, который преобразует его в электрический сигнал. Преобразованный сигнал поступает на радиопередающее устройство, состоящее из модулятора (М), синтезатора несущей частоты (СЧ) и усилителя модулированных колебаний (УМК). С помощью модулятора один из параметров высокочастотного колебания изменяется по закону передаваемого сообщения. С помощью антенны (А) энергия радиочастотных колебаний передатчика излучается в тракт распространения радиоволн.

На приемном конце радиоволны наводят ЭДС в антенне. Радиоприемное устройство с помощью селективных (избирательных) цепей (СЦ) отфильтровывает сигналы от помех и других радиостанций.

Модулированный сигнал, достигнув антенны приемника должен быть протектирован. На рисунке 6 показана упрощенная схема амплитудного детектора.

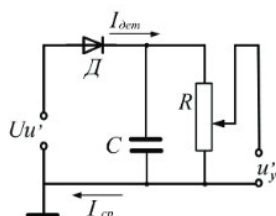


Рисунок 6 – Упрощенная схема амплитудного детектора

Схема детектора состоит из элемента, обладающего односторонней проводимостью, в рассматриваемом случае диода D и сопротивления нагрузки R , блокированного конденсатором C . Благодаря диоду ток в цепи детектора $I_{дет}$ идет только в одном направлении и представляет собой импульсы, амплитуда которых изменяется во времени по закону управляющего сигнала. Анализ любого пульсирующего тока показывает, что в его состав входят средний ток $I_{ср}$, имеющий форму огибающей пульсирующего тока, и переменные токи, изменяющиеся относительно среднего тока. В схеме детектора средняя составляющая пульсирующего тока совпадает по форме с управляющим сигналом, а остальные составляющие этого тока высокочастотные.

Для разделения токов высокой и низкой частоты емкость конденсатора C (рис. 6) подбирается такой, чтобы емкостное сопротивление конденсатора для частоты управляющего сигнала было значительно больше,

$$\frac{1}{\omega_0 C} \ll R \ll \frac{1}{\Omega C} \quad (2.1)$$

а для несущей частоты ω_0 — значительно меньше активного сопротивления R . При таком соотношении высокочастотные токи замыкаются преимущественно через емкость, а средний низкочастотный ток — через активное сопротивление.

В результате с нагрузки детектора снимается напряжение $u_y = I_{cp} \cdot R$, которое изменяется по закону управляющего сигнала.

Для качественного детектирования необходимо, чтобы на входе детектора уровень сигнала был достаточно велик по сравнению с уровнем помех. Например, полупроводниковый детектор работает хорошо, если его входное напряжение превышает 0,1–0,3 в. В большинстве случаев к приемнику подводятся более слабые сигналы, так как радиоволны в процессе распространения рассеиваются в пространстве и поглощаются в атмосфере, земле и окружающих предметах. Подчас на вход приемника поступает 10^{-20} мощности радиоволн, излучаемых передающей антенной.

Чтобы в таких условиях получить требуемый по амплитуде сигнал, делают следующее:

а) высокочастотный генератор дополняют *усилителем мощности высокой частоты*. Тогда несущая частота тока в передающей антенне задается первым каскадом — задающим генератором, а число каскадов в усилителе мощности определяется требуемой мощностью тока в антенне.

Очевидно, более мощные колебания несущей частоты нужно промодулировать более мощным управляющим сигналом. В связи с этим между микрофоном и усилителем мощности высокой частоты вводят усилитель низкой частоты, называемый *модулятором*;

б) направленные свойства антенн используют не только для пространственной избирательности, но и для усиления потока энергии радиосигнала в направлении линии радиосвязи;

в) чувствительность приемника увеличивают путем включения между входной цепью и детектором усилителя высокой частоты (УВЧ), а нагрузку УВЧ выбирают такой, чтобы усилитель повышал частотную избирательность приемника.

Для повышения громкости приема продетектированный сигнал усиливают в усилителе низкой частоты (УНЧ), после чего звуковое сообщение воспроизводится громкоговорителем Γp .

Качество радиосвязи оценивается в первую очередь верностью воспроизведения передаваемой информации. Верность эта тем выше, чем меньше искажений вносит каждое звено канала связи (передающее устройство, линия связи и приемное устройство).

С этой точки зрения:

- качество модулятора (включая микрофон) определяется тем, насколько его выходное напряжение достоверно воспроизводит передаваемое сообщение;
- качество амплитудной модуляции определяется соответствием огибающей радиосигнала управляющему сигналу модулятора;
- качество антенн, входной цепи и УВЧ определяется тем, насколько сохранена ими форма радиосигнала;
- качество детектора определяется соответствием выделенного детектором управляющего сигнала огибающей радиосигнала и т. д.

Рассмотренная радиолиния обеспечивает одностороннюю передачу сообщения, что приемлемо только в службах оповещения. Одностороннюю радиосвязь представляет собой, в сущности, и радиовещание, хотя в этом случае прием ведется не в одном, а во множестве пунктов. Прием во многих пунктах ведется также при циркулярной передаче: распоряжения передаются многим исполнителям одновременно.

Например, распоряжение от диспетчера к непосредственным исполнителям.

Для организации двусторонней радиосвязи в каждом пункте надо иметь и передатчик и приемник. Если при этом передача и прием на каждой радиостанции осуществляются поочередно, то такая радиосвязь называется симплексной (рис. 7, а). Двусторонняя радиосвязь, при которой связь между радиостанциями реализуется одновременно, называется дуплексной (см. рис. 7, б).

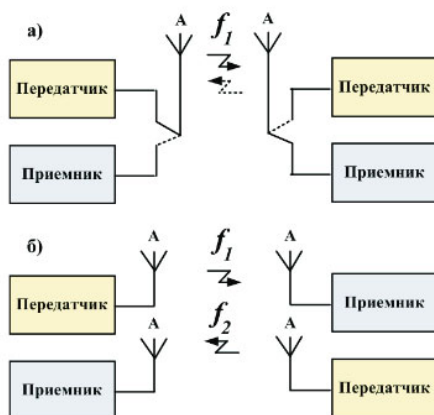


Рисунок 7 – Структурные схемы двусторонней радиосвязи
а) симплексная, б) дуплексная

При дуплексной радиосвязи передача в одном и другом направлениях ведется, как правило, на разных несущих частотах. Это делается для того, чтобы приемник принимал сигналы только от передатчика с противоположного пункта и не принимал сигналов собственного передатчика.

Для радиосвязи на большие расстояния применяют радиопередатчики мощностью в десятки и сотни киловатт. Поэтому, хотя при дуплексной связи приемник настраивается не на ту частоту, на которую настроен свой передатчик, трудно обеспечить его нормальную работу вблизи мощного передатчика. Исходя из этого, приемник и передатчик, приходится размещать на расстоянии в десятки километров друг от друга.

Симплексная связь используется, как правило, при наличии относительно небольших информационных потоков. Для объектов с большой нагрузкой характерна дуплексная связь.

Если необходимо иметь радиосвязь с большим числом объектов, то организуется так называемая радиосеть (рис. 8).

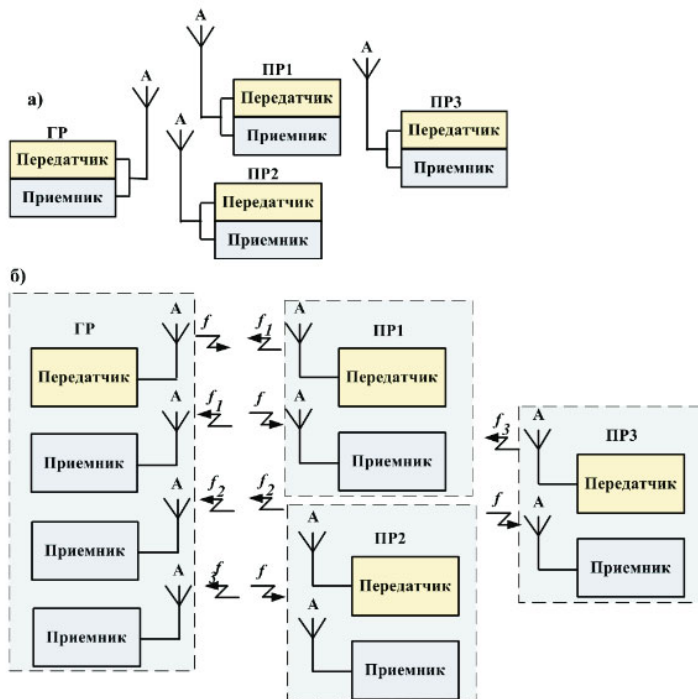


Рисунок 8 – Структурные схемы радиосетей
а – сложный симплекс; б – сложный дуплекс

Одна из радиостанций, называемая главной (ГР), может передавать сообщения как для одного, так и для нескольких подчиненных объектов. Ее радист-оператор следит за порядком в радиосети и устанавливает очередность работы на передаче подчиненных станций (ПР).

Подчиненные станции, в свою очередь, при соответствующем разрешении могут обмениваться информацией не только с ГР, но и между собой. Этот вари-

ант организации радиосети может быть построен на основе как сложного симплекса (рис. 8, а), так и сложного дуплекса (рис. 8, б). В первом случае возможно использование совмещенных приемопередатчиков и общей рабочей радиоволны (частоты). Во втором случае ГР ведет передачу на одной частоте, а принимает на нескольких, по числу подчиненных радиостанций. Несмотря на различие в частотах приема и передачи, здесь, как и при простом дуплексе, необходимо располагать приемник и передатчик на удалении друг от друга. Иначе из-за помех, создаваемых передающим устройством, одновременный прием сообщений может стать невозможным. На рисунке 8 показаны структурные схемы сложной симплексной и сложной дуплексной сетей радиосвязи.

Центры крупных промышленных районов соединяются линиями радиосвязи со многими пунктами. В этих условиях передатчики и передающие антенны располагают на радиостанции, которую называют передающим радиоцентром. Приемники и приемные антенны располагают на приемном радиоцентре.

Процессы в электроэнергетических сооружениях, на электрифицированных железных дорогах, в электрических установках и бытовых электроприборах, множество которых имеется в городах, связаны с излучением электромагнитных волн. Поскольку эти излучения могут быть помехами радиоприему, приемный радиоцентр обычно помещается в стороне от населенных пунктов и железных дорог. Для соединения источников сообщения с радиопередатчиками и радиоприемниками и контроля качества радиосвязи в городах оборудуют радиобюро.

В реальных условиях наряду с полезными радиосигналами на приемник воздействуют посторонние колебания высокой частоты, называемые *помехами*.

2.4. Понятие радиопомех и их классификация

Помехой радиоприему называют любой вид электрических колебаний, которые проникают в радиоприемные устройства извне или возникают внутри его и затрудняют прием радиосигнала. Радиосигнал и помеха, одновременно действующие на входе приемника, воспроизводятся на выходе последнего в виде случайного колебательного процесса. В результате оказывается невозможным точно определить параметры сигнала, несущего полезное сообщение, и неизбежно возникают ошибки при его воспроизведении. Нормальный прием сигнала возможен только при определенном соотношении мощностей (или напряжений) сигнала и помехи на выходе приемника. Наименьшая мощность сигнала, при которой обеспечивается удовлетворительный прием, зависит от уровня помех, и эта величина мощности характеризует чувствительность приемника.

Способность радиоприемного устройства воспроизводить с заданным качеством принимаемый сигнал при наличии помех называется помехоустойчивостью. Улучшение помехоустойчивости, радиоприемных устройств – одна из основных и труднейших проблем радиотехники. Для успешного решения ее необходимо изучить свойства и характер воздействия помех на приемник, а затем определить способы ослабления их влияния на качество приема.

Прежде всего, помехи можно разделить на внутренние и внешние.

Внутренние помехи возникают в самом приемнике или передатчике. Источником внутренних помех может быть любой радиоэлемент, из которых состоит схема приемника. Это могут быть транзисторы, резистор и другие элементы, режим работы которых не соответствует техническим нормам. Другими словами элемент работает, но его параметры отличаются от параметров рабочего режима.

Внешние помехи возникают вне радиоприемного устройства и проходят на его выход через весь тракт от антенны или проникают непосредственно через элементы приемника, а также через цепи питания.

Внешние помехи можно классифицировать по происхождению. При этом различают:

- атмосферные помехи, возникающие в результате электромагнитных процессов в атмосфере Земли;
- космические помехи, обусловленные радиоизлучением звезд и межзвездного газа;
- промышленные помехи, которые создаются всевозможными электроустановками, применяющимися на производстве и в быту;
- помехи от радиостанций других систем радиосвязи.

Помехи любого происхождения классифицируют как периодические, импульсные и гладкие (или флуктуационные).

Периодические помехи – это, прежде всего, помехи, создаваемые радиостанциями других систем радиосвязи. Они сосредоточены в определенных участках диапазона, спектр их имеет дискретный характер.

Импульсные и гладкие помехи имеют непрерывный спектр. Гладкие или флуктуационные помехи можно представить как большое число очень коротких импульсов, хаотически следующих друг за другом. Энергия составляющих спектра импульсной помехи убывает с повышением частоты. В спектре гладкой помехи энергия распределена равномерно. Примером импульсных помех могут служить атмосферные помехи, примером гладких помех – внутренние шумы приемника. Наконец, помехи делятся на активные и пассивные.

Активные помехи создаются генерирующими источниками. К ним относятся все виды помех атмосферного, космического, промышленного и внутреннего происхождения.

Пассивные помехи возникают в результате особенностей распространения электромагнитных волн. К ним относятся замирания и эхо-сигналы.

В связи с этим необходимо бороться с помехами.

Под помехоустойчивостью понимают способность радиоприемного устройства противостоять вредному воздействию помех на воспроизводимое сообщение. При оценке частотной избирательности радиоприемного устройства предполагалось, что помеха находится вне полосы пропускания. В действительности спектры сигнала и помех перекрываются. В результате помеха всегда есть не только на входе радиоприемника, но и на его выходе. Это учитывается при определении реальной чувствительности. Среди всех возможных помех ис-

ключительное место занимает принципиально неустранимая флуктуационная помеха теплового шума, спектр которого простирается от частот в долю герца до 1012–1013 Гц. Поскольку энергия такого шума распределена равномерно по спектру, как и у белого света, его называют белым. Шум относится к процессам случайным, подчиняющимся статистическим законам.

Следовательно, сигнал вместе с шумом на выходе приемника воспроизводится также в виде случайного процесса. Случайный процесс характерен тем, что он не может быть предсказан точно, а только с некоторой степенью вероятности. Отсюда и невозможность точного определения параметров сигнала, несущего полезное сообщение, что приводит к неизбежным ошибкам при воспроизведении последнего.

В связи с этим повышение помехоустойчивости радиоприема оказывается возможным только на основе учета различия статистических свойств сигнала и шума. Такую задачу решает статистическая теория радиоприема, основывающаяся на работах А. Н. Колмогорова, Н. Винера, на теории потенциальной помехоустойчивости В. А. Котельникова, теории информации К. Шеннона, которые, в свою очередь, опираются на теорию вероятностей и математическую статистику. В силу последнего не представляется возможным излагать здесь положения статистической теории радиоприема. Ограничимся лишь перечислением решаемых ею задач, которые заключаются:

- в определении оптимальных алгоритмов обработки входного сигнала;
- в отыскании технического воплощения оптимальных алгоритмов;
- в определении характеристик качества работы оптимальных приемников и выявление зависимости характеристик качества оптимальных приемников от параметров и вида модуляции.

Впервые проблему отыскания оптимального приемника, обеспечивающего минимальное по заданному признаку отличие воспроизводимого сообщения от исходного сообщения и исследование его свойств, было рассмотрено В. А. Котельниковым. Он ввел понятие потенциальной помехоустойчивости, то есть предельно достижимой помехоустойчивости для заданных условий приема. При данной структуре помехи и данного сигнала потенциальной помехоустойчивостью обладает так называемый идеальный приемник. Зная потенциальную помехоустойчивость, можно судить о неиспользованных возможностях ее повышения и целесообразности усовершенствования реального приемника.

Теория потенциальной помехоустойчивости является более общим решением задачи радиоприема сигналов на фоне шумов с применением оптимальных линейных фильтров.

Оптимальные фильтры в зависимости от принятого критерия качества обеспечивают максимальное отношение сигнал/шум или минимальную среднеквадратичную ошибку в воспроизведении сообщения.

Фильтры первого типа обеспечивают фильтрацию модулированных сигналов до детектора.

Фильтры второго типа выделяют из шума весь сигнал, а не только один или несколько его параметров и могут включаться в последетекторном тракте.

Оптимальный фильтр согласуется со спектром сигнала по форме и ширине и поэтому называется согласованным.

2.5. Избирательность и взаимные помехи одновременно работающих радиостанций

Избирательность – это способность радиоприемного устройства (РПрУ) выделять сигнал, ослабляя действие мешающих процессов (помех). Избирательность, также ее называют селективностью, основана на использовании тех или иных различий сигналов и помех.

Виды избирательности можно классифицировать следующим образом:

- **Пространственная избирательность** – достигается с помощью остро-направленных приемных антенн или путем электронного управления синтезированной диаграммой направленности;
- **Поляризационная** – реализуется с помощью приемных антенн, которые настраиваются на вид поляризации волны полезного сигнала;
- **Временная** – (при приеме импульсных сигналов) такая избирательность достигается отпиранием приемника на время действия сигнала;
- **Частотная избирательность** – разделение сигналов осуществляется с помощью применения резонансных цепей и фильтров (односигнальная и многосигнальная);
- **Односигнальная избирательность** – определяется амплитудно-частными характеристиками АЧХ фильтров усилительного тракта (УТ) при действии на его входе только одного малого сигнала не вызывающего нелинейных эффектов. Количественно односигнальная избирательность РПрУ – величина, обратная $g(f)$;
- **Идеальная характеристика избирательности** – прямоугольная с полосой пропускания, равной ширине спектра сигнала. Такая характеристика обеспечивает неискаженное воспроизведение спектра сигнала и бесконечно большое подавление любой внеполосной помехи;
- **Многосигнальная избирательность** – характеризуется тем, что в большинстве систем радиосвязи сигнал принимается на фоне одной или нескольких помех. При этом нелинейность УТ приводит к следующим эффектам;
- **Перекрестная модуляция** – перенос модуляции помехи на полезный сигнал;
- **Сжатие амплитуды сигнала** – нарушение линейной зависимости между амплитудами сигнала на выходе и входе УТ (переходная характеристика). Этот эффект наблюдается в режиме большого полезного сигнала;
- **Блокирование полезного сигнала** – возникает в следствие уменьшения коэф. Усиления УТ, но под действием сильных мешающих сигналов с частотами отличающимися от частот основного и побочного канала приема;

- **Интермодуляция** – проявляется при воздействии на нелинейный элемент двух или более процессов. Как следствие на выходе этого элемента возникает сложный спектр интермодуляционных колебаний.

В современных условиях радиоэлектронные устройства широко используются в самых различных, часто практически не связанных друг с другом областях человеческой деятельности. При этом увеличивается мощность излучаемых сигналов, улучшается чувствительность приемных устройств, расширяются спектры модулирующих сигналов, в связи с чем возрастают полосы пропускания приемных устройств, что создает электромагнитную обстановку на определенной территории.

Электромагнитная обстановка – это совокупность электромагнитных полей и колебаний в заданных областях пространства, полосе частот и интервале времени.

Освоенный диапазон радиочастот уже в настоящее время «перегружен» излучениями радиотехнических систем, работающих в различных радиосетях и создающих взаимные помехи, уровень которых непрерывно повышается.

Интенсивность этих помех подчас оказывается настолько высокой, что нормальное функционирование приемной аппаратуры становится невозможным. Известно, что как приемные, так и передающие устройства радиотехнических систем помимо основных, рабочих, всегда имеют неосновные, паразитные, частотные каналы излучения и приема. Также, антенны этих устройств помимо основных, всегда имеют боковые лепестки диаграмм направленности. Поэтому взаимные помехи могут возникать как в системах, работающих на несовпадающих, подчас достаточно далеко разнесенных друг от друга частотах, так и в системах, имеющих перекрывающиеся по основным лепесткам диаграммы направленности антенн.

Условия работы радиоприемников часто существенно ухудшаются из-за воздействия помех, порождаемых различного рода электрическими системами и установками, не имеющими своим назначением излучение электромагнитной энергии. Такими установками являются электродвигатели, которые содержат искрящие контактные группы, системы зажигания двигателей внутреннего сгорания, линии электропередачи, аппараты дуговой сварки и т. д. Уровень подобных помех, получивших название индустриальных, различен в разных областях земного шара и существенно колеблется в зависимости от времени года и суток. Он поддается лишь сугубо приближенному прогнозированию, но имеет устойчивую тенденцию к росту. Уже в настоящее время в большинстве районов этот уровень превышает уровень естественных шумов атмосферного и космического происхождения и накладывает ограничения на возможности реализации высокочувствительных приемных каналов радиотехнической аппаратуры.

Современные условия работы радиоэлектронных средств (РЭС) привели к возникновению проблемы их электромагнитной совместимости (ЭМС).

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств – это способность радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них

непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам.

По существу эта проблема сводится к изысканию возможностей создания РЭС с совокупностью свойств, определяемых, прежде всего:

- характеристиками паразитных каналов излучения и приема;
- структурой спектра рабочего сигнала, а также условий, характеризующих размещением РЭС на местности;
- разном по рабочим частотам, временным регламентированием работы, при которых не возникало бы помех, нарушающих функционирование других РЭС и, в то же время, обеспечивалось нормальное протекание процессов в своих приемных каналах.

Естественно, что успешное решение проблемы ЭМС может быть осуществлено лишь в том случае, когда уровень промышленных помех в месте размещения РЭС не будет чрезмерно большим. Поэтому важной является задача регламентации и отыскания путей уменьшения уровня промышленных помех.

Решение задач ЭМС связано также с повышением общего уровня помехозащищенности приемных устройств радиотехнической аппаратуры. Однако в силу ряда специфических особенностей проблема ЭМС имеет и самостоятельное значение.

Задача обеспечения электромагнитной совместимости РЭС не является новой. Вопрос о рациональном использовании радиочастотных диапазонов и нормирование допустимых уровней радионизлучений, как по основным, так и паразитным каналам решался давно. Разработаны общесоюзные нормы на стабильность частот и интенсивность побочных и внеполосных излучений передающих устройств, допустимые уровни промышленных помех, ширину спектров излучаемых сигналов и другие. Имеются соответствующие рекомендации международных организаций и конференций. Вместе с тем наблюдаются чрезвычайно высокие темпы роста количества РЭС в условиях уже имеющей место практически полной «загрузки» наиболее широко используемых радиочастотных диапазонов, непрерывно расширяется круг задач, решаемых этими средствами, повышаются мощности излучаемых сигналов, быстро увеличивается уровень промышленных помех в наиболее важных районах земного шара. Все это создает качественно новую электромагнитную обстановку, которая требует тщательной разработки и неуклонного выполнения целого комплекса мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость радиотехнических и электрических устройств.

Чтобы исключить взаимные помехи одновременно работающих радиостанций, каждой из них отводят вполне определенную несущую частоту и в состав приемника вводят схемы, осуществляющие избирательность (селекцию) сигналов по различным параметрам. Для проблемы используются различные способы ее решения:

Территориальный разнос радиоэлектронных средств – регламентация размещения радиоэлектронных средств на территории и (или) в пространстве

для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Частотный разнос радиоэлектронных средств – регламентация размещения радиоэлектронных средств на территории и (или) в пространстве для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Частотно-территориальный разнос радиоэлектронных средств – регламентация размещения и выбора рабочих частот радиоэлектронных средств на территории и (или) в пространстве для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Минимально необходимый частотный разнос радиоэлектронных средств – минимально необходимая разность между рабочими частотами двух радиоэлектронных средств, при которой обеспечивается электромагнитная совместимость между этими средствами.

Частотное ограничение – регламентация работы радиоэлектронного средства в заданных полосах частот для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Пространственное ограничение – регламентация работы радиоэлектронного средства на радиоизлучение в заданных секторах ориентации главного лепестка диаграммы направленности его антенны, для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Зона влияния радиоэлектронного средства – область пространства, за пределами которого данное радиоэлектронное средство создает допустимые радиопомехи другому радиоэлектронному средству.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о назначении и работе схемы амплитудного детектора.
2. Используя структурную схему двухсторонней радиосвязи, расскажите о назначении входящих в нее элементов.
3. Поясните, что такое радиоволна, какие радиоволны Вы знаете.
4. Расскажите что такое модуляция, какие виды модуляции используются в радиосвязи.
5. Используя структурную схему радиоприемника, расскажите о назначении входящих в нее элементов.
6. Используя структурную схему радиосети, расскажите о понятиях – сложный симплекс и сложный дуплекс.
7. Расскажите о помехах в тракте радиопередачи и способах борьбы с ними.
8. Расскажите о понятии – электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств.

Глава 3. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

3.1. Основные функциональные узлы радиопередатчика

Схема и конструкция радиопередатчика зависят от различных факторов: назначения, диапазона рабочих волн, мощности и т. д. Тем не менее, можно выделить некоторые типичные блоки, которые с теми или иными вариациями имеются в большинстве передатчиков.

Структура передатчика, представленная на рисунке 9, определяется его основными общими функциями, к которым относятся:

- получение высокочастотных колебаний требуемой частоты и мощности;
- модуляция высокочастотных колебаний передаваемым сигналом;
- фильтрация гармоник и прочих колебаний, частоты которых выходят за пределы необходимой полосы излучения и могут создать помехи другим радиостанциям;
- излучение колебаний через антенну.



Рисунок 9 – Функциональная схема радиопередатчика

Остановимся более подробно на требованиях к отдельным функциональным узлам радиопередатчика.

Генератор высокой частоты, часто называемый *задающим* или опорным генератором, служит для получения высокочастотных колебаний, частота которых соответствует высоким требованиям к точности и стабильности частоты радиопередатчиков. Для стабилизации частоты данного генератора используют кварцевые резонаторы, с помощью которых устройство вырабатывает высокостабильную частоту, которая практически не зависит от внешних факторов.

Синтезатор преобразует частоту колебаний опорного генератора, которая обычно постоянна, в любую другую частоту, которая в данное время необходима для радиосвязи или вещания. Стабильность частоты при этом преобразовании не должна существенно ухудшаться. В отдельных случаях синтезатор частоты не нужен, например, если генератор непосредственно создает колебания

нужной частоты. Однако с синтезатором легче обеспечить требуемую высокую точность и стабильность частоты, так как он,

- во-первых, работает на более низкой частоте, на которой легче обеспечить требуемую стабильность;
- во-вторых, он работает на фиксированной частоте.

Кроме того, современные синтезаторы приспособлены для дистанционного или автоматического управления синтезируемой частотой, что облегчает общую автоматизацию передатчика.

Промежуточный усилитель высокой частоты, следующий за синтезатором, необходим по следующим причинам:

- благодаря промежуточному усилителю с достаточно большим коэффициентом усиления от опорного генератора и синтезатора не требуется значительной мощности;
- применение промежуточного усилителя между синтезатором и мощным усилителем ослабляет влияние на генератор и синтезатор возможных регулировок в мощных каскадах передатчика и в антенне.

Усилитель мощности который также называют **генератором с внешним возбуждением**, служит для увеличения мощности радиосигнала до уровня, определяемого требованиями системы радиосвязи. Главным требованием к усилителю мощности является обеспечение им высоких экономических показателей, в частности коэффициента полезного действия.

Выходная цепь служит для передачи усиленных колебаний в антенну, для фильтрации высокочастотных колебаний и для согласования выхода мощного оконечного усилителя с антенной, т. е. для обеспечения условий максимальной передачи мощности.

Модулятор служит для модуляции несущих высокочастотных колебаний передатчика передаваемым сигналом. Для этого модулятор воздействует в зависимости от особенностей передатчика и вида модуляции (амплитудная, частотная, однополосная и др.) на один или несколько блоков из числа обведенных пунктиром на рисунке 9. Например, частотная модуляция может получаться в синтезаторе частоты либо (реже) в генераторе высокой частоты; амплитудная модуляция получается воздействием на мощный и промежуточный усилители.

Устройство электропитания обеспечивает подведение ко всем блокам токов и напряжений, необходимых для нормальной работы входящих в их состав микросхем, транзисторов и прочих электронных элементов, а также систем автоматического управления, устройств защиты от аварийных режимов и прочих вспомогательных цепей и устройств. Система электропитания содержит выпрямители, генераторы, аккумуляторы, инверторы для преобразования низкого постоянного напряжения в более высокое, или обратно, трансформаторы, коммутационную аппаратуру, резервные источники питания и устройства для автоматического перехода с основного источника на резервный в случае неисправностей и т. п.

На рисунке 9 не показаны многочисленные объекты вспомогательного оборудования, входящие в состав передатчика (особенно мощного), например средства автоматического и дистанционного управления; контрольно-измерительные приборы, устройства дистанционного контроля и сигнализации; устройства защиты и блокировки, выключающие цепи высокого напряжения при аварийных режимах или опасности для обслуживающего персонала и др.

Радиопередатчики диапазонов километровых, гектометровых и дециметровых волн обычно размещаются группами на специальных предприятиях – передающих радиостанциях. При большом числе передатчиков радиостанции называются *радиоцентрами*. Радиовещательные передатчики метровых и дециметровых волн, как правило, размещаются вместе с передатчиками телевизионного вещания. Предприятия связи, на которых установлены эти передатчики, называются радиотелевизионными передающими станциями (центрами).

3.2. Технические показатели радиопередатчиков

К основным показателям радиопередатчика относятся:

- диапазон радиоволн,
- мощность передатчика,
- коэффициент полезного действия передатчика и антенно-фидерного тракта,
- вид и качество передаваемых сигналов.

В соответствии с классификацией волн различают передатчики километровых, гектометровых, дециметровых и других волн. С этим различием связаны соответствующие особенности конструкций, так как в разных диапазонах различны конструкции колебательных контуров и типов усилительных элементов. Передатчик может работать на одной или нескольких выделенных для него фиксированных частотах, либо он может настраиваться на любую длину волн в непрерывном диапазоне волн.

Мощность передатчика – обычно определяется как максимальная мощность высокочастотных колебаний, поступающая в антенну при отсутствии модуляции, при непрерывном излучении. Однако этой характеристики недостаточно для оценки мощности радиопередатчика. Дело в том, что в технике радиосвязи часто приходится иметь дело с сигналами, напряжение которых изменяется в очень широких пределах и в сравнительно короткие промежутки времени может принимать значения, в несколько раз превосходящие средний уровень.

Характерным примером подобного режима может служить радиолокационный передатчик, излучающий импульсы длительностью около 1 мксек, разделенные интервалами около 1 мсек, т. е. в 1000 раз большей длительности. Если бы при проектировании передатчика расчет велся на то, что в моменты этих выбросов мощность излучения соответствовала бы номинальной мощности, то фактическая средняя мощность излучения была бы во много раз меньше. Передатчик был бы использован значительно слабее своих возможностей,

а при необходимости обеспечить большую дальность радиосвязи потребовалось бы применить передатчик значительно большей мощности.

В системах радиовещания промежутки времени, в которые амплитуда колебаний достигает максимальных значений, занимают обычно 10–20 %, длительность их доходит до десятков миллисекунд, но и в этом случае описанное временное форсирование передатчика возможно, хотя и в меньших пределах.

В соответствии со сказанным выше мощность передатчика, помимо цифры максимальной мощности, при непрерывной работе характеризуют значениями *пиковой* мощности, которая может быть обеспечена в течение ограниченных промежутков времени. Например, если средняя мощность передатчика при непрерывной работе 10 кВт, то она может доходить до 20 кВт, если длительность импульсов не превышает интервалов между ними.

Наиболее важными показателями рабочих параметров радиопередатчика являются *стабильность* излучаемой им частоты и *уровень* побочных излучений. Дело в том, что если строго соблюдается присвоенная данному передатчику частота сигнала, то настроенный на эту частоту приемник начинает принимать передаваемые сигналы тотчас после включения, не требуя подстроек. Это способствует удобству эксплуатации и высокой надежности радиосвязи, а также облегчает автоматизацию оборудования. Кроме того, частотные диапазоны, используемые для радиосвязи и вещания, переуплотнены сигналами одновременно работающих радиостанций, поэтому если частота передатчика отличается от разрешенного значения, то она может приблизиться к частоте другого передатчика, что вызовет помехи приему его сигналов.

По существующим международным нормам отклонение от номинала частоты передатчика для радиосвязи на гектометровых волнах не должно превышать 0,005 %, что для радиовещательных передатчиков составляет порядка 10 Гц. На декаметровых волнах допустимая нестабильность частоты для передатчиков мощностью более 0,5 кВт равна $15 \cdot 10^{-6}$, что соответствует в диапазоне от 4 до 30 МГц абсолютному отклонению частоты от 60 до 450 Гц. Некоторые системы радиосвязи по своему принципу требуют, чтобы стабильность частоты была значительно лучше, чем предусматривается указанными нормами.

Побочными излучениями радиопередатчика называются излучения на частотах, расположенных за пределами полосы, которую занимает передаваемый радиосигнал. К побочным излучениям относятся гармонические излучения передатчика, паразитные излучения и вредные продукты взаимной модуляции.

Гармоническими излучениями, которые часто называют гармониками передатчика, представляют собой излучения на частотах, в целое число раз превышающих частоту передаваемого радиосигнала.

Паразитными излучениями называются возникающие иногда в передатчиках колебания, частоты которых никак не связаны с частотой радиосигнала или с частотами вспомогательных колебаний, используемых в процессе синтеза частот, модуляции и других процессов обработки сигнала.

Известно, что при действии в нелинейной цепи, например двух ЭДС с частотами f_1 и f_2 спектр тока содержит, помимо составляющих с этими частотами и их гармоник, также составляющие с частотами вида $mf_1 \pm nf_2$, где m и n – целые числа. Это явление и лежит в основе взаимной модуляции; оно обусловлено наличием в передатчике элементов, обладающих нелинейными характеристиками, главным образом транзисторов или других полупроводниковых элементов.

Интенсивность побочных излучений характеризуется мощностью соответствующих колебаний в антенне передатчика. Например, по действующим международным нормам радиопередатчики на частотах до 30 МГц должны иметь мощность побочных излучений не менее чем в 10000 раз (на 40 дБ) ниже мощности основного излучения и не более 50 мВт.

Показатели, определяющие качество передачи вещательного сигнала (*электроакустические показатели*), в принципе не отличаются от аналогичных параметров электрического канала вещания, что естественно, поскольку передатчик является частью канала – трактом вторичного распределения.

Некоторое отличие заключается лишь в том, что эти показатели нормируются и измеряются относительно уровня сигнала, соответствующего определенному коэффициенту модуляции сигналом частотой 1000 Гц. Для допустимого отклонения амплитудно-частотной характеристики этот коэффициент равен 50 %.

Коэффициент гармоник определяется при коэффициенте модуляции 50, 90, а также 10 %, что обусловлено наличием в модуляторе передатчика специфических искажений вида двустороннего ограничения, заметных при большом коэффициенте модуляции, вида центральной отсечки, заметных при малом коэффициенте модуляции. Защищенность от интегральной помехи и от психофизического шума измеряется относительно уровня модулирующего сигнала, соответствующего 100 % модуляции. Эксплуатационный персонал часто употребляет термин уровень шумов, который оценивается в децибелах относительно уровня модулирующего сигнала с частотой 1000 Гц, соответствующего коэффициенту модуляции 100 %. Численно он равен величине запрещенности от интегральной помехи, взятой со знаком «минус».

Вопросы для самоконтроля:

1. Используя функциональную схему радиопередатчика, поясните назначение ее элементов.
2. Поясните назначение устройства электропитания, какие элементы используются в устройствах электропитания.
3. Расскажите о назначении синтезатора в радиопередающих устройствах.
4. Охарактеризуйте понятие мощности передатчика.
5. Расскажите о паразитных радиоизлучениях и борьбе с ними.

Глава 4.

РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

4.1. Назначение и классификация радиоприемных устройств

Радиоприемные устройства используют для радиосвязи, звукового и телевизионного вещания, радионавигации, радиолокации, радио-, телеуправления и т. д. Радиоприемное устройство должно содержать все необходимые узлы для осуществления следующих процессов:

- выделения из всей совокупности электрических колебаний, создаваемых в антенне внешними электромагнитными полями, сигнала от нужного радиопередатчика;
- усиления высокочастотного сигнала;
- детектирования, т. е. преобразования высокочастотного модулированного сигнала в ток, изменяющийся по закону модуляции;
- усиления продетектированного сигнала.

Дальнейшее преобразование сигнала зависит от конкретных особенностей применения радиоприемника. Если, например, приемник предназначен для одноканальной радиотелефонной связи либо звукового или телевизионного вещания, то принятый сигнал после усиления превращается в звук и изображение при помощи телефона, громкоговорителя и приемной телевизионной трубки.

Если приемник предназначен для многоканальной радиосвязи, то продетектированный и усиленный сигнал подводится к оконечному устройству, в котором происходит разделение сигналов по отдельным каналам и, если требуется, дополнительная их обработка.

Применяемые в настоящее время радиоприемники делятся на профессиональные и бытовые. Первые предназначаются для использования на линиях радиосвязи и для решения различных навигационных, телеметрических и других специальных задач. Вторые служат для приема программ звукового и телевизионного вещания.

Радиоприемные устройства можно классифицировать:

- по роду работы – радиотелефонные, радиотелеграфные, телевизионные, радионавигационные, радиолокационные и др.;
- по виду модуляции – с амплитудной модуляцией (АМ), частотной модуляцией (ЧМ), однополосной амплитудной модуляцией (ОБП) и т. д.;
- по диапазону принимаемых радиоволн – километровые радиоволны, гектометровые, декаметровые и т. д.;
- по месту установки – стационарные, переносные, носимые, возимые и др.);
- по схеме электропитания – от сети постоянного и переменного токов.

4.2. Основные показатели радиоприемников

Показатели радиоприемников определяются их назначением. Для радиоприемников разных типов они могут быть различными.

Чувствительность характеризует способность приемника принимать слабые сигналы. Она обычно оценивается наименьшим значением ЭДС или мощностью радиосигнала в антенне, при которой возможен устойчивый прием с нормальным воспроизведением сигнала без недопустимого искажения его помехами.

Чувствительность приемников в зависимости от их назначения может колебаться в широких пределах. Так, чувствительность радиовещательных приемников находится в пределах 50–300 мкВ в зависимости от класса качества.

Чувствительность профессиональных приемников имеет значения порядка 10^{-12} – 10^{-15} Вт. Для приемников с ферритовой антенной используется понятие чувствительности по напряженности поля. Она имеет значение от 0,3 до 5 мВ/м.

Высокая чувствительность может быть практически реализована лишь в том случае, если уровень внешних помех или собственных шумов на выходе приемника в несколько раз ниже уровня сигнала. Поэтому приемники разных видов необходимо характеризовать не только их чувствительностью, но и так называемой реальной чувствительностью, под которой понимается минимальная ЭДС в антенне, при которой обеспечивается не только нормальная мощность на выходе, но получается определенное превышение уровня сигнала над уровнем внешних помех или собственных шумов.

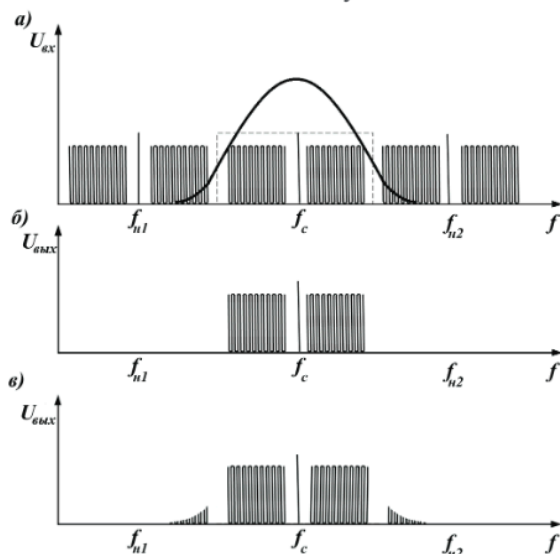


Рисунок 10 – К пояснению избирательности радиоприемника

Избирательностью (селективностью) радиоприемного устройства называется его способность выделять из различных сигналов, отличающихся по частоте, сигнал принимаемой станции. В соответствии с этим избирательность приемника оценивается как относительное ослабление сигналов посторонних радиостанций, работающих на различных волнах, по отношению к сигналам принимаемого передатчика, на волну которого этот приемник настроен. Избирательность осуществляется главным образом входящими в состав приемника колебательными контурами и фильтрами.

Понятие избирательности поясняет рисунок 10, а, на котором показан спектр частот трех радиостанций, из которых две крайние мы рассматриваем как помехи. Из рисунка 10 видно, что если фильтры приемника обладают прямоугольной частотной характеристикой, соседние (мешающие) радиостанции не создадут на его выходе никакого сигнала (рис. 10, б). Если частотная характеристика фильтра далека от идеальной, то на его выходе кроме полезного сигнала будет прослушиваться помеха. (рис. 10, в).

Естественно, что наибольшие трудности представляет ослабление помех от ближайших по частоте посторонних сигналов, т. е. сигналов соседнего частотного канала. Поэтому для оценки качества приемника всегда определяется его селективность в отношении помех соседнего канала.

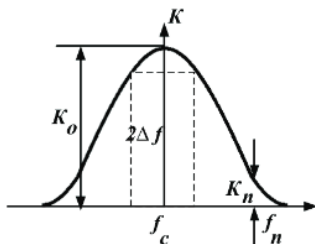


Рисунок 11 – Резонансная характеристика приемника

В первом приближении количественную оценку избирательности можно производить по резонансной характеристике приемника, изображающей зависимость коэффициента усиления от частоты колебаний в антенне. Благодаря применению колебательных контуров и фильтров резонансная характеристика при настройке приемника на какую-либо частоту сигнала имеет вид, подобный рисунку 11. Избирательность в отношении помехи на частоте f_c определяется в этом случае как:

$$Se = \frac{K_0}{K_n} \quad (4.1)$$

где K_0 – коэффициент усиления на частоте настройки; K_n – коэффициент усиления на частоте f_n .

Селективность удобно определять также в децибелах:

$$Se_{дБ} = 20 \cdot \lg(Se) = K_{0дБ} - K_{ндБ} \quad (4.2)$$

Так как передаваемое сообщение имеет определенную полосу частот, другой не менее важной функцией приемника является прием сигнала высокой частоты со всеми его боковыми частотами, т. е. одновременный прием определенной полосы частот. При этом необходимо, чтобы соотношения между амплитудами составляющих спектра сигнала оставались без изменений. Последнее можно обеспечить лишь при постоянной чувствительности приемника в определенной полосе частот. Поэтому понятно, что идеальная амплитудная частотная характеристика (АЧХ) приемника должна быть прямоугольной. При такой форме приемник одинаково принимает спектр боковых частот полезного сигнала, т. е. полоса пропускания такого устройства однозначно определяется как $2\Delta f$.

Одновременно приемник с такой АЧХ обладал бы идеальной избирательностью, поскольку не пропускал бы сигналов мешающих станций и помех, частоты которых отличаются на Δf .

Частотная характеристика реального приемника отличается от прямоугольной характеристики. Полосой пропускания в данном случае называют область частот, в пределах которой ослабление спектра принимаемых колебаний не превышает заданного значения. Считается, что искажения будут не заметны на слух, если неравномерность АЧХ в пределах полосы пропускания не превышает 3 дБ. Это соответствует уровню $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$. Именно на этом уровне считается полоса пропускания. Частотные свойства контура могут быть заданы его добротностью

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f} \quad (4.3)$$

Качество воспроизведения принятого сигнала зависит от различного рода искажений сигнала в отдельных каскадах приемника. К этим искажениям относятся частотные искажения, фазовые и нелинейные. На качество принятого сигнала будут влиять также различного рода помехи: атмосферные, промышленные, помехи от соседних по частоте передатчиков, а в диапазонах УКВ – собственные шумы приемника.

4.3. Структурные схемы радиоприемников

В настоящее время находят применение приемники прямого усиления, регенеративные, суперрегенеративные, супергетеродинные с одинарным и двойным преобразованиями частоты. Рассмотрим более подробно структурные схемы приемника прямого усиления и супергетеродинного. Структурная схема приемника прямого усиления представлена на рисунке 12.

Входная цепь (ВЦ) выделяет полезный сигнал из всей совокупности колебаний, наводимых в антенне от различных радиопередатчиков и других источников электромагнитных колебаний, ослабляет мешающие сигналы. Усилитель радиочастоты (УРЧ) усиливает поступающие из входной цепи полезные сигналы.

лы и обеспечивает дальнейшее ослабление сигналов мешающих станций. Детектор (Д) преобразует модулированные колебания радиочастоты в колебания, соответствующие передаваемому сообщению: звуковому, телеграфному и др. Усилитель низкой частоты (УНЧ) усиливает продетектированный сигнал по напряжению и мощности до величины, достаточной для приведения в действие оконечного устройства (громкоговорителя, реле, приемной телевизионной трубки и др.). Оконечное устройство (ОУ) преобразует электрические сигналы в исходную информацию (звуковую, световую, буквенную и др.).

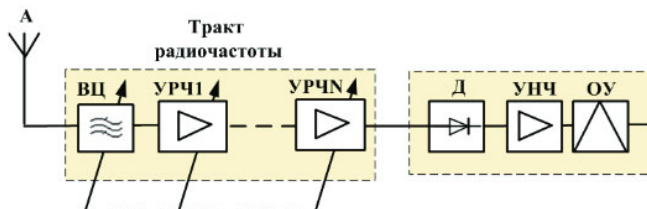


Рисунок 12 – Структурная схема приемника прямого усиления

Приемник прямого усиления не может обеспечить хорошую избирательность и высокую чувствительность, особенно в диапазонах коротких и ультракоротких волн. Это объясняется тем, что по мере повышения частоты возрастает полоса пропускания резонансной цепи. Так, полоса пропускания одиночного контура $2\Delta f$ и его добротность Q , связаны соотношением $2\Delta f = \frac{f_c}{Q}$, где f_c – частота принимаемого сигнала.

На высоких частотах полоса пропускания контура возрастает, и кроме полезного сигнала контур будет пропускать помеху.

Заметим, что сделать селективную цепь приемника прямого усиления с прямоугольной или даже близкой к ней характеристикой практически невозможно, так как этот контур должен быть перестраиваемым. Фильтры, обеспечивающие прямоугольные характеристики – это многоконтурные системы, перестраивать которые одной ручкой настройки невозможно. В связи с этим приемник прямого усиления обладает плохой избирательностью.

Усилитель радиочастоты, осуществляющий усиление радиосигналов с различными несущими частотами, при наличии неизбежной паразитной обратной связи, например, через источники питания или паразитные емкости, может самовозбудиться, и превратиться в автогенератор. Вероятность самовозбуждения растет с ростом частоты и коэффициента усиления. Для повышения устойчивости работы УРЧ его коэффициент усиления приходится ограничивать. Поэтому чувствительность приемника прямого усиления оказывается относительно низкой. Например, для того чтобы УРЧ обеспечил на входе детектора необходимое для линейного детектирования напряжение $\approx 0,1$ В, напряжение на его входе, характеризующее чувствительность, должно быть не менее 1000 мкВ.

Плохая избирательность и низкая чувствительность, изменяющиеся в рабочем диапазоне частот, являются существенными недостатками приемника прямого усиления, которые, ограничивают его использование.

От указанных недостатков свободен супергетеродинный приемник (рис. 13). Его отличительной особенностью является использование в нем преобразователя частоты, состоящего из смесителя (С) и гетеродина (Г). На выходе преобразователя мы получаем промежуточную частоту, усиливаемую в дальнейшем усилителем промежуточной частоты (УПЧ).

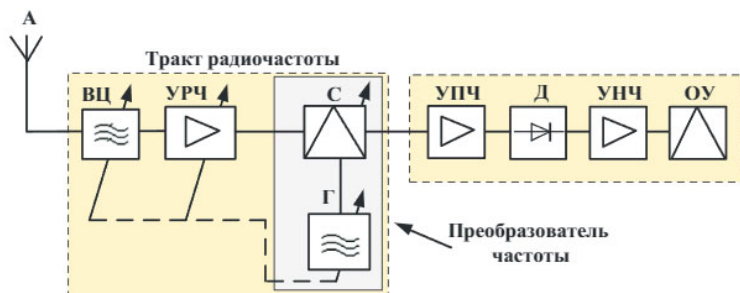


Рисунок 13 – Структурная схема супергетеродинного приемника

Преобразователем частоты называется устройство, предназначенное для переноса спектра сигнала из одной области частот в другую без изменения амплитудных и фазовых соотношений между компонентами спектра. Поскольку при таком переносе форма спектра сигнала не меняется, то не будет меняться и закон модуляции сигнала. Изменяется только значение несущей частоты сигнала f_c , которая становится равной некоторой преобразованной частоте $f_{пр}$.

К преобразователю частоты кроме напряжения сигнала с частотой f_c , подводится напряжение гетеродина (маломощного автогенератора) с частотой f_g . При взаимодействии этих напряжений в преобразователе частоты возникают составляющие различных комбинационных частот, из которых используется только одна. Обычно используется составляющая $f_{пр} = f_g - f_c$.

На практике значение $f_{пр}$ обычно меньше частоты несущей сигнала f_c , но больше частоты модулирующего сигнала F_c .

Поскольку преобразованная частота $f_{пр}$ занимает промежуточное значение между f_c и F_c , то она называется промежуточной частотой.

Название супергетеродин составное (супер + гетеродин), в котором слово гетеродин указывает на характерный для супергетеродинных приемников каскад-гетеродин. Этот каскад является неотъемлемой частью преобразователя частоты. Приставка супер означает, что в супергетеродинных приемниках преобразованная частота $f_{пр}$ расположена в области частот выше (сверх) частоты модуляции F_c .

Преобразование несущей частоты радиосигнала в промежуточную приводит к улучшению фильтрации соседних каналов радиосвязи. Например, пусть

в антенне действует ЭДС сигналов с несущими частотами $f_1 = 20$ МГц (полезный сигнал) и $f_2 = 20,2$ МГц. Относительная разность частот между станциями:

$$\frac{\Delta f}{f_1} = \frac{20,2 - 20}{20} = 0,01 = 1\% \quad (4.4)$$

Контур, добротностью от 20 до 50, работающий в радиочастотном диапазоне, имеет относительную полосу пропускания от 2 до 5 %.

В рассматриваемом примере станция с частотой f_1 отличается от избранной, всего на 1 %, и поэтому будет создавать заметную помеху. Если произвести преобразование несущей частоты f_1 , то при частоте сигнала гетеродина $f_r = 20,5$ МГц получаются две промежуточные частоты $f_{\text{пр}1} = 20,5 - 20 = 0,5$ МГц и $f_{\text{пр}2} = 20,5 + 20,2 = 0,3$ МГц, относительная разность между которыми

$$\frac{\Delta f}{f_1} = \frac{0,5 - 0,3}{0,5} = 40\% \quad (4.5)$$

Как видно, относительная разность увеличилась от 1 до 40 %. В этих условиях станция, работающая на частоте f_1 , не будет помехой для фильтров преобразователя частоты, настроенных на частоту $f_{\text{пр}} = 0,5$ МГц, даже если их добротность соизмерима с добротностью контуров УРЧ.

В супергетеродинных приемниках основное усиление и избирательность осуществляются после преобразования частоты в усилителе промежуточной частоты (УПЧ). Важным достоинством супергетеродинного приемника является то, что в процессе его перестройки на другую станцию промежуточная частота $f_{\text{пр}}$ не меняется. Достигается это за счет того, что при перестройке приемника на другую частоту сигнала f_c одновременно изменяется частота гетеродина f_r таким образом, чтобы разность $f_r - f_c = f_{\text{пр}}$ осталась неизменной.

Следовательно, при перестройке супергетеродинного приемника достаточно изменить резонансные частоты входной цепи, УРЧ и гетеродина. Перестраивать УПЧ при этом не требуется. Поскольку УПЧ не перестраивается, то его характеристики не меняются. При этом частотная характеристика контуров УПЧ может быть получена достаточно близкой к прямоугольной, так как в нем могут быть использованы фильтры любой степени сложности. Именно по этой причине супергетеродинные приемники обеспечивают высокую избирательность.

Поскольку УПЧ работает на существенно более низкой частоте, чем УРЧ, он может обеспечить существенно большее усиление, так как усилительные свойства элементов улучшаются по мере понижения частоты. Кроме того, при снижении частоты уменьшится влияние паразитных обратных связей, что способствует повышению коэффициента устойчивого усиления УПЧ. Это позволит обеспечить высокую чувствительность супергетеродинного приемника (порядка 1 мкВ).

Недостатком супергетеродинных приемников является наличие в них побочных каналов приема, главным из которых является зеркальный канал.

Зеркальный канал имеет несущую частоту $f_{\text{зерк}}$, отличающуюся от частоты полезного сигнала f_c на удвоенную промежуточную частоту $f_{\text{зерк}} = f_c + f_{\text{пр}}$ (рис. 14).

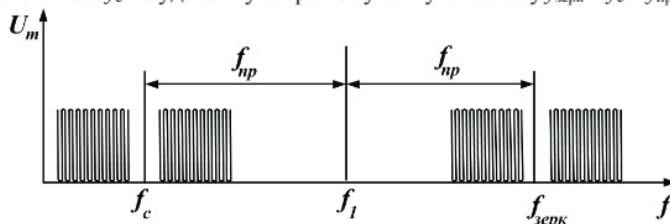


Рисунок 14 – К вопросу возникновения зеркальной помехи

Частоты f_c и $f_{\text{зерк}}$ расположены зеркально симметрично относительно частоты гетеродина f_I . Разность между $f_{\text{зерк}}$ и f_I равна промежуточной частоте, как и в случае полезного сигнала. Поэтому если на преобразователь частоты поступают сигналы станций f_c и $f_{\text{зерк}}$, то на его выходе обе станции дадут напряжение промежуточной частоты. Если сигнал частоты f_c является полезным, то сигнал частоты $f_{\text{зерк}}$, попавший на преобразователь, является помехой. Очевидно, что ослабление помехи по зеркальному каналу должно происходить до преобразователя частоты. Для улучшения избирательности по зеркальному каналу промежуточная частота должна быть высокой. Тогда несущие частоты f_c и $f_{\text{зерк}}$ значительно различаются. При этом коэффициент передачи входной цепи (она тоже обладает резонансными свойствами) на частоте $f_{\text{зерк}}$ существенно меньше, чем на частоте f_c , и сигнал зеркальной станции будет значительно подавлен входной цепью. При наличии в приемнике УРЧ зеркальная помеха дополнительно подавляется за счет избирательных свойств УРЧ.

Однако при высокой промежуточной частоте уменьшается коэффициент устойчивого усиления УПЧ и расширяется его полоса пропускания, что приводит к снижению чувствительности приемника и его избирательности по соседнему каналу. Как видно, требование к величине промежуточной частоты довольно противоречиво.

Другим побочным явлением является канал, частота которого равна промежуточной. Сигнал такой частоты, поступающий на вход преобразователя, без каких-либо изменений попадает на УПЧ. Для его устранения радиовещательные станции не должны работать на промежуточной частоте, а случайные помехи с частотами, близкими к промежуточной, должны быть подавлены соответствующими фильтрами на входе приемника.

В бытовых радиовещательных приемниках несущая частота составляет 465 кГц, т. е. она расположена в окне между границами радиовещательных диапазонов ДВ и СВ – 285,5–525 кГц.

В приемниках, работающих на магистральных линиях радиосвязи, требуются более высокие чувствительность и избирательность, как по соседнему, так и по зеркальному каналу. Это невозможно выполнить при выборе одной промежуточной частоты, поэтому в таких приемниках применяют двойное преобразование частоты. При двойном преобразовании частоты первую промежуточ-

ную частоту выбирают достаточной высокой (порядка 1 МГц), за счет чего обеспечивается высокая избирательность по зеркальному каналу. Вторая промежуточная частота выбирается достаточно низкой (порядка 100 кГц), что позволяет получить высокий коэффициент устойчивого усиления в каскадах УПЧ и таким образом повысить чувствительность приемника при высокой избирательности по соседнему каналу.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о назначении и принципах построения радиоприемных устройств.
2. Перечислите и поясните, какими основными показателями обладают радиоприемники.
3. Расскажите о назначении элементов в структурной схеме приемника прямого усиления.
4. Расскажите о назначении элементов в структурной схеме супергетеродинного приемника.
5. Поясните назначение и принцип работы преобразователя частоты.
6. Расскажите о побочных явлениях, возникающих в приемных устройствах.

Глава 5.

НАЗНАЧЕНИЕ АНТЕНН И ИХ УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА СХЕМАХ

Антенны (от лат. слова antenna – мачта, рея) в *передатчиках* служат для преобразования радиочастотных электрических колебаний в энергию электромагнитного поля (радиоволн), в *приемниках* – для преобразования энергии радиоволн в токи радиочастоты.

В радиотехнике антенна – это интерфейс между радиоволнами, распространяющимися в пространстве, и электрическими токами, движущимися в металлических проводниках, используемых с передатчиком или радиоприемником. При передаче радиопередатчик подает электрический ток на клеммы антенны, а антенна излучает энергию тока в виде электромагнитных радиоволн. При приеме антенна перехватывает часть мощности радиоволны, чтобы произвести электрический ток на своих клеммах, который подается на приемник для усиления. Антенны являются важнейшими компонентами всего радиооборудования.

Антенна представляет собой массив проводников (элементов), электрически соединенных с приемником или передатчиком. Антенны могут быть сконструированы для передачи и приема радиоволн во всех горизонтальных направлениях одинаково (всенаправленные) антенны или предпочтительно в определенном направлении (направленные, или антенны с высоким коэффициентом усиления, или «лучевые» антенны). Антенна может включать в себя компоненты, не подключенные к передатчику, параболические отражатели, рупоры или паразитные элементы, которые служат для направления радиоволн в пучок или другую желаемую диаграмму направленности. Сильной направленности и хорошей эффективности при передаче трудно достичь с помощью антенн, размеры которых намного меньше половины длины волны.

Первые антенны были построены в 1888 году немецким физиком Генрихом Герцем в его новаторских экспериментах по доказательству *существования* волн, предсказанных электромагнитной теорией Джеймса Клерка Максвелла. Герц разместил дипольные антенны в фокусе параболических отражателей, как для передачи, так и для приема. Начиная с 1895 года, Гульельмо Маркони начал разработку антенн, пригодных для беспроводной телеграфии на большие расстояния, за что получил Нобелевскую премию.

Антенна представляет собой металлическую конструкцию, преобразующую энергию ВЧ колебаний от передатчика в электромагнитную волну, распространяющуюся от антенны в пространство. Или в случае приёма, производящую обратное преобразование – электромагнитную волну, в ВЧ колебания, поступающие в приёмное устройство.

Среди огромного набора радиотехнических и конструктивных характеристик и параметров антенн, отметим несколько наиболее важных:

- коэффициент усиления (КУ) антенны;
- диаграмма направленности (ДН) и её тип;

- входной импеданс антенны и коэффициент стоячей волны (КСВ) в линии передачи;
- резонансная частота, рабочая полоса частот (по качеству согласования).

Любую антенну можно использовать как для передачи, так и для приема, причем ее характеристики (диапазон частот, направленные свойства и др.) сохраняются.

Этим в значительной мере объясняется тот факт, что назначение антенны, приемная или передающая, ее условное обозначение обычно не отражает. Само расположение символа антенны на схеме однозначно определяет ее функцию.

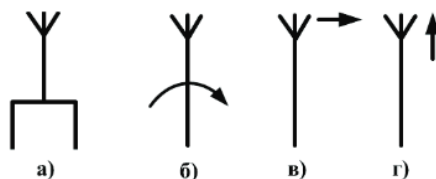


Рисунок 15 – Обозначение симметричных антенн на схемах

Общее обозначение антенны применяют в тех случаях, когда нужно показать несимметричную антенну, т. е. антенну, соединяемую с передатчиком или приемником одним проводом (вторым проводом служит земля). Такие антенны используют в диапазонах длинных, средних и коротких волн. В ультракоротковолновом диапазоне, а также в коротковолновом применяют симметричные антенны, т. е. антенны с двухпроводным выходом (или входом).

Общее обозначение симметричной антенны отличается от указанных наличием двух выводов (рис. 15, а).

Назначение и особенности антенны в самом общем виде показывают знаками направления распространения потока электромагнитной энергии. Символы приемной, передающей и приемно-передающей антенны, построенные с применением этих знаков, используются во многих схемах.

Стандарт ЕСКД предусматривает специальные знаки для указания таких особенностей антенн, как ширина и характер движения (вращение, качание) главного лепестка диаграммы направленности, тип поляризации, направленность по азимуту и высоте и т. д.

В качестве примеров использования таких знаков на рисунке 15 показаны условные обозначения вращающейся антенны (б) и антенн с горизонтальной (в) и вертикальной (г) поляризациями.

Рассмотренные условные обозначения построены функциональным методом. Другими словами, за их основу взят общий символ антенны, а характеристики выражены вспомогательными знаками. В радиотехнике такие обозначения применяют в основном в структурных и функциональных схемах, т. е. на первых этапах разработки прибора, когда характеристики антенны определены, а конкретный тип ее еще не выбран.

В принципиальных схемах чаще используют условные графические обозначения, напоминающие предельно упрощенные рисунки конкретных разновидностей антенн. Так, простейшую антенну – несимметричный вибратор (вертикальный провод, штырь) изображают отрезком вертикальной утолщенной линии (рис. 16). Подобные антенны применяют в диапазонах длинных, средних, коротких и ультракоротких волн.



Рисунок 16 – Антенна – несимметричный вибратор в приемнике

Однако для хорошей работы такой антенны ее длина должна быть равна примерно четверти длины рабочей волны. В диапазонах коротких и ультракоротких волн, длина которых не превышает нескольких десятков метров, это требование выполнить легко, а вот на средних и тем более на длинных волнах – гораздо труднее, так как четверть длины волны в этих диапазонах достигает сотен метров.

Чтобы не строить дорогостоящие высотные сооружения, к верхнему концу вертикального провода (вибратора) присоединяют один или несколько горизонтальных проводов, действие которых заключается в кажущемся удлинении вибратора. На схемах Г-образную и Т-образную антенны обозначают символами, наглядно передающими их характерные особенности (рис. 17, а, б).

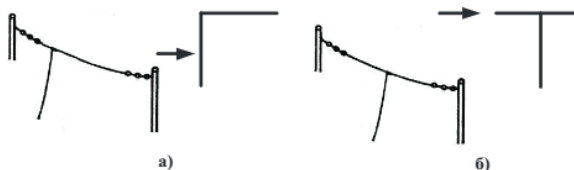


Рисунок 17 – Обозначение на схемах Г-образных и Т-образных антенн

У рассмотренных несимметричных вибраторов излучателем (приемником) радиоволн служит вертикальная часть. В диапазонах же коротких и ультракоротких волн в силу особенностей их распространения обычно применяют антенны, у которых рабочими являются горизонтальные части.

Простейшей антенной в этих диапазонах является симметричный вибратор, представляющий собой два изолированных горизонтальных проводника одинаковой длины, между которыми подключена двухпроводная линия, соединяющая антенну с приемником или передатчиком. Эту линию связи называют

фидером (от англ. *feeder* – питатель). Общая длина вибратора обычно равна примерно половине длины рабочей волны.

Симметричный вибратор (его условное графическое обозначение показано на рисунке 18) обладает явно выраженными направленными свойствами. Лучше всего он принимает или излучает в плоскости, перпендикулярной его оси, хуже всего – в плоскостях, проходящих через нее. Поэтому такую антенну располагают таким образом, чтобы ее горизонтальные части (плечи) были перпендикулярны направлению на передающую станцию.



Рисунок 18 – Обозначение антенны «Симметричный вибратор»

На практике часто требуется, чтобы антенна могла излучать или принимать радиоволны в достаточно широкой полосе частот. Достигают этого использованием в качестве плеч вибратора нескольких параллельных проводников, соединенных концами.

Антенны такой конструкции, известные под названием диполя Надененко, нашли широкое применение в коротковолновой связи. С той же целью (расширение диапазона частот) телевизионные антенны часто изготавливают из отрезков толстых трубок или применяют сложные вибраторы, например петлевые.

Петлевой вибратор представляет собой два полуволновых вибратора, соединенных концами. Эта особенность конструкции петлевого вибратора нашла отражение и в его условном обозначении (рис. 19).



Рисунок 19 – Антенна – петлевой вибратор

Важным условием хорошей работы антенны является **согласование ее входного сопротивления с волновым сопротивлением фидера**, так как только в этом случае она может излучать или принимать наибольшую мощность. Для согласования антенн с фидером используют специальные устройства в виде отрезков двухпроводных линий или применяют так называемое шунтовое питание вибраторов.

Симметричный вибратор шунтового питания представляет собой сплошной проводник длиной, также равной половине длины волны. Фидер подключают к нему в двух точках, расположенных симметрично относительно его середины. Изменяя места подключения фидера к вибратору, можно добиться равенства входного сопротивления антенны волновому сопротивлению фи-

дера, т. е. согласования. Точно так же согласовывают с фидером и петлевые вибраторы шунтового питания. Условное обозначение полуволнового вибратора с шунтовым питанием представлено на рис. 20.



Рисунок 20 – Условное обозначение полуволнового вибратора с шунтовым питанием

При использовании в качестве фидера коаксиального кабеля возникает необходимость в симметрировании, т. е. создании условий, при которых токи в точках подсоединения к вибратору имеют противоположные фазы. На практике симметрирующее устройство выполняют в виде отрезка кабеля полуволновой длины, согнутого в виде буквы U.

Питание через коаксиальный кабель с симметрирующим устройством такого рода иллюстрирует условное обозначение петлевого вибратора, показанное на рис. 21 (кабель здесь обозначен кружком с отрезком касательной, параллельной линии электрической связи, а согласующее устройство – дугой, соединяющей выводы вибратора).

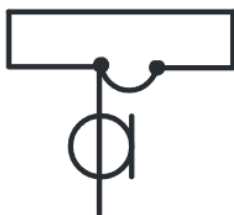


Рисунок 21 – Питание через коаксиальный кабель с симметрирующим устройством

Для связи на коротких волнах антенны должны быть однонаправленными, т. е. излучать и принимать радиоволны они должны только с одного направления. Типичным представителем таких антенн является ромбическая антенна, представляющая собой ромб, выполненный из провода, стороны которого примерно вчетверо больше длины волны. К одному из острых углов антенны подключают двухпроводный фидер, а к другому – поглощающую нагрузку, сопротивление которой равно волновым сопротивлениям антенны и фидера. В условном обозначении ромбической антенны символ резистора (поглощающей нагрузки) уменьшен по сравнению с обычным примерно вдвое. Это делает обозначение антенны более компактным (рис. 22).



Рисунок 22 – Более компактное обозначение антенны

В метровом и дециметровом диапазонах волн часто используют антенны «волновой канал», обладающие большим, по сравнению с одиночным вибратором, коэффициентом направленного действия. Такая антенна, кроме основного – активного – вибратора, содержит несколько пассивных вибраторов. Один из них, расположенный за активным, называют рефлектором (от лат. *reflectere* – отражать). Остальные, расположенные перед активным вибратором – называют директорами (*directio* – направлять). Длина рефлектора – несколько больше, а директоров – несколько меньше длины активного вибратора. На схемах это показывают различной длиной соответствующих символов в условном обозначении антенны «волновой канал» (рис. 23).

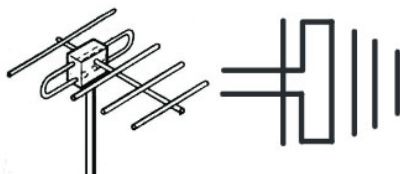


Рисунок 23 – Условное обозначение антенны «волновой канал»

С целью улучшения направленных свойств антенн применяют также **металлические рефлекторы** в виде согнутых из металлического листа уголков, параболоидов и т. п. Условное обозначение такого рефлектора воспроизводит (конечно, упрощенно) его профиль в сечении. В качестве примера на рисунке 24 показаны условные графические обозначения антенны с излучателем (приемником) в виде симметричного вибратора и уголкового рефлектором (а) и антенны с криволинейным рефлектором (б), вибратор которой питается через коаксиальный кабель (симметрирующее устройство для простоты не изображено).

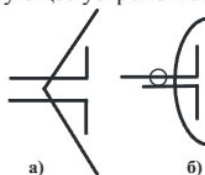


Рисунок 24 – Обозначения антенн с излучателем (приемником) в виде симметричного вибратора и уголкового рефлектором (а) и антенны с криволинейным рефлектором (б)

Широкое применение в радиоприемной технике нашли так называемые **магнитные антенны** (они реагируют не на электрическую составляющую

электромагнитных волн, как все рассмотренные ранее антенны, а на магнитную). Простейшая антенна такого типа – рамка, состоящая из одного или нескольких витков провода. Независимо от формы витков рамочную антенну изображают в виде незамкнутого квадрата с линиями-выводами от соседних сторон (рис. 25).

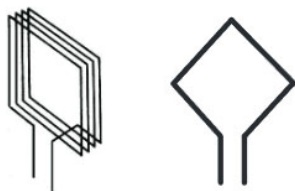


Рисунок 25 – Изображение рамочной антенны

Гораздо чаще используют магнитные антенны с магнитопроводом из феррита. На схемах их обозначают как одну или несколько (по числу обмоток) катушек индуктивности с общим магнитопроводом, но в отличие от последних располагают всегда горизонтально (рис. 26).

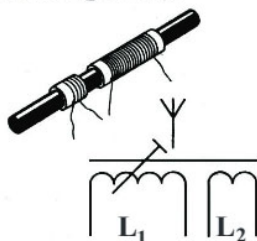


Рисунок 26 – Магнитная антенна

Принадлежность к антенным устройствам показывают общим символом, помещая его над серединой условного обозначения магнитопровода. Обмотки магнитной антенны обычно используют в качестве катушек входных колебательных контуров, поэтому обозначают их кодом катушек – латинской буквой L , а возможность подстройки их индуктивности (перемещением по магнитопроводу) показывают уже знакомым знаком подстроечного регулирования.

Для повышения эффективности несимметричных передающих и приемных антенн используют заземление. В простейшем случае – это металлический лист или труба, зарытая на глубину почвенных вод, профессиональное заземление это специальный контур из заглубленных в землю металлических штырей соединенных между собой. Более подробно защитное заземление будет рассмотрено в специальной главе. На схемах заземление изображают тремя короткими штрихами, вписанными в прямой угол (рис. 27, a). Иногда вместо заземления применяют противовес, представляющий собой большое число проводов, натянутых над поверхностью земли на небольшой высоте. Такое устройство обо-

значают двумя параллельными линиями разной длины, большая линия из которых символизирует землю (рис. 27, б).

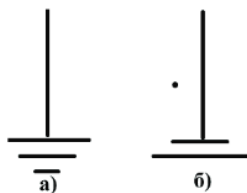


Рисунок 27 – Обозначение на схемах заземления

Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение приемопередающих антенн.
2. Основные характеристики приемопередающих антенн.
3. Условное обозначение приемопередающих антенн на схемах.

Глава 6.

НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТИПЫ АНТЕНН И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

6.1. Полуволновый диполь – симметричный диполь, он же полуволновый разрезной вибратор

Антенна полуволновый диполь представленная на рисунке 28 является самым распространённым резонансным устройством среди антенн. Он служит точкой опоры для оценки усиления любого типа антенны. А это означает, что его усиление составляет 1 (или 0 дБ).



Рисунок 28 – Полуволновой вибратор

Диаграмма направленности данной антенны в горизонтальной плоскости, представляет собой восьмёрку, расположенную перпендикулярно антенне (рис. 29, а). В вертикальной плоскости (рис. 29, б), диаграмма в свободном пространстве представляет собой окружность.

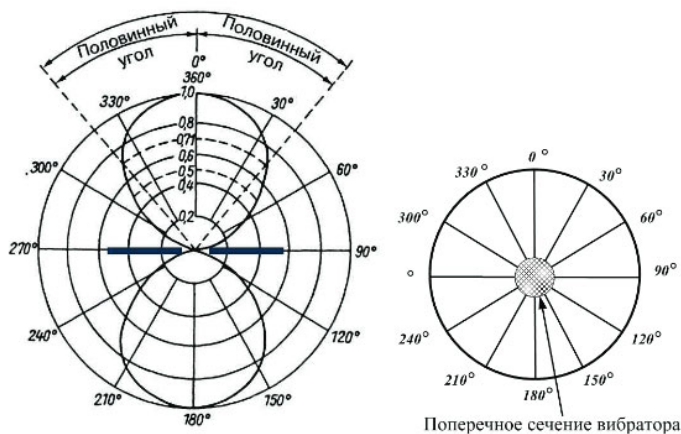


Рисунок 29 – а) Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости,
б) в вертикальной плоскости

Поскольку полуволновой диполь, как правило, расположен не в свободном пространстве, а на некотором (сопоставимом с длиной волны) расстоянии от

земли, происходит деформация диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости. Объясняется это просто – эффектом отражения излучаемых радиоволн от земли.

В справочной литературе приводится ряд диаграмм вертикальной направленности для высот подвеса горизонтального полуволнового диполя: $0,125...2\lambda$. На основании этих диаграмм и таблицы величин оптимальных углов возвышения (угол между излучением и поверхностью земли) для разных КВ диапазонов, автор пишет следующее:

Энергия, излучаемая антенной под углами возвышения более 40° и менее 5° , неэффективна для дальней связи.

Поместить антенну как можно выше всегда выгодно, но уже при высоте 12 м можно рассчитывать на приличную дальнюю связь на диапазонах 10...20 м, в то время как антенна для 40-метрового диапазона должна находиться на высоте не менее 15 м.

- Рабочая полоса частот полуволнового симметричного диполя по уровню коэффициента стоячей волны $K_{СВ} < 2$ составляет около 6 % от значения частоты резонанса вибратора.
- Сопротивление излучения и входной импеданс антенны $R_s = 73,2 \text{ Ом}$.
- Следует помнить, что усиление антенны K_u составляет 1 или другими словами – 0 дБ.

При малой мощности диполь можно непосредственно подключать к коаксиальному кабелю 75 или 50 Ом. Если мощность велика, то сильнее проявляется асимметрия токов (начинает заметно излучать оплётка кабеля), что приводит к искажению диаграммы направленности, помехам телевидению и радиоприёму и снижению КПД всего антенно-фидерного устройства. В этом случае, необходимо между коаксиальным кабелем (фидером) и антенной включить симметрирующее устройство. Чаще всего для этой цели используют так называемый «запорный дроссель» – несколько витков коаксиального кабеля наматывают на ферритовый сердечник. Такой дроссель не симметрирует антенну, а подавляет синфазные токи в оплётке коаксиального кабеля.

Примечание, симметричный диполь не обязательно должен иметь длину, равную половине длины волны.

Часто используется волновой диполь, имеющий $l \approx \lambda$ который носит название сдвоенный цеппелин, а также диполь, имеющий длину $l \approx 1,28\lambda$ или удлинённый сдвоенный цеппелин.

В справочной литературе приводятся следующие параметры этих диполей:

- волновой диполь: $K_u = 1,47$ (1,67 дБ); $R_s = 199,2 \text{ Ом}$;
- удлинённый сдвоенный цеппелин: $K_u = 2$ (3 дБ); $R_s = 98 \text{ Ом}$.

Данный тип антенн не требует заземления или противовесов.

6.2. Многодиапазонная антенна Windom – полуволновой диполь со смещённой точкой запитки

Практика использования антенн показала, что для того, чтобы заставить диполь работать на нескольких диапазонах, достаточно просто сместить точку

питания антенны от центра. Популярным вариантом такого диполя со смещённой точкой запитки является антенна Windom, названная в честь придумавшего её в 1936 году радиолюбителя Loren Windom.

После ряда модификаций, конструкция антенны Windom получила вид, представленный на рисунке 30.



Рисунок 30 – Конструкция Windom антенны

Обычно в литературе предлагается использовать соотношение плеч $1/3$, а общую длину полотна антенны выбирать равной половине длины волны нижнего частотного диапазона.

Входное сопротивление антенны Windom в точке разреза зависит от высоты подвеса и обычно составляет 200–300 Ом. Диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскости на нижних рабочих диапазонах схожи с ДН симметричного диполя. Однако далее, по мере повышения частоты диапазонов, диаграммы направленности антенн приобретают всё более причудливые формы. Для примера на рис. 31 приведены диаграммы направленности антенны Windom в горизонтальной плоскости для двух крайних диапазонов: 7 МГц (слева) и 28 МГц (справа).

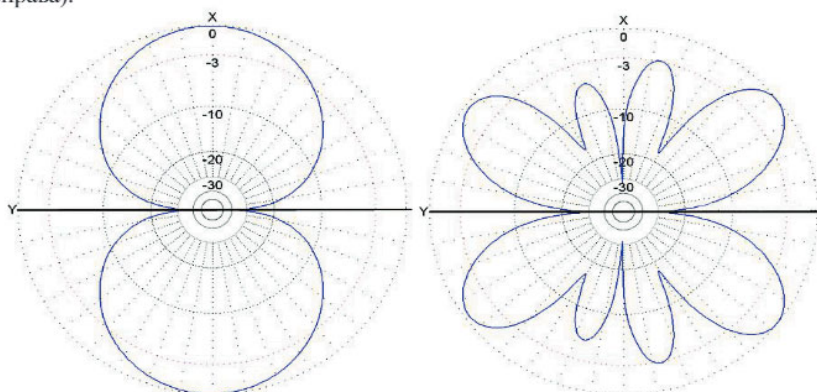


Рисунок 31 – Диаграммы направленности антенны в зависимости от используемых диапазонов

Для улучшения характеристик антенн, для согласования антенны с приемопередающей аппаратурой используются высокочастотные трансформаторы. В качестве трансформатора сопротивлений (балуна) используются высокочастотные трансформаторы, выполненные на тороидальном сердечнике. Можно предложить следующее исполнение на тороидальных сердечниках из порошкового железа с коэффициентом трансформации 1:4.

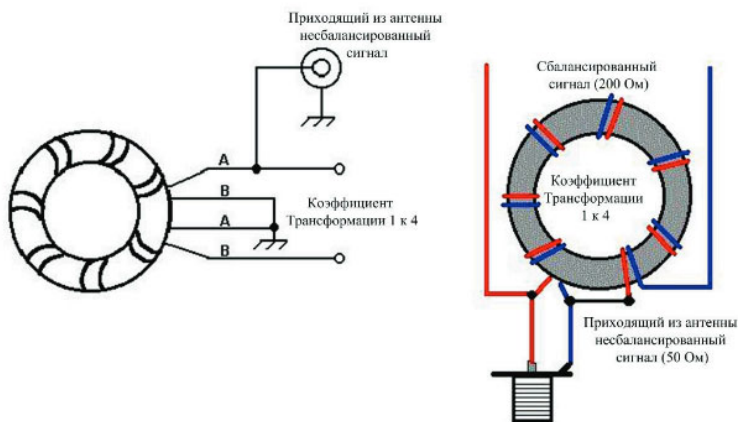


Рисунок 32 – Высокочастотный трансформатор, выполненный на тороидальном сердечнике

Используемый тип сердечников: T106-2 (до 100 Вт), T157-2 (до 250 Вт), T200-2 (до 400 Вт), T400-2 (до 1000 Вт). Количество витков каждой обмотки – 14...18.

Также балун можно выполнить на низкочастотных ферритовых биноклях, как показано для примера на рисунке 33. Здесь приведена конструкция с коэффициентом трансформации сопротивлений 1:6, т. е. для вариантов антенн с сопротивлением излучения 300 Ом.

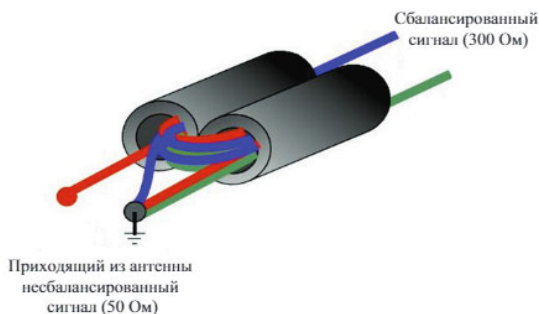


Рисунок 33 – Высокочастотный трансформатор, выполненный на низкочастотном ферритовом бинокле

Как показывает практика можно сделать балун 4:1 и с использованием воздушного сердечника. Эти трансформаторы имеют те же характеристики, что и предыдущие. Намотка производится на пластиковых цилиндрах диаметром 40 мм. Балун может состоять из одной или двух независимых катушек. Балун, выполненный в виде двух независимых катушек, обладает более стабильными параметрами в широком диапазоне подводимых мощностей.

6.3. Несимметричный вибратор, он же полудиполь или штыревая антенна

Классическая штыревая антенна представляет собой вибратор длиной в четверть длины волны и систему заземления под ним. В простейшем случае система заземления является системой четвертьволновых противовесов. Однако в качестве длины вибратора можно применять и $1, 5/8, 3/4, 1/2$ длины волны.

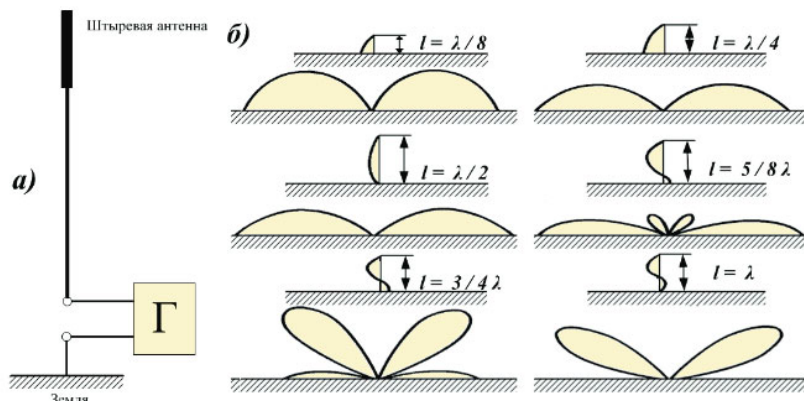


Рисунок 34 – а) Штыревая антенна
б) Зависимость диаграммы направленности от длины штыря

Штыревая антенна является антенной поверхностного луча, излучающей электромагнитную энергию равномерно во все стороны вдоль земной поверхности, но не излучающей в зенит. Диаграмма направленности штыревой антенны представляет собой правильную окружность в горизонтальной плоскости и лепесток, либо полулепесток, в вертикальной плоскости (рис. 34, б). При этом лепесток направлен под некоторым углом к земной поверхности, зависящим от свойств почвы и длины антенны. Наиболее эффективной является антенна с размерами от $1/4$, до $1/2$ длины волны, четвертьволновой и полуволновой вибраторы. Удлинение антенны до $3/4 \lambda$, прижимает лепесток к земле, дальнейшее удлинение, наоборот, направляет основное излучение вверх.

Сопротивление идеальной четвертьволновой вертикальной антенны, штырь над идеальной проводящей поверхностью, в два раза меньше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, т. е. составляет 36 Ом.

Коэффициент направленного действия, а следовательно, и коэффициент усиления, идеального несимметричного вибратора в два раза больше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, так как при одинаковой мощности излучения первый обеспечивает в два раза большую плотность мощности. Вся его мощность излучается в одно полупространство.

Всё сказанное справедливо только лишь в одном случае – когда земля представляет собой идеальный проводник либо очень развитую систему противовесов. Во всех остальных случаях следует учитывать искажения практически всех параметров: и диаграммы направленности, и входного импеданса, и коэффициента усиления антенны. Именно поэтому штыревые антенны редко находят применение в стационарных конструкциях и наиболее часто используются в качестве антенн на различных видах транспорта. При этом наиболее оптимальным вариантом будет являться четвертьволновый штырь, установленный в центре крыши автомобиля. В этом случае корпус автомобиля будет выступать в качестве противовеса, а антенна на УКВ частотах максимально соответствовать идеальной штыревой антенне.

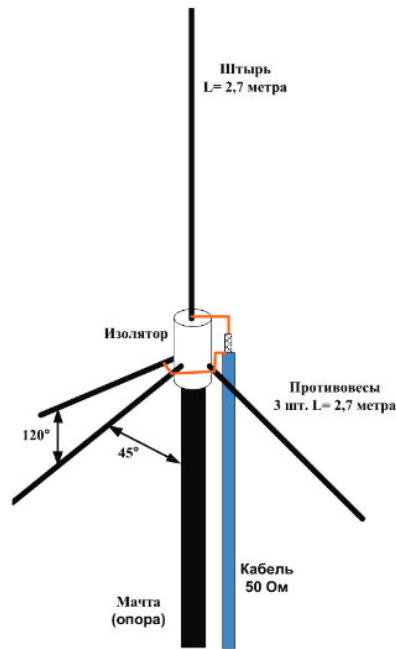


Рисунок 35 – Штыревая антенна GP на 27 МГц

Стационарные четвертьволновые вибраторы нуждаются в заземлении или системе противовесов. Длина противовесов определяет резонансную частоту антенны, хотя и не так сильно, как длина активного, излучающего, элемента. Количество противовесов определяет качество создаваемой ими «земли» – чем

их больше, тем выше КПД излучения. Но этот КПД растёт от количества противовесов нелинейно, и на практике делать более 4–6 противовесов не имеет смысла.

Угол расположения противовесов относительно вибратора довольно сильно влияет на входное сопротивление антенны в точке питания. Известное число 36 Ом дано для прямого угла между вибратором и противовесами. Часто для согласования антенны с 50-омным кабелем делается угол раскрыва 110...130°, что повышает сопротивление четвертьволнового вибратора примерно до этой же величины.

Одновременно с этим угол расположения противовесов относительно вибратора определяет диаграмму направленности всей антенны в вертикальной плоскости. При увеличении угла диаграмма приближается из верхней полусферы к горизонту, т. е. ближе к земле.

Следует учитывать то, что для других используемых частот следует принимать другие размеры антенны, для повышения ее КПД.

Всенаправленная антенна АВ160(31)

Антенна стационарная широкополосная АВ-160 (31) используется для радиостанций в диапазоне частот 147–174 МГц. Антенна стационарная АВ-160 (31) используется для функционирования на стационарных объектах в профессиональных системах связи. Антенна имеет хорошее согласование во всем диапазоне частот от 147 до 174 МГц.

К функциональным особенностям антенны АВ 160 (31) следует отнести:

- Диапазон рабочих частот 146–174 МГц;
- Коэффициент усиления 0 дБ;
- КВС не более 1,6;
- Антенна стационарная вибраторная широкополосная.

На рисунке 36 показан внешний вид стационарной широкополосной антенны АВ-160 (31).



Рисунок 36 – Внешний вид антенны широкополосной, стационарной АВ-160 (31)

Антенна предназначена для установки на стационарную мачту и применяется для усиления сигнала радиостанций, работающих в диапазоне частот 147–174 МГц. Диапазонная антенна АВ-160(31) предназначена для установки на вертикальную опору и применяется для работы в составе радиостанций для усиления радиосигнала в диапазоне частот VHF. Конструкция антенны АВ 160 (31) выдерживает воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости ветра до 160 км/ч.

Антенна АВ-160(31), всенаправленная, широкополосная, имеет прочный алюминиевый корпус. Предназначена для работы с радиопередающими устройствами во всем диапазоне частот 147–174 МГц без настройки. Особенностью антенны является её конструкция, благодаря которой антенна является широкополосной и работает без подстройки во всем рабочем диапазоне частот.

Антенна АВ-160 (31) предназначена для работы в условиях: изменения температуры окружающей среды от –50 °С до +55 °С, повышенной влажности воздуха, при температуре не выше +40 °С, воздействия атмосферных осадков (иней, росы, дождя), воздействия пыли.

Антенна поставляется без кабеля. По согласованию с заказчиком антенна может комплектоваться ВЧ кабелем RG-8х. По желанию заказчика может быть установлен разъем N-типа.

В таблице 1 показаны основные технические характеристики антенны АВ160 (31).

Таблица 1 – Технические характеристики антенны АВ160 (31)

Модель	АВ-160(31)
Тип антенны	присмопередающая, всенаправленная
Рабочий диапазон частот, МГц	147–174
Коэффициент усиления антенны, dBi	2,15
КСВ в рабочем диапазоне частот	не более 2,5
Поляризация	вертикальная
Ширина диаграммы направленности	
В горизонтальной плоскости (Н), град	360
В вертикальной плоскости (Е), град.	60
Максимальная подводимая мощность, Вт	100
Входной разъем	UHF female (PL)
Рабочая температура, °С	от -40 до +55
Грозозащита	короткозамкнутая конструктивно
Допустимая ветровая нагрузка, м/с	40
Размеры антенны, мм	800×500×500
Масса, кг	не более 2,0

6.4. Антенны направленные УЗ VHF (L, M, H) 140–179 МГц

На рисунке 37 показана направленная антенна на 140–179 МГц, а в таблице 2 ее основные характеристики.



Рисунок 37 – Внешний вид трехэлементной антенны
Y3 VHF (L, M, H) 140-179 МГц

Таблица 2 – Основные характеристики антенны Y3 VHF (L, M, H)

Электрические характеристики			
Модель	Y3 VHF(L)	Y3 VHF(M)	Y3 VHF(H)
Рабочий диапазон частот, МГц	140–153	150–172	157–179
КСВ, не хуже	1,5		
Усиление, dBi	7,15		
Сектор излучения по уровню -3dB			
- в вертикальной плоскости	65°		
- в горизонтальной плоскости	120°		
Входное сопротивление, Ом	50		
Допустимая мощность, Вт	200		
Механические характеристики			
Модель	Y3 VHF(L)	Y3 VHF(M)	Y3 VHF(H)
Масса, кг	2,85	2,8	2,75
Габариты антенны на прим. (М), мм	1100x950x60		
Материал антенны	АД-31		
Диаметр мачты, мм	38-65		
Допустимая скорость ветра, м/с	45		
Площадь ветрового сопротивления, м ²	0,11	0,08	0,07
Нагрузка при боковом ветре 45 м/с, Н	122	98	83
Допустимая скорость ветра при обледенении (слой льда 12 мм), м/с	28		
Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +50		
Габариты упаковки, мм	1200×120×120		

Антенна Y3 VHF – трехэлементная антенна типа «волновой канал». Благодаря использованию петлевого вибратора в сочетании с симметричной системой запитки, антенна обладает достаточно широкой полосой рабочих частот. Рекомендуется для создания антенных решеток с высоким коэффициентом усиления и удаленных абонентских станций. В настоящее время выпускаются три модели, разработанные специально для эксплуатации на частотах с центрами 148 МГц (ведомственная связь структур МВД, РЖД), 159,975 МГц (пейджинговые передатчики) и 165 МГц (системы транкинговой связи). Для удобства

транспортировки антенна выполнена в сборно-разборном варианте. На рисунках 38, 39, 40 показаны рабочие диаграммы антенн.

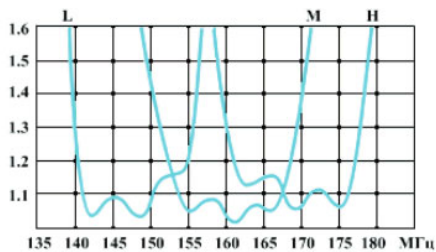


Рисунок 38 – Графики КСВ антенн Y3 VHF (L, M, H)

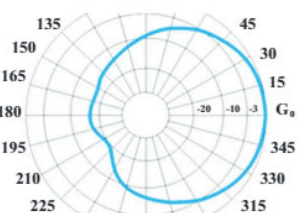


Рисунок 39 – Диаграмма антенны Y3 VHF в H-плоскости

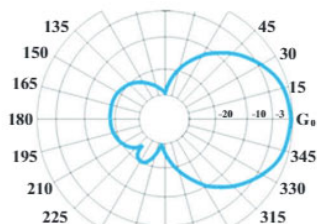


Рисунок 40 – Диаграмма антенны Y3 VHF в E-плоскости

На рисунках 41, 42, 43, 44 представлен внешний вид антенны и ее диаграмм

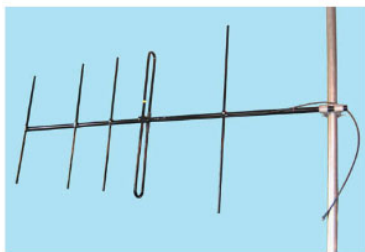


Рисунок 41 – Внешний вид пятиэлементной антенны Y5 AVIA

Таблица 3 – Основные технические характеристики антенны Y5 AVIA

Электрические характеристики	
Модель	Y5 AVIA
Рабочий диапазон частот, МГц	118–136
КСВ, не хуже	1,5
Усиление, dBi	10,15
Сектор излучения по уровню -3dB	
в вертикальной плоскости	60°
в горизонтальной плоскости	90°
Входное сопротивление, Ом	50
Допустимая мощность, Вт	200
Механические характеристики	
Модель	Y5 AVIA
Масса, кг	4,2
Габариты антенны, мм	2450×1280×110
Материал антенны	АД-31
Диаметр мачты, мм	38–65
Допустимая скорость ветра, м/с	45
Площадь ветрового сопротивления, м ²	0,135
Нагрузка при боковом ветре 45 м/с, Н	150
Допустимая скорость ветра при обледенении (слой льда 12 мм), м/с	28
Диапазон рабочих температур, °C	от -50 до +50
Разъем	N-розетка
Габариты упаковки, мм	120×120×1800

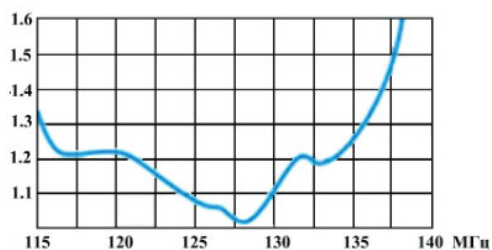


Рисунок 42 – График КСВ антенны Y5 AVIA

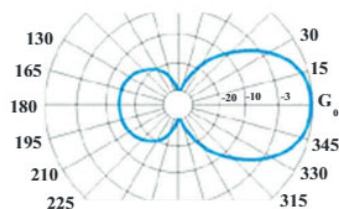


Рисунок 43 – Диаграмма направленности антенны Y5 AVIA в Е-плоскости

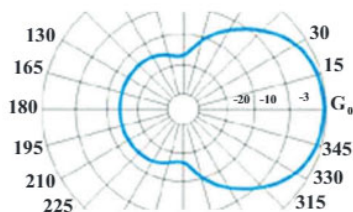


Рисунок 44 – Диаграмма направленности антенны Y5 AVIA в H-плоскости

Антенна Y5 AVIA, как и все направленные антенны, обладает повышенным усилением и пространственно-избирательными свойствами.

6.5. Антенна «длинный провод», она же Long Wire, она же «Верёвка»

Одним из самых простых вариантов многодиапазонной антенны является антенна Long Wire (длинный провод), или антенна «Fuchs» (она же антенна Фукса). Практически не известная под своим названием в радиолюбительском мире, тем не менее, она была довольно широко распространена в 30-х годах прошлого века. Ее разработчик – OE1JF в свое время даже получил австрийский патент № 110357-1927. Антенна представляет собой провод длиной в полволны и трансформатор сопротивлений для согласования с передатчиком. Один конец антенны практически находится рядом с передатчиком, а второй крепится к какой-либо возвышенности, например к мачте или крыше вышестоящего здания.

Необходимо отметить, что в антенне «Fuchs» желательно чтобы длина полотна была кратна полуволне. Чем больше длина, тем выше коэффициент усиления антенны в фиксированном направлении. Это позволяет сделать многодиапазонный вариант антенны. От своей прародительницы рассматриваемый вариант антенны отличается наличием согласующего трансформатора UNUN, который предназначен для согласования сопротивления антенны с коаксиальным фидером.

Конструкция антенны Long Wire в зависимости от длины волны имеет полотно (вибратор) от 42 до 84 м. и выполнен из изолированного комбинированного (сталь+медь) провода содержащего 7 стальных и 12 медных проводников, что обеспечивает высокую механическую прочность на разрыв и прекрасные электротехнические характеристики. В точке подключения вибратора к центральному изолятору установлен коуш. Он предназначен для снижения нагрузки на полотно антенны в месте перегиба. Для питания и согласования антенны Long Wire используется трансформатор сопротивлений UNUN. Со стороны передатчика линия заканчивается коаксиальным гнездом типа SO-239, к которому, можно подключить питающий коаксиальный кабель 50 или 75 Ом.

Максимальная подводимая мощность 500 (1000) Ватт. Конструкция антенны приведена на рис. 45.

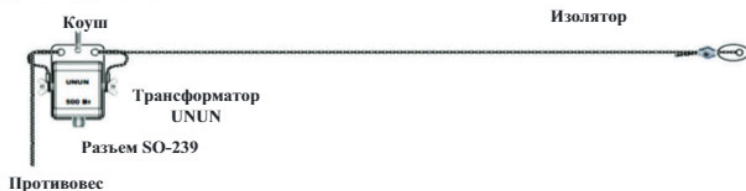


Рисунок 45 – Конструкция антенны Long Wire

Широкополосные трансформаторы UNUN предназначены для согласования несимметричных антенн типа LW (Long Wire, длинный провод) с несимметричным (коаксиальным) фидером и для трансформации высокого сопротивления антенны в стандартный импеданс 50 Ом или 75 Ом.

Трансформаторы UNUN предназначены для работы в диапазоне частот от 1 до 30 МГц. Трансформаторы UNUN выполнены на кольцевых ферритовых сердечниках с обмотками из провода в лаковой (500 Вт) или тефлоновой (неплавящейся 1000 Вт) изоляции. Они и выпускаются двух типов рассчитанных на пиковую мощность 500 и 1000 Ватт. В случае превышения максимально допустимой мощности, или несоответствия типа трансформатора (коэффициента трансформации) входному сопротивлению используемой антенны или наличия на входе трансформатора «реактивности», при работе на максимальной мощности на которую рассчитан трансформатор, может произойти перегрев сердечника и выход трансформатора из строя. Хотя конструкция трансформатора UNUN разработана с учетом подобных случаев и трансформатор способен выдерживать значительный перегрев без замыкания обмоток.

Конструкция трансформаторов предусматривает их установку на специализированную изоляционную пластину из текстолита толщиной 3 мм с отверстиями предназначенную для снятия механической нагрузки с клемм трансформатора UNUN и предотвращения разрушения корпуса под воздействием на элементы антенны налипающего снега и обледенения в зимний период, а также при «растягивании» антенны за полотно между зданиями. Перед началом установки UNUN-а и подключения антенны следует проверить комплектность поставки UNUN-а и изоляционной пластины и убедиться в наличии всех их составных частей согласно комплектации.

Схема подключения полотна антенны к клеммам UNUN-а и монтаж полотна на пластине представлен на рис. 46. Антенна подключается к клеммам с надписями 1:4, 1:9, 1:16. В зависимости от входного сопротивления антенны на заданном диапазоне ее нужно подключить к соответствующей клемме.

Определить, к какой клемме нужно подключать антенну LW (длинный провод) можно экспериментально поочередно подключая антенну к каждой клемме и контролируя КСВ на входе передатчика. Следует помнить, что противовес или заземление так же должны быть подключены. Заземление или противовес подключается к клемме «земля».

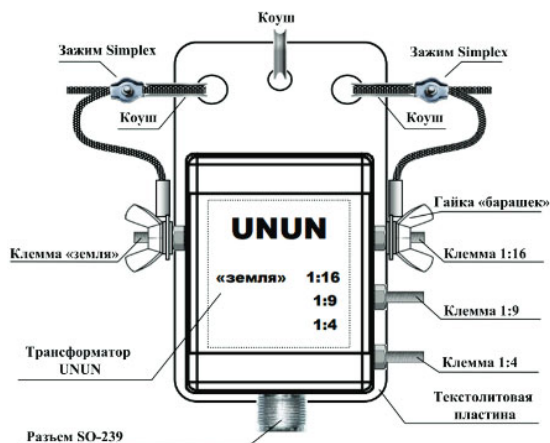


Рисунок 46 – Схема подключения полотна антенны к клеммам UNUN

При соответствующем подборе размеров и питания Long Wire, такая конструкция нормально справится с функцией многодиапазонной КВ антенны. При выборе длины луча справочная литература советует придерживаться следующей формулы

$$I(M) = \frac{150 \cdot (n - 0,05)}{f} \quad (\text{МГц}) \quad (6.1)$$

где n – это число полуволн, укладываемых в длине провода, а f – резонансная частота.

Тогда номограмма, определяющая усиление и сопротивление антенны, а также угол распространения волны в зависимости от длины излучателя приобретает следующий вид:

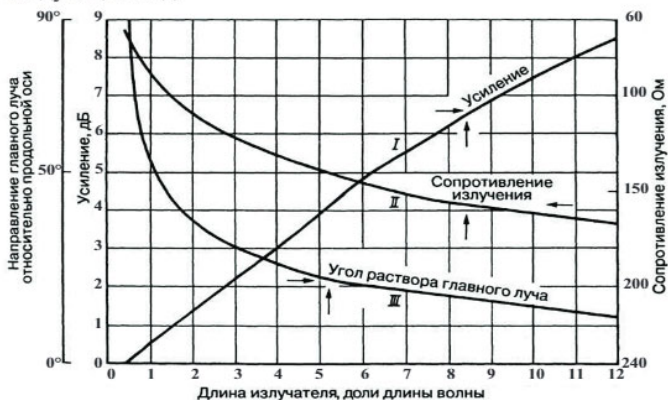


Рисунок 47 – Усиление и угол распространения волны Long Wire в зависимости от длины

Для наглядности на рисунке 48 приведены диаграммы направленности антенны «длинный провод» в зависимости от длины полотна.

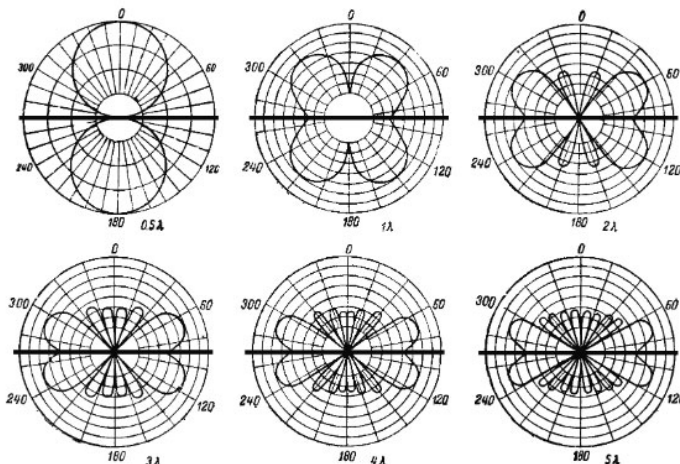


Рисунок 48 – Диаграммы направленности антенны «длинный провод» в зависимости от длины

Из диаграммы направленности полуволнового вибратора ($l = 0,5\lambda$) видно, что максимум излучения направлен перпендикулярно оси антенны. С увеличением длины антенны направление основного лепестка диаграммы направленности всё больше и больше приближается к оси антенны, а одновременно увеличивается и интенсивность излучения в направлении основного лепестка.

Разновидностью антенны LW является «длинный провод» конструкции Фукса (OE1JF), которая в честь автора получила название антенна «Fuchs».

Антенна представляет собой провод длиной, кратной половине волны, а также трансформатор сопротивлений для согласования с передатчиком. Один конец антенны практически находится рядом с передатчиком, а второй крепится к какой-либо возвышенности, например к мачте или крыше вышестоящего здания.

Трансформатор, обязательно, выполняется либо на ферритовом высокочастотном тороидальном сердечнике, чтобы получить нормальный резонанс, либо на каком-либо диэлектрическом сердечнике.

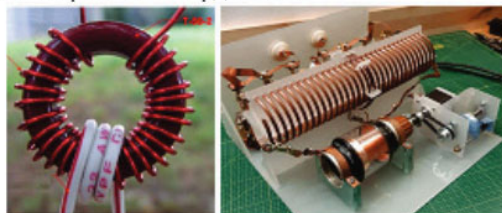


Рисунок 49 – Варианты исполнения трансформатора для антенны Фукса: слева на ферритовом высокочастотном тороидальном сердечнике; справа, на диэлектрическом каркасе

Соотношение витков обмоток трансформатора, как правило, составляет величину 1:7–1:10. Это соотношение обуславливает значительную величину амплитуды сигнала на вторичной обмотке трансформатора (в 7...10 раз выше, чем с выхода передатчика или транзистера), что предъявляет жёсткие требования к параметру пробивного напряжения воздушного конденсатора переменной емкости (КПЕ). Так, к примеру, при подводимой мощности 100 Вт, напряжение на вторичной обмотке трансформатора будет составлять величину ~ 1000 В.

Трансформировать сопротивление можно и при помощи балуна. Длина противовеса составляет незначительную величину и подбирается по максимуму мощности в антенне.

Важным достоинством полуволнового излучателя является то, что он может работать не только на основной частоте, соответствующей половине волны, но и на её гармониках. Т.е. провод длиной 40 метров, настроенный на 80-метровый диапазон, замечательно справится и с 40 метровым диапазоном (вместив в себя 2 полуволны) и с 30 метровым (3 полуволны), и с 20 метровым (4 полуволны), и т.д. и т.п., причём, чем больше частота, тем выше будет усиление антенны.

6.6. V-образная антенна

Придав V-образную форму двум горизонтальным длинным проводам, можно получить симметричную направленную приёмо-передающую антенну стоячей волны с линейной поляризацией (рис. 50). По сравнению с антеннами, выполненными в виде одиночного длинного провода, можно достичь как увеличения усиления на 3 дБ, так и улучшения диаграммы направленности.

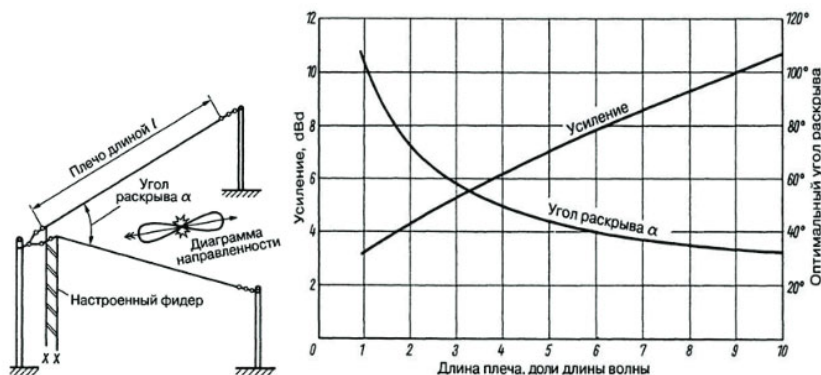


Рисунок 50 – а) V-образная антенна б) Зависимость параметров антенны от длины лучей

При увеличении длины составляющих антенну проводников увеличивается усиление и повышается направленность антенны. Главный луч тяготеет к биссектрисе угла раскрытия. Оптимальная величина этого угла убывает с удлинением плеча антенны (рис. 50, б).

При уменьшении угла α уменьшается и входное сопротивление антенны, и наоборот, при увеличении угла α входное сопротивление увеличивается. Также увеличивается входное сопротивление антенны при увеличении длин плеч. При очень длинных плечах входное сопротивление антенны составляет 600 Ом. В этом случае антенна может быть запитана с помощью согласованной двухпроводной воздушной линии либо балуна.

Длина плеч V-образной антенны рассчитывается по формуле:

$$l(\text{м}) = \frac{150 \cdot (n - 0,05)}{f} \text{ (МГц)} \quad (6.2)$$

где n – число радио полуволн, укладываемых в длине плеча антенны.

Внутри диапазона V-образная антенна является достаточно широкополосной, но также может работать и в нескольких диапазонах.

Например, антенна, рассчитанная на 15-метровый диапазон ($l = 4,5\lambda$, $K_u = 6,5$ дБ), успешно приспособляется для работы на 10 м ($l = 6\lambda$, $K_u = 6,5$ дБ), и на 20 м ($l = 3\lambda$, $K_u = 5$ дБ). На 40 м и 80 м она также сохранит работоспособность, но с меньшим усилением.

Для формирования «односторонней» диаграммы направленности в горизонтальной плоскости часто используются наклонные v-образные антенны. Такие конструкции часто являются штатными антеннами многих военных радиостанций и имеют смещение диаграммы направленности в сторону противоположную острию буквы V.

6.7. Основные направления построения индустрии СВЧ антенн

Последние годы в области российской телекоммуникации ознаменовались бурным ростом локальных корпоративных сетей. Мировая статистика говорит о том, что Россия лишь немного уступает Соединённым Штатам темпами развития современных широкополосных стандартов ведомственной связи. К таким стандартам относятся в частности европейский стандарт DECT и американский IEEE 802.11 a/g.

Определяющим фактором к развитию этих систем связи послужила всем известная особенность России – её большая территория и слабое развитие проводной и оптоволоконной связи.

Оба указанных протокола цифровой связи являются радиодоступными. Поэтому решающим фактором в определении качества и дальности передачи данных является энергетическая достаточность радиолинка.

Рассмотрим понятие – скорость связи (*link speed*).

Скорость соединения – это средняя скорость, с которой ваш компьютер может подключаться к Интернету, передавать и получать данные. Она определяется как количество данных, передаваемых в единицу времени. Единицей измерения скорости соединения является биты в секунду (bps).

Скорость соединения играет важную роль в опыте сетевого соединения. Чем быстрее соединение, тем быстрее открываются веб-страницы, загружаются фотографии и видео, и тем меньше времени потребуется для загрузки файлов и обмена сообщениями на Интернет.

Однако скорость соединения зависит не только от технических возможностей вашего оборудования и скорости вашего провайдера доступа в Интернет. Скорость соединения может быть снижена различными факторами, такими как расположение сервера, пропускная способность локальной сети, количество пользователей, использующих сеть, и т. д.

Тем не менее, увеличение скорости соединения имеет прямое влияние на ваше взаимодействие с Интернетом. Поэтому, если вы хотите получить лучший опыт работы в Интернете, важно обеспечить оптимальную скорость соединения.

Известны много методик и программ для определения дальности линка и скорости передачи данных. И одним из главных параметров является коэффициент усиления приёмной и передающей антенны. Поэтому потребность сегодняшнего рынка в качественных и недорогих антеннах для удалённого доступа и «последней мили» так же высока, как и актуальность всего телекома в целом.

Пройдя долгий путь построения антенной индустрии, разработчики в целях дальнейшего роста и развития пошли путём повышения частотных диапазонов своих продуктов. Теперь наряду с УКВ антеннами и фильтрами появились антенны СВЧ диапазона – для DECT 1880-1900 МГц (1,8 ГГц) и Wi-Fi 2400–2483,5 МГц (2,4 ГГц).

Также сейчас находятся в разработке антенные устройства для абонентских и базовых применений диапазона 5,6 ГГц. Все эти продукты востребованы Интернет провайдерами и операторами телефонных линий, строящих новые сети в удалённых районах города и посёлках, не видевших никогда телефонных проводов.

Как ни странно, но для DECT и WLAN требуются одинаковые по своим свойствам антенны. Их можно подразделить на:

- базовые;
- секторные;
- круговые;
- бонентские;
- широконаправленные;
- узконаправленные;
- комнатные.

Базовые секторные антенны применяют для покрытия зон на местности. Стандартные углы таких секторов составляют 60, 90 и 120 градусов. Также на основе этих антенн иногда строят кольцевые фазированные антенные решётки. Их применяют в случае невозможности создания круговой диаграммы направленности с помощью обычной штыревой антенны (как правило, когда место установки антенны экранировано телом мачты или надстройками здания).

Круговые антенны можно использовать, когда требуется равномерное покрытие связью прилегающей территории и есть возможность установить антенну на верхушку мачты. Как правило, это коллинеарные антенны с усилением до 12 dBi.

Среди абонентских антенн популярны параболические антенны или плоские фазированные антенные решётки. Первые отличаются большими габаритами и высоким усилением, но при этом коэффициент использования поверхности обычно не высок и составляет не более 40 %.

Часто используются антенны, основанные на некотором гибриде между классической плоской антенной решёткой и решёткой из волновых каналов. Кроме получения усиления за счёт площади антенны, разработчики научились вытягивать энергию из пространства благодаря глубине антенны. Таким образом, оба размера абонентских антенн участвуют в сборе энергии.

При разработке были учтены основные требования заказчика, основанные на эксплуатации антенн других производителей. Так, в частности, погодозащитное радиопрозрачное укрытие сделано из ABS-пластика, разъём выведен в нижнюю часть антенны, а не на задней стенке, что облегчает монтаж. Крепёжные элементы-универсальные штампованные и оцинкованные.

Особое место занимают недорогие комнатные антенны как с круговой диаграммой (потолочные), так и слабонаправленные секторные для крепления на стену.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о типах антенн, рассмотренных в данной главе.
2. Охарактеризуйте всенаправленные антенны, их типы и основные параметры.
3. Охарактеризуйте V-образную антенну, перечислите ее основные параметры.
4. Охарактеризуйте антенну «длинный провод», (Long Wire), перечислите ее основные параметры.
5. Охарактеризуйте семейство антенн Y3 VHF (L, M, H) 140-179 МГц, перечислите основные параметры.
6. Охарактеризуйте направленные антенны, перечислите основные параметры.
7. Охарактеризуйте антенну Несимметричный вибратор, перечислите основные параметры.
8. Охарактеризуйте многодиапазонную антенну Windom – полуволновой диполь со смещённой точкой запитки, перечислите основные параметры.
9. Охарактеризуйте антенну полуволновый диполь, перечислите основные параметры.

Глава 7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТАХ

7.1. Антенно-согласующее устройство (АнСУ)

Для нормальной работы приемопередающих трактов недостаточно иметь приемопередатчик, антенну и заземление. В большинстве случаев в приемопередающий тракт добавляются дополнительные устройства, которые, при правильном подборе, способствуют улучшению его параметров. Рассмотрим некоторые из них, и начнем с наиболее сложного – АнСУ.

Антенно-согласующее устройство (АнСУ) предназначено для согласования параметров антенны с параметрами передатчика, приёмника или фидерной линии. Для настройки АнСУ необходимо определить геометрические размеры антенны или возбуждающего провода (длина снижения плюс длина горизонтального провода). В зависимости от длины антенны, установить переключатель «ТИП АНТЕННЫ» на лицевой панели АнСУ в положение, определяемое из таблицы на внутренней стороне крышки АнСУ (рис. 51).



Рисунок 51 – Внешний вид антенно-согласующего устройства и настраиваемой радиостанции

Затем установить тумблер «ТОК АНТЕННЫ/ФАЗА» в положение «ТОК АНТЕННЫ», а переключатель пределов измерения «ЧУВСТ», в положение максимальной чувствительности – «01».

Установить минимальную связь передатчика с антенной цепью.

Несоблюдение этого требования приводит к срабатыванию датчиков КСВ в передатчике после настройки.

Для обеспечения минимальной связи выполнить две операции:

- установить коэффициент трансформации 1:1, для чего переключатель «РЕГ СВЯЗИ 1» поставить в положение «1» (в положениях «2» и «3» трансформатор работает как повышающий);
- включить в ряд гнезд «РЕГ СВЯЗИ 2» конденсаторы суммарной емкостью не менее 6 тыс. пФ, для чего поставить перемычки в гнездо «6» (общая емкость будет равна 6200 пФ), а также в гнезда «4» и «5».

После этого антенная цепь будет практически отделена от фидера, что исключит ошибки при настройке в резонанс.

Установить переключку в гнезда «23» в ряду гнезд «НАСТР ГРУБО». Включить передатчик тумблером ВКЛ.

Внимание: таймер блокировки режима «передача» после пребывания в режиме «передача» в течение 60 с автоматически устанавливает режим «прием». Для продолжения настройки выключить и снова включить тумблер «вкл прд».

Настроить антенную цепь в резонанс, добиваясь наибольшего отклонения стрелки индикаторного прибора. Для этого последовательно переставлять переключки в ряду гнезд «НАСТР ГРУБО» в другие положения и оставить их в положении, где отклонение стрелки прибора максимально.

Затем конденсатором переменной емкости «НАСТР ПЛАВНО» добиться наибольшего показания прибора. При настройке антенной цепи в резонанс конденсатор «НАСТР ПЛАВНО» должен находиться примерно в среднем положении. Если наибольшее отклонение стрелки прибора достигнуто при максимальной емкости подстроечного конденсатора, то увеличить суммарную емкость переводом переключки «23» в линейке «НАСТР ГРУБО» в положение, обозначенное большим числом. При минимальном значении емкости подстроечного конденсатора убрать переключку «23» в линейке «НАСТР ГРУБО». Найденный резонанс антенной цепи единственный и дальнейшие подбор связи не должны приводить к существенному изменению положения переключек «НАСТР ГРУБО» и ручки «НАСТР ПЛАВНО».

Подобрать оптимальную связь фидера с антенной цепью. Для этого изменить емкость конденсаторов связи «РЕГ СВЯЗИ 2» с помощью переключек. Вначале вынуть переключку из гнезда «6». Как правило, при этом происходит резкое увеличение тока в антенне, следует заглубить чувствительность индикаторного прибора (включить предел «0,3» или «12»).

При приближении к оптимальному согласованию путем комбинации переключек возрастают показания прибора. При установке переключки в нижнее гнездо «1» включается конденсатор емкостью 82 пФ. При установке переключки в следующее по порядку гнездо емкость увеличивается примерно в 2 раза. Добившись наибольшего показания прибора за счет комбинации переключек, произвести подстройку антенной цепи подстроечным конденсатором «НАСТР ПЛАВНО» поскольку при подборе оптимальной связи происходит расстройка антенной цепи.

Если при подборе величины связи в линейке конденсаторов связи изъяты почти все переключки, это означает, что активная составляющая входного сопротивления антенны превышает либо равна 50 Ом. В этом случае изменить коэффициент трансформации, переведя переключатель «РЕГ СВЯЗИ 1» в положение «2» или «3» и повторить настройку антенной цепи.

Установить тумблер «ТОК АНТЕННЫ/ФАЗА» в положение «ФАЗА». Добиться минимального отклонения стрелки индикаторного прибора переключками «1» и «2» в ряду клемм «РЕГ. СВЯЗИ 2» (при настройке по току антенны влияние конденсаторов малой емкости, включаемых переключками «1» и «2»

малоощутимо) либо незначительным изменением емкости подстроечного конденсатора «НАСТР ПЛАВНО».

Тумблером «ВКЛ ПРД» выключить передатчик, индикаторный прибор переключить на контроль тока антенны, установить переключатель чувствительности в положение, исключающее зашкаливание стрелки.

Внимание: по окончании настройки антенны проверить отсутствие срабатывания схемы защиты передатчика из-за неточной настройки (большое КСВ). Для этого от четырех до пяти раз на короткое время включить и выключить тумблер «вкл прд» АнСУ. Если стрелка прибора будет занимать то же положение, что было достигнуто при настройке, то согласование антенны закончено. По достижению согласования передатчика и антенны тумблер «вкл прд» АнСУ перевести в нижнее положение.

По окончании настройки антенны установить в конфигураторе параметр С.47.01, чем устраняются возможные ложные включения радиостанции на передачу при близких грозовых разрядах или коммутациях напряжения в контактном проводе. Убедиться в отсутствии сообщения «AL.AFU» на индикаторе ЦАУ (для этого включить радиостанцию на передачу с ПУС или технологической трубки МТТ в режиме «А3»). Наличие сообщения свидетельствует о рассогласовании выходного каскада передатчика и антенны ($K_{CB} > 3$). Эксплуатация радиостанции в таком режиме допустима только в случаях крайней необходимости.

7.2. Полосовые фильтры, балластные нагрузки, симметрирующий трансформатор (Балун)

Коаксиальные полосовые фильтры построены на основе коаксиального резонатора высокой добротности. Принцип фильтрации заключается в способности коаксиального резонатора выделять только те частоты, которые совпадают с собственной резонансной частотой $\frac{1}{4}$ – волнового вибратора (1), заключенного внутри объема (рис. 52).

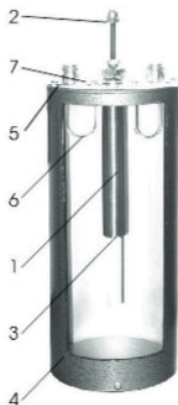


Рисунок 52 – Общее устройство полосового фильтра

Настройка на центральную частоту пропускания производится поворотом микрометрического винта (2), контролирующего длину 1/4-волнового резонатора. Механическую и температурную стабилизацию обеспечивает материал ИНВАР с минимальным коэффициентом температурного удлинения, из которого выполнен микрометрический настраиваемый винт.

Высокое качество контакта между подвижной и неподвижной частью четвертьволнового резонатора обеспечивает группа упругих ламелек (3), выполненных из бериллиевой бронзы. Специальная термическая обработка обеспечивает надежность контакта и плавность хода при настройке. Внутренний подвижной шток имеет прочное серебряное покрытие.

Корпус коаксиального резонатора (4) выполнен из холоднокатанного алюминиевого листа. Высокое качество проката сводит на минимум шероховатость в поперечном направлении движения ВЧ токов.

Крепление верхней крышки (5) к корпусу выполнено методом аргонодуговой сварки, что также обеспечивает минимум потерь в области протекания максимальных токов ВЧ.

Анодированная внутренняя поверхность резонатора гарантирует высокую стабильность характеристик. Снаружи корпус защищен прочным эмалевым покрытием.

Для гибкости характеристик фильтра, петли связи (6) выполнены на поворотных площадках (7). Сами петли имеют серебряное покрытие. Режекторные фильтры отличаются от полосовых тем, что частота, на которую настроен резонатор, вырезается. Конструктивно режекторные фильтры имеют только одну петлю связи и тройник.

Балластная нагрузка 0-500 МГц используется как эквивалент антенны для подключения передатчиков и радиостанций при их регулировке и настройке в режиме «передача» для предотвращения излучения в эфир. На рисунке 53 показаны нагрузки различной мощности – NB-0,2, NB-50, NB-100.

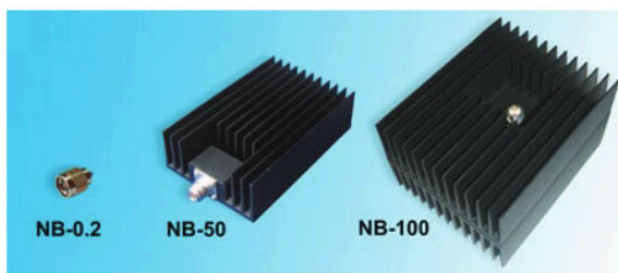


Рисунок 53 – Внешний вид различных типов нагрузок

В случае использования не всех портов приемных распределительных панелей свободные следует нагрузить на 50 Ом для достижения баланса всей схемы. Для этого применяются слабомощные нагрузки NB-0,2 – «заглушки», выполненные на основе прецизионных безиндуктивных резисторов, смонтирован-

ных в штекерах N-типа. Нагрузки NB-0.2 также могут использоваться как калибровочные на частотах до 500 МГц. Каждая нагрузка снабжается индивидуальным графиком КСВ.

Таблица 4 – Основные характеристики нагрузок различных типов

Электрические характеристики			
Модель	NB-50	NB-0,2	NB-100
Рабочий диапазон частот, МГц	0-500	0-500	0-500
Входное сопротивление, Ом	50	50	50
КСВ, не хуже	1,12	1,12	1,20
Проходная мощность, Вт	50	0,2	150
Диапазон рабочих температур с гарантированной стабилизацией, °С	от -55 до +65	от -55 до +65	от -60 до +85
Механические характеристики			
Масса, кг	0,75	0,03	1,45
Разъемы	N-розетка	N-вилка	N-розетка
Габариты не более, мм	160×120×46	30×20×20	150×122×92

Симметрирующий трансформатор или Балун, предназначен для трансформации высокого сопротивления антенны в стандартный импеданс 50 Ом с одновременной симметрией токов.

Это устройство необходимо для обеспечения предсказуемой диаграммы направленности антенны, устраняя излучение кабелем, что в свою очередь снижает уровень помех телевидению. В режиме приема балун устраняет «антенный эффект» кабеля значительно снижает уровень бытовых помех. Балуны BR-800-4(2.5/4/6/11/16) 1-30 МГц и схема крепежа балуна к полотнам антенны представлены на рисунке 54.



Рисунок 54 – Балун BR-800-4 и способ его установки

Таблица 5 – Основные характеристики балун BR-800-4

Электрические характеристики	
Модель	BR-800
Рабочий диапазон частот, МГц	1–30
Импеданс, Ом	50
Потери, dB	0,2–0,4
Проходная мощность, Вт (CW, SSB)*	800
Коэффициент асимметрии не хуже, dB	20
Тип разъема	SO-239
Масса, г	386
Габариты, мм	118×100×60
Коэффициент трансформации	
Балун 1:1 BR-800-1	50:50
Балун 1:2.5 BR-800-2.5	50:125
Балун 1:4 BR-800-4	50:200
Балун 1:6 BR-800-6	50:300
Балун 1:9 BR-800-9	50:450
Балун 1:11 BR-800-11	50:550
Балун 1:16 BR-800-16	50:800

* Допустимая мощность антенны определяется временем работы на передачу, видом излучения, частотой излучения, КСВ и окружающей температурой.

Симметрирующий трансформатор (балун) выполнен на ферритовых «биноклях». Он тщательно защищён от влаги благодаря полиэфирной заливке. Стеклопластиковый чехол также защищает от прямого попадания влаги. Внизу, около разъёма, дренажное отверстие обеспечивает сток конденсата и продувку внутренностей устройства. Кроме симметрирования антенны балун ещё и трансформирует входные сопротивления с отношениями 1:2,5 (1:4, 1:6, 1:11, 1:16). Широкополосное согласование достигается с помощью балансирования конденсаторами на входе и выходе и контролируется по диаграмме Смита.

7.3. Аттenuаторы, направленные ответвители, согласователи импеданса

Аттenuаторы, или ослабители ВЧ-сигналов находят широкое применение в электронных устройствах. Ослабители ВЧ-сигналов используются для ослабления радиочастотного сигнала, снижения чувствительности характеристик узла аппаратуры к изменениям импеданса нагрузки, для оперативного изменения коэффициента передачи, балансировки каналов электронной аппаратуры, согласования импедансов в межкаскадных ВЧ-цепях. Пассивные аттenuаторы с фиксированным ослаблением, или фиксированные аттenuаторы (ФА) выполнены на основе взаимной резистивной цепи П-конфигурации, сделанной на одном кристалле. Значения сопротивления резисторов рассчитываются по правилам линейной электротехники, исходя из нужного ослабления и значений входного и выходного импедансов. Каждый аттenuатор снабжается индивидуальными графиками КСВ и АЧХ.

На рисунке 51 показаны аттенюаторы серии АТ-50 с ослаблением 3, 6, 10, 15, 20, 25 и 30дВ, а в таблице их рабочие характеристики.



Рисунок 55 – Аттенюаторы серии АТ-50 с ослаблением 3, 6, 10, 15, 20, 25 и 30дВ

Таблица 6 – Основные характеристики аттенюаторов серии АТ-50

Модель	АТ-50
Рабочий диапазон частот, МГц	0-500
Входное/выходное сопротивление, Ом	50
Максимальная мощность входного сигнала, Вт	50
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-3	$3 \pm 0,5$
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-6	$6 \pm 0,5$
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-10	10 ± 1
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-15	15 ± 1
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-20	20 ± 2
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-25	25 ± 2
Ослабление (затухание), дВ модель АТ-50-30	30 ± 2
КСВ, не более	1,25
Диапазон рабочих температур, °С	От -55 до +70
Масса, кг	0,42
Разъемы	N-вилка/N-розетка
Габариты, мм	115×95×65

Направленные ответвители НО-3FM 87,5-108 МГц и комбайнеры применяются в приеме-передающих трактах для деления (ответвления) части полезного сигнала с заранее известным заданным коэффициентом деления. Также 3 дБ направленные ответвители могут применяться в качестве устройств сложения 2-х сигналов с развязкой между входами и одновременного деления их на две равные части (комбайнер Stretch Line).

Комбайнер на разности хода (Stretch Line Combiner) предназначен для сложения сигналов двух передатчиков и состоит из двух направленных ответвителей, кабеля и поглощающей нагрузки. Основными преимуществами такой системы являются низкая стоимость и небольшие размеры. К недостаткам следует отнести обратно-пропорциональную зависимость длины фазосдвигающей линии (и соответственно потерь) от разности частот. Комбайнеры CS-2FM-0.5 и CS-2FM-1 являются отличным решением, при разности частот не менее 4 МГц, при меньшем разности рекомендуем использовать комбайнеры CL8-2(2)FM-1.5. В комбайнере CS-2FM-0.5 используется кабель РК 50-7-11 (250 Вт на канал), а в CS-2FM-1 – LMR-400 (1000 Вт на канал).

На рисунке 56 слева показан ответвитель, справа комбайнер.



Рисунок 56 – Ответвитель и комбайнер

Таблица 7 – Основные характеристики ответвителей

Электрические характеристики ответвителя	
Модель	НО-3FM
Рабочий диапазон частот, МГц	87,5–108
Коэффициент ответвления в рабочей полосе, dB	3
Потери вход/выход, не более, dB	0,1
Направленность (развязка), не менее, dB	30
КСВ, не хуже	1,2
Входное сопротивление, Ом	50
Проходная мощность, Вт	500 (2000/3000/5000 – зависит от типа разъемов)
Диапазон рабочих температур с гарантированной стабилизацией, °C	от 0 до +40
Механические характеристики ответвителя	
Модель	НО-3FM
Масса, кг	4,4 (N-тип)
Разъемы	N-розетка (7/16 DIN, EIA7/8, EIA1 5/8)
Габариты не более, мм	852×80×160 (N-тип)
Электрические характеристики комбайнера	
Модель	CS-2FM-0.5
Рабочий диапазон частот, МГц	88–108
Минимальный разнос частот, МГц	4
Потери при разносе 3–8 МГц, dB	1,2–0,48
Число складываемых каналов	2
КСВ, не хуже	1,2
Изоляция ТХ-ТХ не менее, dB	30
Суммарная мощность 2х каналов, Вт	500
Импеданс, Ом	50
Диапазон рабочих температур, °C	от -30 до +60
Механические характеристики комбайнера	
Модель	CS-2FM-0.5
Габаритные размеры не более, мм	1000×484×100
Масса не более, кг	15
Разъемы	N-female

Согласователь импеданса MC-2V 140-174 МГц предназначен для оперативного согласования антенно-фидерного тракта с приемо-передатчиком.

Не секрет, что иногда нет возможности тщательно согласовать антенну или радиостанцию, имеющие отличный от 50 Ом импеданс. В таком случае на помощь приходит согласователь импеданса (рис. 57). Он представляет собой классический П-образный контур с двумя высокодобротными подстроечными многооборотными коаксиальными конденсаторами.

Если антенна (фидер) или передатчик имеют импеданс, находящийся в серой зоне, то с помощью триммеров легко добиться согласования с $K_{СВ} = 1$ или, по крайней мере, приблизиться, в случае импеданса, выходящего за пределы серой зоны.

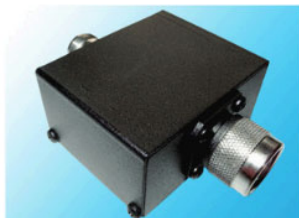


Рисунок 57 – Согласователь импеданса MC-2V 140-174 МГц

Таблица 8 – Основные характеристики согласователя импеданса MC-2V 140-174 МГц

Электрические характеристики	
Модель	MC-2V
Рабочий диапазон частот, МГц	140–174
Потери с подстройкой не более, dB	0,2
KCB не хуже	1
Максимальная подводимая мощность, Вт	100
Импеданс, Ом	50
Диапазон рабочих температур, °C	-50 – +50
Механические характеристики	
Использование	Внутри помещений
Разъем	N-female/N-male

Применение канатиков MASTRANT. При проектировании и установки антенных мачт радиосвязи, в том числе радиовещательных и радиолюбительских, часто приходится наталкиваться на проблему размещения оттяжек мачты в область формирования диаграммы направленности антенн. Известно, что любой проводник, находящийся вблизи от излучающей структуры, будет переизлучать и вносить заметные искажения в форму диаграммы направленности. Для устранения этого недуга обычно растяжки разбивают фарфоровыми изоляторами на участки, не кратные длине волны. Тем не менее, такие растяжки все равно имеют некоторую способность к переизлучению. Проблема усиливается также в случае использования широкополосных или многочастотных антенн.

Применение неметаллических растяжек полностью решает все подобные проблемы. В последние годы химическая промышленность достигла высоких результатов при весьма невысоких стоимостях продукта производства чешской Компании «MASTRANT». В таблице предоставляются следующие типы растяжек, разработанных специально для построения антенных мачт.

Таблица 9 – Основные характеристики радиопрозрачных канатиков

Модель	Диаметр, мм	Прочность daN = ca 1 кг	Рекомендованная рабочая нагрузка daN = ca 1 кг	Удлинение, %	Вес, кг/100 м
Mastrant-P 2 mm	2	100	30	2,40	0,2
Mastrant-P 4 mm	4	400	120	2,40	1,5
Mastrant-P 6 mm	6	850	255	2,40	3,7
Mastrant-P 14 mm	14	3100	930	2,40	12,5
Mastrant-D 6 mm	6	1800	540	1,20	3,4
Mastrant-D 8 mm	8	2600	780	1,20	4,6

Примечание: 1 daN = 10 N, это эквивалент веса 1 кг. Рекомендованная рабочая нагрузка тросов – 30 % максимальной прочности.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о назначении антенно-согласующего устройство (АнСУ) при использовании передатчика, приёмника или фидерной линии.
2. Назначение и принцип построения коаксиальных полосовых фильтров на основе коаксиального резонатора высокой частоты.
3. Назначение балластной нагрузки в радиоцепях 0-500 МГц.
4. Назначение и принцип работы симметрирующего трансформатора (Балун).
5. Назначение и принцип работы аттенуаторов ВЧ-сигналов.
6. Назначение и принцип работы согласователя импеданса MC-2V 140-174 МГц.

Глава 8. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАДИОСВЯЗИ

8.1. Организация электроснабжения линейно-аппаратных залов (ЛАЗ) и необслуживаемых усилительных и регенерационных пунктов (НУП)

Аппаратура радиосвязи на железнодорожном транспорте играет огромную роль, поскольку организовать связь с движущимся объектом можно только с помощью радиосвязи. Она предназначена для организации связи между работниками, выполняющими свои служебные обязанности на железнодорожных станциях, перегонах, в местах выполнения ремонтных работ. Поэтому установка и управление радиостанциями может быть организована на значительных расстояниях от оператора. Радиостанции могут устанавливаться в линейно-аппаратном зале (ЛАЗ), помещении диспетчера или дежурного, в кабине локомотива, на обслуживаемых (ОУП) и необслуживаемых (НУП) усилительных пунктах. Как известно для работы радиостанции необходимо электропитание, организация которого будет несколько отличаться от того, где установлена радиостанция. Кроме того, питание радиостанций осуществляется как от промышленной сети электроснабжения так и от аккумуляторов. В последнее время в Мире все больше склоняются к «Зеленой энергетике» или использовании альтернативных источников возобновляемой электроэнергии.

В связи с этим в данной главе будут рассмотрены принципы организации электропитания радиоаппаратуры на железнодорожном транспорте.

Для примера рассмотрим, как организовано электроснабжение на небольшом железнодорожном участке Моздок – Ищерская.

На рисунке 2 показан участок Моздок – Ищерская, который включает в себя 4 станции, на которых размещены 2 дома связи (ЛАЦ) и 2 необслуживаемых усилительных пункта. Общая протяженность составляет 40 километров. Участок проходит по территории Республики Северная Осетия – Алания.

Участок железной дороги Моздок – Ищерская является однопутным электрифицированным. На станциях Моздок и Ищерская находятся дома связи, а на станциях Осетиновская и Стодереvская необслуживаемые усилительные пункты (НУП). На рис. 58 показан проектируемый участок.

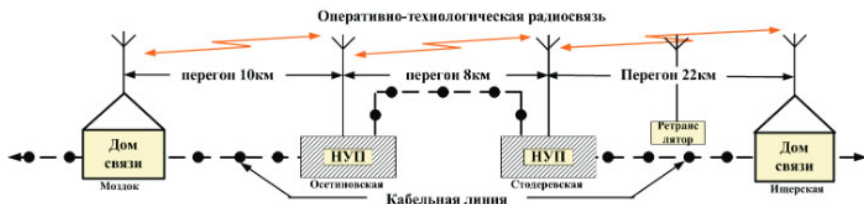


Рисунок 58 – Участок железной дороги Моздок – Ищерская

В зданиях домов связи и других служебно-технических зданиях железнодорожной инфраструктуры должны предусматриваться основные помещения для размещения технологического оборудования узлов связи.

Взаимное расположение помещений должно обеспечивать экономию расхода кабеля и удобство эксплуатации. Площади помещений определяются составом и расположением оборудования с учетом перспективы развития.

Состав и объем вводно-коммутационной, коммутационно-испытательной и каналообразующей аппаратуры ЛАЗ определяется на основании проектного задания исходя из типов и количества линий и систем передачи, схемы связи.

На рис. 59 представлена типовая схема помещения ЛАЗ с размещенной аппаратурой.

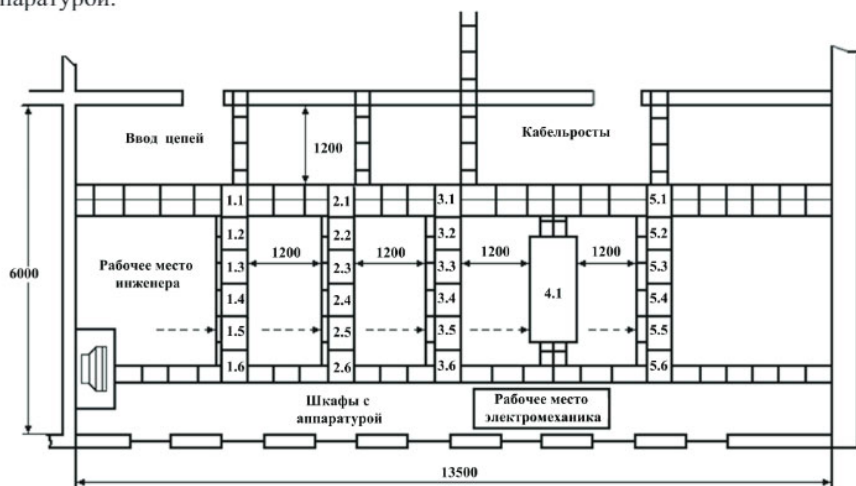


Рисунок 59 – Размещение аппаратуры ЛАЗ отделенческого узла связи

Оптическое кроссовое оборудование и блоки ввода оптического кабеля устанавливаются, как правило, в начале ряда (место 1.1 со стороны главного прохода), вблизи от точки ввода цепей. Ряды целесообразно комплектовать аппаратурой идентичных систем передачи с учетом направлений действия связи. Поэтому далее в первом ряду (место 1.2) размещается шкаф с аппаратурой СЦИ магистральной сети с комплектом гарантированного питания. Затем – шкафы с аппаратурой СЦИ и ПЦИ дорожной сети связи (места 1.3, 1.4), также оборудованной комплектом гарантированного питания. В этом же ряду на местах 1.5, 1.6 располагаются шкафы с кроссовым станционным оборудованием для цифровых сигналов ПЦК со скоростью передачи 2 Мбит/с. Коммутация парных линейных и станционных цепей аппаратуры, аппаратура радиосвязи, а также измерение параметров потоков выполняется обслуживающим персоналом.

Взаимное расположение систем СЦИ, ПЦИ и каналообразующей аппаратуры определяется схемами прохождения цепей цифровых потоков и каналов. Оно выбирается исходя из требования минимальной длины кабелей межстоеч-

ного монтажа, линейной и токораспределительной проводки. Аппаратура, между которой необходимо обеспечить большое число соединений, располагается, возможно, ближе друг к другу. Таким образом, во 2- и 3-м рядах размещаются шкафы с каналообразующим оборудованием для оперативно-технологической (места 2.1÷2.5) и общетехнологической сетей (места 3.1÷3.6), а также мультиплексоры и аппаратура абонентского доступа местной сети связи. В шкафах 2- и 3-го ряда предусматривается установка комплектов гарантированного питания.

В 4-м ряду, на месте 4.1, устанавливается кросс напольный 2-сторонний КСД. Он представляет собой кроссовое оборудование направлений передачи для подключения организованных каналов к линиям потребителей узла связи (АТС, ДЦ, структурных подразделений). Кроссовое оборудование выполнено на основе плинтов «KRONA» и имеет открытую конструкцию для удобства работы обслуживающего персонала как на его станционной, так и линейной стороне.

В 5-м ряду размещаются шкафы с кроссовым станционным оборудованием для подключения и коммутации низкочастотных цепей каналов ТЧ (места 5.1÷ 5.6). Указанное взаимное расположение кроссового оборудования в 4 и 5-м рядах обеспечивает удобный подход к его переключкам и измерительным гнездам.

Кроме того, в ЛАЗ может быть установлено оборудование распределителя синхросигнала, которое размещается ближе к проходу и рабочему месту обслуживающего персонала (например, место 2.6).

Таким образом, можно сказать, что в ЛАЗе устанавливают вводно-коммутационную, контрольно-испытательную, вспомогательную аппаратуру и аппаратуру систем многоканальной передачи, обслуживания, а также для измерений и испытаний линий и каналов связи.

Вводно-коммутационная аппаратура служит для подключения цепей, защиты станционного оборудования и обслуживающего персонала от опасных электрических влияний, которые могут возникнуть на линии, осуществления контроля над работой цепей. Эту аппаратуру размещают на вводных стойках ВС (для воздушных цепей) и ВСК (для кабельных цепей).

Контрольно-испытательная и коммутационная аппаратуры предназначены для контроля над работой каналов связи, коммутации их и испытаний. Эту аппаратуру располагают на испытательных ИС, контрольно-испытательных КИС и других стойках

Вспомогательная аппаратура служит для распределения питания по всем стойкам, а также для других целей.

Оборудование в ЛАЗе размещают рядами, перпендикулярными к стене с окнами. Оборудование в рядах располагают лицевыми сторонами друг к другу. Ширина прохода вдоль стены с окнами должна быть не менее 0,5 м, между лицевыми сторонами – 1,1 м, между задними сторонами рядов – 0,7 м.

Энергоснабжение по надежности аппаратуры ЛАЗа должно соответствовать первой категории и делится на группы:

1А – электроустановки (ЭУ) с круглосуточным и устойчивым электроснабжением;

1Б – ЭУ с круглосуточным и устойчивым электроснабжением с перерывами не более 36 ч в год;

1А – ЭУ с круглосуточным электроснабжением с перерывами аварийного характера;

1Б – ЭУ с электроснабжением продолжительностью не менее 16 ч в сутки;

1П – ЭУ с электроснабжением менее 16 ч в сутки.

Колебания напряжения на шинах узла связи для I и II групп не должны превышать +5 и -15 %. Использование источников электроэнергии с колебаниями частоты, выходящими за пределы 48–52 Гц, недопустимо.

Во всех ЛАЗах должны предусматриваться резервные стационарные электростанции, они должны обеспечивать электроэнергией аппаратуру связи и цепей дистанционного питания, питаемых переменным током, от выпрямителей или аккумуляторных батарей в буферном режиме, аварийного освещения, электродвигателей в аккумуляторных, собственных нужд электростанции и заряда аккумуляторов.

Электропитание аппаратуры связи в ЛАЗ и НУП выполнено по стандартной схеме. Электропитание аппаратуры связи, как правило, осуществляется по способу непрерывной буферной работы от сети переменного тока через выпрямители с параллельно подключенной аккумуляторной батареей. Емкость одногрупповой батареи или суммарная емкость обеих групп двухгрупповой батареи должна обеспечивать электропитание аппаратуры связи в час наибольшей нагрузки и аварийного освещения в течение 2 ч.

Аппаратура ЛАЗа получает напряжение 24 В от аккумуляторной батареи, состоящей из двух групп по 13 аккумуляторов в каждой. Питание анодных цепей и дистанционное питание (ДП) напряжением 220 В цепей телефонной аппаратуры, а также АПД напряжением 60 и 120 В осуществляются от аккумуляторных батарей.

Для питания аппаратуры связи на рассматриваемом участке используется источник бесперебойного питания СКАТ-2400.

Особенности СКАТ-2400:

- световая индикация наличия напряжения электрической сети;
- световая индикация наличия выходного напряжения;
- световая индикация наличия АКБ;
- питание нагрузки стабилизированным напряжением при наличии напряжения в электрической сети (режим «ОСНОВНОЙ»);
- резервное питание нагрузки постоянным напряжением режим «РЕЗЕРВ»;
- автоматический переход на резервное питание от АКБ при отключении электрической сети;
- контроль наличия АКБ;
- оптимальный заряд АКБ при наличии напряжения в электрической сети;
- защита АКБ от глубокого разряда;
- защита от переплюсовки клемм АКБ;

- электронная защита от короткого замыкания клемм АКБ;
- защита от короткого замыкания на выходе с отключением выходного напряжения;
- автоматическое восстановление выходного напряжения после устранения причины замыкания в режиме «ОСНОВНОЙ»;
- защита нагрузки от аварии изделия;
- выдача сообщения «НАЛИЧИЕ СЕТИ» посредством переключения контактов реле;
- режим «ХОЛОДНЫЙ ПУСК» позволяет автоматически восстановить работоспособность изделия при подключении исправной и заряженной аккумуляторной батареи в режиме «РЕЗЕРВ».

8.2. Надежность электроснабжения потребителей ЛАЗ

Понятие надежности объекта оборудования, устройств и систем электроснабжения, рассматриваемых в периоды проектирования, производства, эксплуатации, исследований и испытаний основано на сохранении во времени в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения, транспортирования.

Под надежностью объекта понимают его безотказность, то есть свойство непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки;

Под ремонтпригодностью – приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;

Под долговечностью – свойство сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

Под сохраняемостью – свойство сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и/или транспортирования.

Также следует понимать следующие положения, относящиеся к электрической системе.

Надежность электроэнергетической системы это свойство осуществлять производство, преобразование, передачу и распределение электроэнергии в целях бесперебойного электроснабжения потребителей в заданном количестве при допустимых значениях показателей качества. Надежность электроэнергетической системы и установки обеспечивается безотказностью и восстанавливаемостью ее элементов, устойчивостью, управляемостью, живучестью и безопасностью, как самой системы, так и ее элементов.

Надежность электроснабжения исследуют по двум причинам:

1) затраты на резервирование составляющие до 50 % затрат в системе электроснабжения;

2) ущерб от недостаточной надежности иногда соизмерим с затратами в системе электрики.

Работоспособным называют такое состояние объекта, при котором все параметры, характеризующие способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

Предельным называют состояние, при котором дальнейшее применение объектов по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Нарушение работоспособного состояния объекта называют отказами. Наиболее типичным отказом какого-либо элемента системы электроснабжения считают нарушение изоляции токоведущих частей, приводящее к КЗ и последующему автоматическому отключению этого элемента системой защиты. К отказам относят также обрывы проводников; поломку частей, обеспечивающих работоспособное состояние; опасный перегрев и другие явления, приводящие к аварийным режимам.

После отказа элементов системы электроснабжения могут потребоваться наладка, ремонт, осмотр, охлаждение до нормальной температуры, замена защитных устройств (например, плавких предохранителей) или другие меры восстановления работоспособного состояния. В качестве элемента системы рассматривается объект, представляющий собой простейшую часть системы, способную самостоятельно выполнять некоторые локальные функции. Элементом может быть, например, трансформатор, выключатель, линия передачи.

Наличие или отсутствие повреждений в объектах определяет исправное состояние, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией, или неисправное состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации.

По способности объекта выполнять заданные функции подразделяются на:

- работоспособные, когда, объект способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров;
- неработоспособные, когда, значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

По характеру исполнения и функционирования объекты могут быть восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми. У первых после отказа работоспособность восстанавливается при ремонте и техническом обслуживании, у вторых восстановление работоспособности считается нерентабельным, или является невозможным.

Важнейшими показателями надежности восстанавливаемых объектов следует считать:

- 1) средняя наработка между отказами T_0 ;

- 2) среднее время восстановления T_B ;
- 3) интенсивность потока отказов λ , определяемая по уравнению

$$\lambda = \frac{d\Omega}{d(t)} \quad (8.1)$$

где $\Omega(t)$ – математическое ожидание числа отказов за время t .

Величина $\Omega(t)$ зависит от времени нахождения объекта в эксплуатации и увеличивается с приближением предельного состояния, с достаточной для практики точностью считают, что в системах электроснабжения, где оборудование характеризуется относительно большим сроком службы (порядка 20 лет и больше) $\Omega = \text{const}$. В этих условиях:

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (8.2)$$

Коэффициент готовности вычисляется по формуле:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B} \quad (8.3)$$

Коэффициент вынужденного простоя вычисляется по формуле:

$$K_B = \frac{T_B}{T + T_B} = 1 - K_r \quad (8.4)$$

Вероятность безотказной работы в течение заданного времени (времени наблюдения) t вычисляется по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (8.5)$$

Вероятность N отказов за время t вычисляется по формуле:

$$q(N, t) = \frac{e^{-\lambda t} \cdot (\lambda t)^N}{N!} \quad (8.6)$$

Приведенные коэффициенты оценивают не единичные свойства, а два-три одновременно. Для одновременной оценки безотказности и ремонтпригодности используются:

- **Коэффициент готовности** – вероятность работоспособного состояния в произвольный момент времени t (вероятность выполнения условия $T > t$).
- **Коэффициент простоя** оценивает вероятность отказа $q(t)$ и проведения профилактической работы.

8.3. Организация электропитания аппаратуры необслуживаемых усилительных пунктов (НУП) и необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП)

Аппаратура систем передачи данных может размещаться на станциях, в которых постоянно присутствует эксплуатационный персонал, или на полностью автоматизированных усилительных пунктах без постоянного присутствия персонала.

Усилительные пункты без постоянного присутствия персонала получили название необслуживаемых усилительных пунктов (НУП) или регенерационных пунктов (НРП). Необслуживаемые усилительные пункты широко использовались в аналоговых каналах связи, несмотря на активный перевод телефонных линий на цифровую передачу данных, необходимость в подобных сооружениях сохранилась. В НУП устанавливается цифровое оборудование для регенерации передачи данных по кабелям. Также на НУП могут устанавливаться стационарные радиостанции с управлением по каналу связи на расстояние до 20 километров.

Основные требования, предъявляемые к объектам:

- Полная автономность (энергонезависимость, наличие средств контроля за работой оборудования, возможность мониторинга проникновения посторонних лиц внутрь объекта).
- Антивандальное исполнение, поскольку ущерб от разрушения или кражи телекоммуникационного оборудования может составлять десятки миллионов рублей только в одном необслуживаемом усилительном пункте.
- Коррозионная стойкость, т. к. кабельные магистрали расположены под землей, недопустимо проникновение грунтовых вод и осадков внутрь объекта, также важно обеспечить естественную или искусственную вентиляцию для удаления конденсирующейся влаги.
- Технические работы внутри НУП требуются только при возникновении форс-мажорных обстоятельств, но важно обеспечить удобный доступ персоналу для ремонта и/или замены оборудования.

В соответствии с принятыми принципами построения систем передачи по коаксиальным и симметричным кабелям с медными жилами аппаратура НУП и НРП получает электроэнергию из обслуживаемых станций ОУП (ОРП) с помощью аппаратуры дистанционного питания по тем же проводам, по которым передаются информационные сигналы. Дистанционное питание (ДП) аппаратуры линейного тракта в системах передачи позволяет на магистрали автоматизировать до 98...99 % всех станций, причем из общей мощности, потребляемой аппаратурой линейного тракта, примерно 90 % требуется для дистанционного питания. Отсюда следует, что в аппаратуре линейного тракта, устанавливаемой на ОУП (ОРП), заметная доля отводится устройствам ДП. К основным особенностям этих устройств нужно отнести их способность работать в условиях резких изменений нагрузки и гарантировать высокую надежность. Нагрузки НУП (НРП), провода и устройства ДП объединяются в цепь ДП. Обычно аппаратура НУП (НРП) одной системы передачи питается от одной цепи ДП. Указанное положение позволяет получать полную независимость каждой системы, что наряду с повышением живучести обеспечивает также большую их помехозащищенность. Участок магистрали между двумя соседними ОУП (ОРП) называется секцией ДП. Аппаратура НУП (НРП) секции ДП может получать электроэнергию либо с одного ОУП (ОРП) (ДП по секциям), либо с двух соседних ОУП (ОРП), ограничивающих эту секцию (ДП по полусекциям). Во втором

случае обычно в середине секции устанавливаются два шлейфа по ДП. На рис. 60а изображена схема секции цепи ДП, а на рис. 60, б двух полусекций.

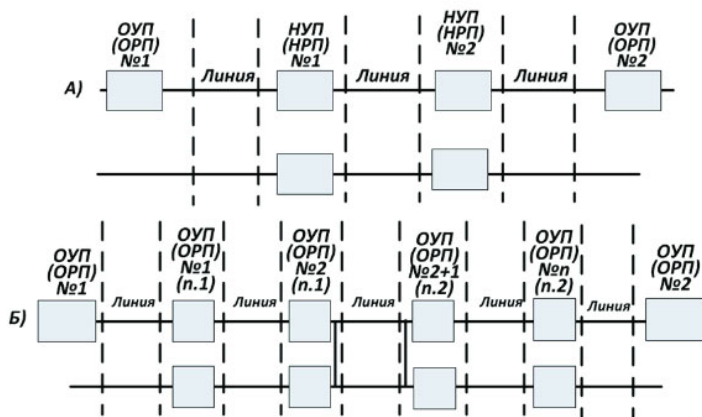


Рисунок 60 – Секция (а) и полусекция (б) ДП

Применение ДП по полусекциям позволяет обеспечить большую длину секции ДП, т. е. осуществить питание максимальное количество НУП (НРП) от двух смежных ОУП (ОРП). В связи с повышением требований к надежности систем передачи целесообразно стремиться к предельному упрощению устройства приема ДП в НУП (НРП). Отечественный и зарубежный опыт разработок систем передачи показывает, что наиболее простые и надежные устройства приема ДП на НУП (НРП) получаются при последовательном включении их в цепь ДП и электропитании с ОУП (ОРП) стабилизированным постоянным током. Как правило, при таком включении нагрузок в НУП (НРП) не требуется применения каких-либо преобразовательных устройств и появляется возможность свести потери в линии к минимуму. Кроме того, применение схемы с последовательным включением нагрузок обеспечивает максимальную длину секции ДП. Максимальная длина секции ДП в этом случае ограничивается электрической прочностью изоляции кабеля.

При разработке системы передачи не всегда удастся использовать оптимальное значение тока ДП. Это объясняется, прежде всего, тем, что на каждом НУП или НРП имеется несколько нагрузок с различными требуемыми напряжениями. Отклонение тока ДП от оптимального значения (как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения) уменьшает дальность действия системы ДП. Степень уменьшения числа НУП или длины системы ДП при близких значениях выбранного и оптимального токов весьма незначительна. Так, при отклонении выбранного тока на 25...30 % оптимального значения длина цепи ДП сокращается не более чем на 10 %.

Цепи ДП в симметричных кабелях организуются по средним точкам линейных трансформаторов двух симметричных пар, выделенных для передачи

сигналов конкретной системы. Пары могут находиться, как в одном, так и в двух кабелях при организации связи по двухкабельной системе. Напряжение ДП при этом не может превышать 450 В при однокабельной и 900 В при двухкабельной системе. Выбор способа ДП должен производиться по результатам конкретного проектирования.

Цепи ДП в коаксиальных кабелях организуются по центральным проводам коаксиальных пар, электрическая прочность изоляции которых нормируется относительно обратного провода коаксиальной пары. В нормальном режиме работы цепи и устройств ДП напряжение ДП прикладывается к двум цепям разных направлений передачи и распределяется между ними в соответствии с сопротивлением изоляции. Чтобы избежать зависимости от сопротивления изоляции и равномерно распределить между парами напряжение ДП, на выходе устройства ДП включается делитель напряжения, сопротивление которого существенно меньше сопротивления изоляции коаксиальных пар. Для контроля целостности изоляции пар средняя точка делителя заземляется через устройство контроля. Устройство ДП на ОУП (ОРП) представляет собой стабилизатор постоянного тока, который при широких изменениях нагрузки обеспечивает поддержание тока в пределах одного-двух процентов при воздействии всех дестабилизирующих факторов. К устройству предъявляются высокие требования по надежности. Обычно эти устройства имеют среднее время наработки на отказ (MTBF) не менее 200 000 ч.

НРП волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) может располагаться на предприятиях связи, получающих электроэнергию от энергосетей, или в специальных помещениях, где отсутствуют источники электроэнергии. В случаях размещения аппаратуры НРП на предприятии связи она получает бесперебойное электропитание от станционной выпрямительно-аккумуляторной установки и обслуживается так же, как и другая аппаратура связи, размещенная на этом предприятии.

8.4. Альтернативные источники питания

Для электропитания объектов связи железнодорожного транспорта наиболее приемлемыми источниками следует рассматривать энергию ветра и Солнечную энергию.

Солнце – это вечный источник световой и тепловой энергии. Ресурсы его неисчерпаемы. Поэтому человечество мечтало поставить его энергию для своих нужд. Известно, что при падении солнечных лучей на фотоэлемент в нем генерируются неравновесные электронно-дырочные пары. Избыточные электроны и «дырки» частично переносятся через p-n-переход из одного слоя полупроводника в другой.

В итоге во внешней цепи появляется напряжение. При этом на контакте p-слоя формируется положительный полюс источника тока, а на n-слоя – отрицательный. На рис. 61 показана схема получения электрического тока с помощью фотоэлемента

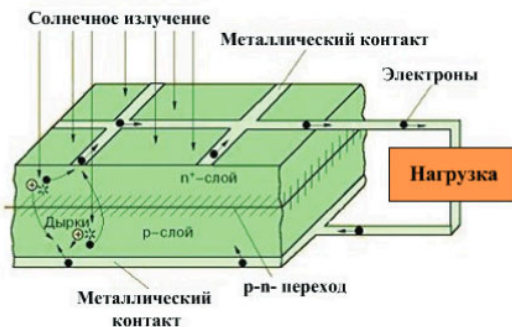


Рисунок 61 – Получение электрического тока с помощью фотоэлемента

Разность потенциалов (напряжение) между контактами фотоэлемента появляется из-за изменения числа «дырок» и электронов с разных сторон р-п-перехода в результате облучения n-слоя солнечными лучами.

Подключенные к внешней нагрузке в виде аккумулятора фотоэлементы образуют с ним замкнутый круг. В результате солнечная панель работает, как своеобразное колесо, по которому движутся электроны, а аккумуляторная батарея при этом постепенно набирает заряд.

Стандартные кремниевые фотоэлектрические преобразователи являются однопереходными элементами. Переток в них электронов происходит только через один р-п-переход с ограниченной по энергетике фотонов зоной этого перехода.

То есть каждый такой фотоэлемент способен генерировать электроэнергию только от узкого спектра солнечного излучения. Вся остальная энергия пропадает в пустую. Поэтому-то и эффективность у ФЭП так низка.

Чтобы повысить КПД солнечных батарей, кремниевые полупроводниковые элементы для них в последнее время стали делать многопереходными (каскадными). В новых ФЭП переходов уже несколько. Причем каждый из них в этом каскаде рассчитан на свой спектр солнечных лучей.

Суммарная эффективность преобразования фотонов в электроток у таких фотоэлементов в итоге возрастает. Но и цена их значительно выше. Здесь возникает дилемма либо простота изготовления с невысокой себестоимостью и низким КПД, либо более высокая отдача вкупе с высокой стоимостью.

Солнечная батарея может работать как летом, так и зимой (ей нужен свет, а не тепло) – чем меньше облачность и ярче светит солнце, тем больше гелиопанель генерирует электрического тока

При работе фотоэлемент и вся батарея постепенно греется. Та энергия, что не пошла на генерацию электротока, трансформируется в тепло. Часто температура на поверхности гелиопанели поднимается до 50–55 °С. Но чем она выше, тем менее эффективно работает фотогальванический элемент.

В итоге одна и та же модель солнечной батареи в жару генерирует тока меньше, нежели в мороз. Максимум КПД фотоэлементы показывают в ясный

зимний день. Тут сказываются два фактора – много солнца и естественное охлаждение.

При этом если на панель будет падать снег, то электроэнергию она генерировать все равно продолжит. Более того, снежинки даже не успеют на ней особо полежать, растаяв от тепла нагретых фотоэлементов.

Один фотоэлемент даже в полдень при ясной погоде выдает совсем немного электроэнергии, достаточной разве что для работы светодиодного фонарика.

Чтобы повысить выходную мощность, несколько ФЭП объединяют по параллельной схеме для увеличения постоянного напряжения и по последовательной для повышения силы тока.

Эффективность солнечных панелей зависит от:

- температуры воздуха и самой батареи;
- правильности подбора сопротивления нагрузки;
- угла падения солнечных лучей;
- наличия или отсутствия антибликового покрытия;
- мощности светового потока.

Чем ниже температура на улице, тем эффективнее работают фотоэлементы и гелиобатарея в целом. Здесь все просто. А вот с расчетом нагрузки ситуация сложнее. Ее следует подбирать исходя из выдаваемого панелью тока. Но его величина меняется в зависимости от погодных факторов.

Гелиопанели выпускаются с расчетом на выходное напряжение, кратное 12 В. Если на аккумулятор надо подать 24 В, то две панели к нему придется подсоединить параллельно.

Постоянно отслеживать параметры солнечной батареи и вручную корректировать ее работу проблематично. Для этого лучше воспользоваться контроллером управления, который в автоматическом режиме сам подстраивает настройки гелиопанели, чтобы добиться от нее максимальной производительности и оптимальных режимов работы.

Идеальный угол падения лучей солнца на гелиобатарею – прямой. Однако при отклонении в пределах 30 градусов от перпендикуляра эффективность панели падает всего в районе 5 %. Но при дальнейшем увеличении этого угла все большая доля солнечного излучения будет отражаться, уменьшая тем самым КПД ФЭП.

Если от батареи требуется, чтобы она максимум энергии выдавала летом, то ее следует сориентировать перпендикулярно к среднему положению Солнца, которое оно занимает в дни равноденствия по весне и осени, что приблизительно 40–45 градусов к горизонту. Если максимум нужен зимой, то панель надо ставить ближе к вертикальному положению.

И еще один момент – пыль и грязь сильно снижают производительность фотоэлементов. Фотоны сквозь такую «грязную» преграду просто не доходят до них, а значит, и преобразовывать в электроэнергию нечего. Панели необходимо регулярно мыть либо ставить так, чтобы пыль смывалась дождем самостоятельно.

Некоторые солнечные батареи имеют встроенные линзы для концентрирования излучения на ФЭП. При ясной погоде это приводит к повышению КПД. Однако при сильной облачности эти линзы приносят только вред.

Если обычная панель в такой ситуации будет продолжать генерировать ток пусть и в меньших объемах, то линзовая модель работать прекратит практически полностью.

Солнце батарею из фотоэлементов в идеале должно освещать равномерно. Если один из ее участков оказывается затемненным, то неосвещенные фотоэлектронные преобразователи превращаются в паразитную нагрузку. Они не только в подобной ситуации не генерируют энергию, но еще и забирают ее у работающих элементов.

Панели устанавливать надо так, чтобы на пути солнечных лучей не оказалось деревьев, зданий и иных преград.

Система солнечного электроснабжения включает:

- Гелиопанели.
- Контроллер.
- Аккумуляторы.
- Инвертор (трансформатор).

Контроллер в этой схеме защищает как солнечные батареи, так и АКБ. С одной стороны он препятствует протеканию обратных токов по ночам и в пасмурную погоду, а с другой – защищает аккумуляторы от чрезмерного заряда/разряда.

На рис. 62 показана упрощенная схема включения солнечных батарей в систему электропитания.

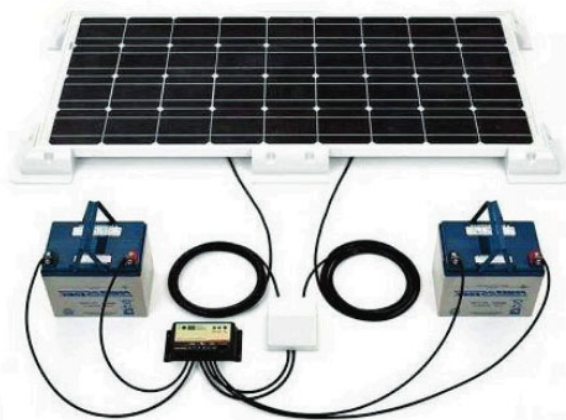


Рисунок 62 – Упрощенная схема включения солнечных батарей в систему электропитания

Аккумуляторные батареи для гелиопанелей следует подбирать одинаковые по возрасту и емкости, иначе зарядка/разрядка будут происходить неравномерно, что приведет к резкому снижению срока их службы.

Для трансформации постоянного тока напряжением 12, 24 либо 48 вольт, в переменный 220-вольтный нужен инвертор. Автомобильные аккумуляторы применять в такой схеме не рекомендуется из-за их неспособности выдерживать частые перезарядки. Лучше всего потратиться и приобрести специальные гелиевые AGM либо заливные OPzS АКБ.

Можно прийти к выводу, что каждый элемент в системе солнечного электроснабжения должен быть подобран грамотно. Неизбежные потери мощности происходят на аккумуляторах, трансформаторах и контроллере. И их обязательно надо сократить до минимума, иначе и так достаточно низкая эффективность гелиопанелей может быть сведена к нулю.

8.5. Принцип получения электроэнергии с помощью ветрогенераторов

Очевидным плюсом ветроэнергетики является фактическая бесконечность ресурсов: пока на планете имеется атмосфера и светит Солнце, будет и движение воздушных масс, которое можно использовать для получения энергии.

Одним из несомненных плюсов ветроэнергетики является экологичность. Ветряные электростанции не выделяют никаких вредных веществ, не загрязняют окружающую среду. К сожалению, их все же нельзя назвать полностью экологически безопасными, так как ветроэнергетическая установка довольно шумная, и поэтому в Европе законодательно установлен предельный уровень шума для дневного и ночного времени, который ветряные электростанции не должны превышать. Кроме того, работу ветряных электростанций приходится останавливать во время сезонного перелета птиц (на данный случай в Европе также имеется законодательное ограничение). В России подобных ограничений нет, но ветряные электростанции не располагаются поблизости от жилых домов – исходя из удобства населения.

Наряду с таким плюсом, как неисчерпаемость энергетического источника, идет и минус: эффективность работы ветряной электростанции зависит от времени года, времени суток, погодных условий и географического положения. К сожалению, скорость ветра изменяется в зависимости от всех этих параметров, а так как энергия ветра является кинетической, то она напрямую связана со скоростью ($E = m \times v^2 / 2$) – чем выше скорость, тем, соответственно, больше энергии вырабатывает ветроустановка. Поэтому ветряные электростанции приходится использовать обычно вместе с другими источниками энергии, а также пользоваться аккумуляторами, которые принимали бы избыток энергии в ветреные дни и отдавали бы во время штиля.

К плюсам ветряных электростанций можно отнести и быстроту возведения ветроустановки. Даже для промышленной установки требуется не более двух недель, учитывая время, затраченное на подготовку площадки.

Иногда к минусам ветряных электростанций относят довольно большую площадь, которую занимают ветроустановки. Электростанция, выполненная на ветрогенераторах, может содержать сто и более ветроэнергетических устано-

вок. Однако, наряду с наземными ветряными электростанциями, сейчас устанавливаются и прибрежные, плюсом которых является стабильность работы – за счет морских бризов, шельфовые, находящиеся в море на значительном удалении от берега на расстоянии 10–60 км, которые не занимают земельные участки, весьма эффективны, так как морские ветры регулярны и обладают значительной скоростью.

Учитывая общую направленность энергетической области на использование возобновляемых, а, желательно, и неисчерпаемых источников энергии, развитие ветроэнергетики будет постоянно ускоряться во всем мире. Разрабатываются новые модели ветроустановок, в которых усиливаются плюсы и минимизируются минусы. Например, уже тестируются плавающие и парящие ветрогенераторы. Плавающие ветрогенераторы обладают тем же преимуществом, что и шельфовые – они устанавливаются довольно далеко от берега, не занимают земельные участки, их работа максимально эффективна за счет постоянных морских ветров.

Также эффективны и парящие ветрогенераторы: чем выше – тем больше скорость ветра, и такие ветроустановки могут использовать максимальную силу ветра.

Все больше стран в мире устанавливают у себя ветряные электростанции, используя самые последние разработки. В суммарной энергии, вырабатываемой в мире, доля энергии, производимой ветряными электростанциями, постоянно возрастает.

Ветроэнергетика в России развивается сейчас так же, как и во всем мире. Эксплуатируются ветряные электростанции, построенные ранее, проектируются и строятся новые. Доля электроэнергии, вырабатываемой при использовании энергии ветра, возрастает. В перспективе, по оценкам экспертов таков экономический потенциал ветроэнергетики в России, возможно, будет составлять примерно 30 % от всего производства электроэнергии, и будет вырабатываться именно ветряными электростанциями.

Сознательное использование возобновляемых природой альтернативных источников энергии становится популярным, но, как и прежде, преобладают экономические приоритеты. Например, использование альтернативных источников электрической энергии на железнодорожном транспорте позволит не только использовать ее для собственных нужд, но и поставлять ее сторонним организациям. Использование источников альтернативного электричества и тепла в некоторых случаях может оказаться единственным экономически выгодным вариантом получения и использования электроэнергии.

Мощность ветрогенератора зависит от мощности воздушного потока (N), определяемой скоростью ветра и отметаемой площадью

$$N = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (8.7)$$

где V – скорость ветра, ρ – плотность воздуха, S – отметаемая площадь.

Изучение преобразования возобновляемых источников энергии ветра в электричество, в первую очередь нужно выбрать конструкцию ветряка. Наибо-

лее распространенные конструкции – это лопастной винт с горизонтальной осью, ротор Савониуса, и турбина Дарье. Лопастной винт с тремя лопастями в качестве источника альтернативной энергии – наиболее распространенный вариант при изготовлении ветряков.

При проектировании лопастей винтов большое значение имеет угловая скорость вращения ветряка. Существует так называемый фактор эффективности винта, который зависит от скорости воздушного потока, а также длины, сечения, количества и угла атаки лопастей.

Для создания оптимального профиля лопасти потребуется компьютерное моделирование и ЧПУ станок.

К положительным сторонам ветроэнергетики следует отнести в первую очередь уменьшение эксплуатационных расходов на один киловатт сгенерированной мощности. Как показывает статистика стоимость одного киловатта ветровой энергии примерно в два раза меньше стоимости энергии ТЭС.

К положительным сторонам также необходимо отнести возможность получения энергии в отдаленных местах, куда экономически или технически проблематично проложить необходимые коммуникации.

Также ветроэнергетика привлекает к себе внимание простотой в установке оборудования и сравнительно невысокими ценами.

Еще огромным плюсом ветроустановок является невысокие требования к территории, где они размещены и ее размеру. Ветрогенерирующие станции устанавливаются на свободных площадях, на равнинах и в горах, в прибрежной зоне и в воде. Площадь занимаемой земли мала.

К отрицательным сторонам ветроэнергетики следует отнести зависимость выработки энергии от наличия ветра и его скорости. Поэтому при строительстве ветроустановки предусматривают аккумуляторы для накопления неиспользуемой энергии, и ее использования при отсутствии ветра.

Установка ветроэнергогенератора выгодна, при скоростях ветра 5 м/сек и выше и в местах, куда нет возможности подать энергию.

Вырабатываемая ветротурбиной мощность пропорциональна утроенной скорости ветра. Следовательно, этот показатель очень мал при слабых ветровых потоках, однако при их усилении – резко возрастает. Из-за переменчивости направления ветров и их скорости при конструкции ветровой турбины необходимо предусмотреть стабилизирующие компоненты.

Следует отметить, что эффективному применению ветровых потоков способствует разнообразие конструкций ветрогенераторов. Горизонтальные турбины дают высокие показатели на равнинных местах, где много ветров, тогда как вертикальные турбины лучше работают в регионах с турбулентными потоками, наблюдающимися низко от земли – в верхней части холмов, горных хребтах. В то же время, у ветряков есть и свои негативные стороны: Величину силы ветра сложно предсказать заранее, так как она часто меняется. Из-за этого желательно продумать подстраховку, предусмотрев дублирующий источник энергии солнечные панели и подключение к электросети.

Вертикальные устройства подвергаются опасности разрушения лопастей винта из-за воздействия центробежных сил при вращении лопастей вокруг главной оси. Вследствие подобного эффекта важные элементы конструкции со временем деформируются и разрушаются, а механизм выходит из строя.

Ветряки лучше устанавливать на свободном пространстве, поскольку расположенные рядом здания могут «гасить» ветер, образуя «мертвую» воздушную зону. Для сохранения избыточной энергии ветротурбин необходимо предусмотреть в конструкции использование аккумуляторов и других дополнительных приборов, служащих для преобразования полученного электричества в ток с подходящими потребительскими характеристиками. При работе ветряные генераторы издают шум, который может причинять дискомфорт людям, отпугивать животных. Лопастей установок могут также стать причиной гибели подлетевших к ним птиц. По мнению некоторых специалистов, ветротурбины способны ухудшать прием радио- и телевизионных передач.

На рис. 63 показана схема получения электроэнергии при помощи ветрогенератора для использования в электропитании устройств связи.

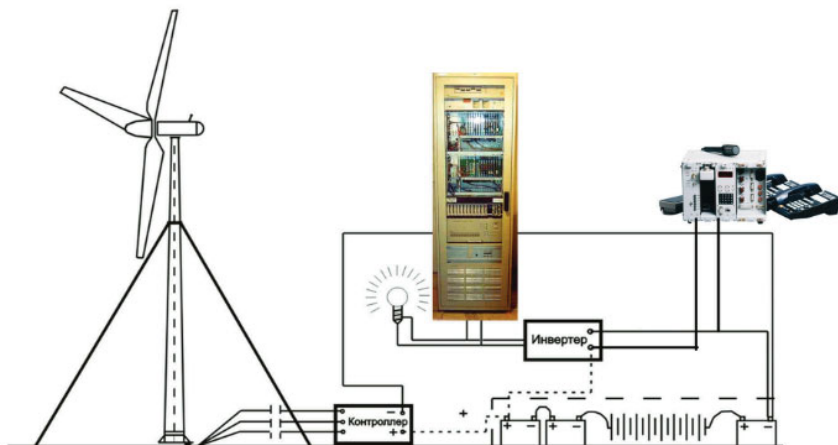


Рисунок 63 – Схема получения электроэнергии при помощи ветрогенератора

Хотя ветроустановка может работать и автономно, значительно лучше-го результата удастся достичь при помощи комбинированных схем, предусматривающих сочетание ветрового устройства с солнечными батареями, централизованной электросетью, дизельными или газовыми источниками энергии.

При автономной работе ставится единичная установка, при помощи которой улавливается и накапливается ветровая энергия, которая затем преобразуется в необходимый потребителям электрический ток. На схеме продемонстрирован наиболее простой способ применения ветрогенератора, который целесообразно использовать в регионах, где постоянно дуют сильные ветры.

Вопросы для самоконтроля:

1. Поясните, что понимается под надежностью электроснабжения объекта связи.
2. Расскажите о категориях надежности электроснабжения электроустановок ЛАЗ.
3. Назначение и принцип работы источника бесперебойного питания СКАТ-2400.
4. Поясните, какие показатели надежности следует считать важнейшими при электроснабжении объектов связи.
5. Какие основные требования предъявляются к объектам связи с точки зрения безопасности их функционирования.
6. Что понимается под альтернативными источниками питания. Зеленая энергетика.
7. Принцип работы солнечных батарей и от чего зависит их эффективность.
8. Принцип получения электроэнергии с помощью ветрогенераторов и от чего зависит их эффективность.

Глава 9.

МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ РАДИОСВЯЗИ

9.1. Основные технические мероприятия в области защиты от импульсных перенапряжений

Заметное увеличение грозовой активности в последние годы, по всей вероятности, обусловлено изменением климата на планете. Естественно, что это, наряду с усложнением конструкции и повышением степени интеграции оборудования связи и электропитания, приводит к необходимости решения ряда вопросов, связанных с проблемой защиты от импульсных токов и перенапряжений.

Основными техническими мероприятиями в области защиты от импульсных перенапряжений, возникающих между различными элементами и составными частями изделия или объекта при прямом или близком ударе молнии, являются:

- создание системы внешней молниезащиты;
- создание качественного заземляющего устройства для отвода на него импульсных токов молнии;
- экранирование оборудования и линий, входящих в него, от воздействия электромагнитных полей, возникающих при протекании токов молнии по металлическим элементам системы молниезащиты, строительным металлоконструкциям и другим проводникам при близком размещении оборудования к ним;
- создание системы уравнивания потенциалов внутри объекта путем присоединения к главной заземляющей шине (ГЗШ) с помощью потенциалуравнивающих проводников всех металлических элементов и частей оборудования (за исключением токоведущих и сигнальных проводников);
- установка на всех линиях, входящих в объект (или отдельно размещенное оборудование), устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), с целью уравнивания потенциалов токоведущих или сигнальных проводников относительно заземленных элементов и конструкций объекта. Иногда может понадобиться защита и внутренних линий, соединяющих различное оборудование, например, шины постоянного тока на выходе выпрямителя и т. д.

Проблема защиты от импульсных грозовых перенапряжений может быть решена только комплексным путем, при условии выполнения всех перечисленных технических мероприятий. Такой подход определяет зонавая концепция защиты, изложенная в стандартах МЭК серии 62305, которая приходит на смену устаревшим стандартам МЭК 61024 и 61312.

Стандарты МЭК определяют зоны молниезащиты с точки зрения прямого и непрямого воздействия молнии:

Зона θ_A : Зона внешней среды объекта, все точки которой могут подвергаться воздействию прямого удара молнии (иметь непосредственный контакт с каналом молнии) и возникающего при этом электромагнитного поля.

Зона θ_B : Зона внешней среды объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии (ПУМ), так как находятся в пространстве, защищенном системой внешней молниезащиты. Однако в данной зоне имеется воздействие неослабленного электромагнитного поля.

Зона 1: Внутренняя зона объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии. В этой зоне токи во всех токопроводящих частях имеют значительно меньшее значение по сравнению с зонами θ_A и θ_B . Электромагнитное поле также снижено по сравнению с зонами θ_A и θ_B за счет экранирующих свойств строительных конструкций.

Последующие зоны (Зона 2, и т. д.). Если требуется дальнейшее снижение разрядных токов или электромагнитного поля в местах размещения чувствительного оборудования, то необходимо проектировать так называемые последующие зоны. Критерий для этих зон определяется соответственно общими требованиями по ограничению внешних воздействий, влияющих на защищаемую систему. Имеет место общее правило, по которому с увеличением номера защитной зоны уменьшаются влияние электромагнитного поля и грозового тока. На границах раздела отдельных зон необходимо обеспечить защитное последовательное соединение всех металлических частей, с обеспечением их периодического контроля.

На распределение энергии электромагнитных полей внутри объекта оказывают влияние различные элементы строительных конструкций, таких как отверстия или щели (например, окна, двери), обшивки из листовой стали (водосточные трубы, карнизы), а также места ввода-вывода кабелей электропитания, связи и других коммуникаций.

Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную **Зону 1** в одной точке и своими экранными оболочками или металлическими частями подключаться к главной заземляющей шине на границе раздела Зон $\theta_A... \theta_B$ и **Зоны 1**.

Описанное выше разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты электропитающих сетей до 1000 В, а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений (или так называемой внутренней системой молниезащиты). На рис. 64 показано разделение защищаемого объекта на зоны.

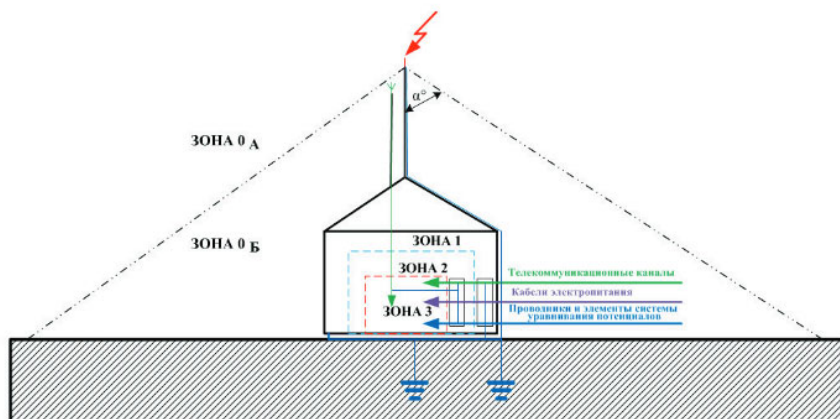


Рисунок 64 – Разделение защищаемого объекта на зоны

Система внешней молниезащиты защиты объекта от прямого попадания молнии важна тем, что происходит уменьшение амплитудного значения токов растекания по его металлическим конструкциям, корпусам установленного внутри оборудования и подключенным к ним кабельным линиям. Так же молниезащита предназначена, для предотвращения искрения и возможности возникновения пожара. Это достигается за счет создания путей отвода токов молнии, к заземляющему устройству по специально проложенным токоотводам.

Система внешней молниезащиты может быть выполнена в соответствии с рекомендациями «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений», РД 34.21.122-87 или «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций», СО-153-34.21.122-2003. Обе инструкции носят рекомендательный характер и до выхода соответствующего технического регламента могут быть использованы при решении задач проектирования и строительства объектов разного назначения.

С точки зрения защиты антенно-фидерных устройств, размещенных на мачтах и вышках необходимо учитывать зоны защиты, образуемые металлическими конструкциями этих АМС. Но всегда необходимо помнить и о том, что сооружения высотой более 60 м могут себя вести в отношении молнии несколько иначе, чем низкие объекты.

При размещении оборудования связи непосредственно на крыше технического здания так же необходимо учитывать зоны защиты, создаваемые его строительными элементами и имеющимися элементами внешней системы молниезащиты. В некоторых случаях, при установке, антенны не на стандартной мачте может появиться необходимость в доработке системы молниезащиты с целью, создания дополнительной зоны защиты оборудования связи.

Наличие заземляющего устройства молниезащиты

Заземляющее устройство системы молниезащиты предназначено для отвода токов молнии в землю и должно иметь прямую электрическую связь с за-

щитным заземляющим устройством электроустановки с целью уравнивания потенциалов. При этом, чем более низкое сопротивление будет, имеет заземляющее устройство, тем ниже будет значение потенциала на главной заземляющей шине (ГЗШ) объекта при ударе молнии, что, соответственно, уменьшит амплитудные значения перенапряжений в силовых и сигнальных цепях и на входах оборудования.

Экранирование помещений, оборудования и линий

Экранирование помещений объекта связи, установленного в них оборудования, электропитающих и сигнальных кабелей позволяет минимизировать значения токов и напряжений, которые могут быть индуцированы в них при воздействии сильных электромагнитных полей.

Часто возникает необходимость экранировки внутри объекта, при плохих экранирующих свойствах строительных конструкций – дерево, кирпич, при сложной электромагнитной обстановке внутри объекта – наличие источников сильных электромагнитных полей, при близкой прокладке с посторонними кабелями и коммуникациями, имеющими выход за пределы здания в зоны молниезащиты θ_A или θ_B и т. п.

Создание системы уравнивания потенциалов

Система уравнивания потенциалов на любом объекте важна, прежде всего, с точки зрения обеспечения электробезопасности персонала при коротких замыканиях в оборудовании на корпус, а также при растекании токов молнии при прямом ударе в объект или в случае заноса опасных токов и напряжений через входящие линии и коммуникации. Основные требования к этой системе определены ПУЭ главой 1.7 и ГОСТ Р 50571. Так же, очень важное значение, имеет система уравнивания потенциалов с точки зрения защиты от перенапряжений самого оборудования. Хорошо известно, что если в некоторой системе удастся достигнуть равенства потенциалов между ее различными элементами (корпусами оборудования, электропитающими и сигнальными проводниками), то перенапряжений, способных вызвать пробой изолирующих материалов, а соответственно и токов уравнивания потенциалов, в такой системе не будет.

Применение устройств защиты от импульсных перенапряжений для защиты электропитающих установок

Выбор той или иной схемы защиты для объекта связи будет зависеть в основном от его конфигурации, наличия АМС, их высоты, и типа ввода электропитающих линий (воздушный или подземный кабельный).

Для объектов связи, имеющих высокие антенно-мачтовые сооружения (АМС) или воздушный ввод электропитания сети 220/380 В, рекомендуется применение как минимум двухступенчатой схемы защиты от перенапряжений.

В качестве первой ступени защиты рекомендуется устанавливать:

- однофазные грозовые разрядники (HS 55, HS 50-50 и др.), способные пропускать через себя импульсные токи прямого удара молнии (формы

10/350 мкс) с амплитудным значением не менее 50 кА, обеспечивающие остающееся напряжение (U_p) менее 4 кВ, и способные самостоятельно гасить дугу при сопровождающих токах более 4 кА;

- грозовые разрядники (HS 100, B80 и др.), способные пропускать через себя импульсные токи формы 10/350 мкс с амплитудным значением до 120 кА и гасить сопровождающие токи величиной до 300 А, а также обеспечивающие остающееся напряжение (U_p) менее 2 кВ. Эти разрядники не используются в случае четырехпроводных схем электропитания.

В качестве второй ступени защиты рекомендуется устанавливать:

- однофазные (трехфазные) варисторные защитные устройства (РПП-230, РППМ-230, РПП-280, РППМ-280 и др.) с максимальным импульсным током 30–40 кА формы 8/20 мкс и остающимся напряжением (U_p) менее 1,5 кВ;
- разрядники второго класса защиты (B20 C), способные пропускать максимальные импульсные токи с амплитудным значением до 50 кА (8/20 мкс) и имеющие остающееся напряжение (U_p) менее 1,5 кВ.

При установке защитных устройств необходимо, чтобы расстояние между соседними ступенями защиты было не менее 10 метров по кабелю электропитания. Выполнение этого требования очень важно для правильной работы (координации срабатывания) защитных устройств. В случае размещения устройств первой и второй ступеней на более близком расстоянии или в одном и том же месте необходимо использовать согласующее устройство в виде импульсного разделительного дросселя.

Применение такой защиты может дать экономию до 30–40 % от случая применения отдельных ступеней защиты с разделительными дросселями. Однако, в случае установки подобных устройств на воздушном вводе электропитания, существует вероятность выхода их из строя при ударе молнии непосредственно в провода ЛЭП вблизи от объекта.

Требования по размещению и монтажу защитных устройств

При применении защитных устройств в электропитающей установке объекта связи контейнерного типа, где решающим критерием являются габаритные характеристики, рекомендуется:

- Устройства защиты класса I размещать во вводном щитке, после вводного автомата, но желательно перед счетчиком учета электроэнергии (для его защиты);
- Устройства защиты класса II размещать в том же щитке перед групповыми автоматами. Этот вариант может быть предпочтительнее в том случае, когда эксплуатирующая организация приобретает выпрямитель, в котором производителем уже установлены защитные устройства II класса в виде дополнительной опции;
- В случае объекта контейнерного типа во вводном щитке необходимо установить импульсные разделительные дроссели с индуктивностью

15 мкГн, так как габаритные размеры объекта не позволят обеспечить разнесение устройств защиты I и II ступеней на 10 м по длине кабеля. При применении дросселей необходимо предусмотреть на вводе в электроустановку или в той линии, где они установлены, устройства защиты от сверхтоков (автоматические выключатели или предохранители), которые смогут защитить дроссели и проводники электроустановки от токов перегрузки и короткого замыкания.

Защита радиопередающего оборудования

Данная защита подразумевает целый комплекс мероприятий, согласно стандартам ИЕС (МЭК), стандартам ETSI (Европейского Телекоммуникационного Стандарта) и рекомендациям ITU (Международного Союза Электросвязи).

Для уменьшения вероятности выхода из строя радиооборудования при прямых или близких попаданиях молнии в АМС рекомендуется:

- тщательно отнестись к вопросу проектирования и монтажа на объекте молниезащитного заземляющего устройства антенно-мачтового сооружения;
- предусматривать способ его соединения для выравнивания потенциалов с защитным заземляющим устройством электропитающей установки объекта;
- осуществлять заземление экранных оболочек коаксиальных высокочастотных кабелей на тело мачты (токоотвод системы молниезащитного заземления) как минимум в следующих основных точках:
- возле антенного устройства;
- при изгибах кабеля на угол 90 градусов и более;
- при вводе в техническое здание (контейнер);
- в месте ввода высокочастотных коаксиальных кабелей в помещение базовой станции устанавливать защитные устройства на разрядниках или четвертьволновых заглушках.

9.2. Характеристика интенсивности грозовой деятельности и молниепоражаемости объекта

Выбор конструкции и расчет параметров молниезащиты должен производиться на основе данных о защищаемом объекте, о его назначении, наличии, наличии взрыво и пожароопасных зон, огнестойкости на основе действующим нормативным документам и ожидаемом количестве поражений молнией в год. Количество поражений в год определяется исходя из сведений об интенсивности грозовой деятельности в данном регионе и геометрических размеров защищаемого объекта.

Данные об интенсивности грозовой деятельности, которая характеризуется средним числом грозовых часов (Пч) в году можно получить в метеоцентре региона.

Расчет ожидаемого количества N поражений молнией в год незащищенного объекта производится по формулам:

- для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни) рассчитывается по формуле:

$$N = 9\pi h^2 n \cdot 10^{-6} \quad (9.1)$$

- для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6h) \cdot (L + 6h) - 7,7h^2] n \cdot 10^{-6} \quad (9.2)$$

где h – наибольшая высота здания или сооружения, м; S , L – соответственно, ширина и длина здания или сооружения; n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности, определяемое по таблице 10.

Если здание имеет сложную конфигурацию, то при расчете за S и L принимают ширину и длину прямоугольника, в который вписывается план здания.

Таблица 10 – Зависимость среднегодового числа ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности от интенсивности грозовой деятельности

Интенсивность грозовой деятельности Пч, ч	Среднее число ударов молнии в год на 1 км^2 , n
10...20	1
20...40	2
40...60	4
60...80	5,5
80...100	7

9.3. Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты

Исходя из вероятности поражения защищаемого объекта молнией, масштаба возможных разрушений и ущерба. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты устанавливает три категории зданий и сооружений (I, II, III) и два типа (А и Б) зон защиты объектов от прямых ударов молнии.

Зона защиты типа А, обеспечивает перехват на пути к защищаемому объекту не менее 99,5 % молний, а типа Б – не менее 95 %.

К **I категории** относят здания и сооружения (или их части), в которых имеются взрывоопасные зоны классов В-I и В-II согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). В них хранятся, или содержатся, постоянно либо появляются во время производственного процесса смеси газов, паров или пыли горючих веществ с воздухом или иными окислителями, способные взорваться от электрической искры.

К **II категории** относят здания и сооружения (или их части), в которых имеются взрывоопасные зоны классов В-Ia, В-Iб, В-IIa согласно ПУЭ. В таких сооружениях опасные смеси появляются лишь при аварии или неисправностях в технологическом процессе. К этой же категории принадлежат наружные технологические установки и открытые склады, содержащие взрывоопасные газы и пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, цистерны и резервуары, сливо-наливные эстакады и т. п.), относимые по ПУЭ к взрывоопасным зонам класса В-Iг.

В **III категорию** входят:

- здания и сооружения с пожароопасными зонами классов П-I, П-II, П-III согласно ПУЭ;
- открытые склады твердых горючих веществ и наружные технологические установки, в которых применяют или хранят горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С, относимые по ПУЭ к классу П-III;
- здания и сооружения III, IV и V степени огнестойкости, в которых отсутствуют производства с зонами, относимыми по ПУЭ к классам пожаро – и взрывоопасным;
- жилые и общественные здания, возвышающиеся на 25 м и более над средней высотой окружающих зданий в радиусе 400 м, а также отдельно стоящие здания высотой более 30 м, удаленные от других зданий на 400 м и более;
- общественные здания III, IV и V степени огнестойкости следующего назначения: детские сады и ясли, школы и школы-интернаты, спальные корпуса и столовые санаториев, домов отдыха, лечебные корпуса больниц, клубы, кинотеатры;
- здания и сооружения, являющиеся памятниками истории и культуры, дымовые трубы предприятий и котельных, водонапорные и силосные башни, вышки различного назначения высотой более 15 м.

9.4. Выбор типа защиты

Различают два рода воздействия молнии:

- первичное воздействие, связанное с прямым ударом молнии в объект;
- вторичное, вызванное электромагнитной и электростатической индукцией и заносом высоких потенциалов через металлические коммуникации в сооружения при разряде.

В результате этих явлений могут возникать пожары, взрывы, разрушения конструкций, поражения людей, перенапряжение на проводах электрической сети.

Для защиты от прямых ударов молнии сооружаются молниеотводы, принимающие на себя ток молнии и отводящие его в землю. Зона защиты молниеотвода – это часть пространства, примыкающая к молниеотводу, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии, поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. При этом, по мере углубления внутрь этого пространства степень надежности защиты возрастает.

Защита от электростатической индукции заключается в отводе индуцируемых статических зарядов в землю путем присоединения металлического оборудования, расположенного внутри и вне зданий, к специальному заземлителю или к защитному заземлению электроустановок. Сопротивление заземлителя растеканию тока промышленной частоты должно быть не более 10 Ом.

Для защиты от электромагнитной индукции между трубопроводами и другими протяженными металлокоммуникациями в местах их сближения на расстоянии 10 см и менее через каждые 20 м устанавливают (приваривают) металлические перемычки, по которым наведенные токи перетекают из одного контура в другой без образования электрических разрядов между ними.

Защита от заноса высоких потенциалов внутрь зданий обеспечивается отводом потенциалов в землю вне зданий путем присоединения металлокоммуникаций на входе в здания к заземлителям защиты от электростатической индукции или к защитным заземлениям электроустановок.

Здания и сооружения I категории должны быть обязательно защищены от прямых ударов молнии, от электрической и электромагнитной индукции, от заноса высокого потенциала через подземные и наземные коммуникации. Молниесотводы предусматриваются с зонами защиты типа А.

Здания и сооружения II категории должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных ее воздействий и заноса высоких потенциалов по коммуникациям только в местностях со средней интенсивностью грозовой деятельности $n \geq 10$.

Тип зоны защиты молниесотводов зависит от показателя N: тип А берется при $N > 1$, тип Б – при $N \leq 1$.

Здания и сооружения III категории подлежат молниезащите в местностях с грозовой деятельностью 20 ч и более в год, зона защиты молниесотводов – типа Б. В них выбор типа зоны зависит от ожидаемого числа поражений молнией: при $0,1 < N \leq 2$ принимается тип Б, при $N > 2$ принимается тип А.

Все здания и сооружения III категории защищают от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации. Наружные установки защищают только от прямых ударов молнии.

9.5. Конструкции молниесотводов

Молниесотвод состоит из молниеприемника, непосредственно воспринимающего удар молнии, токоотвода (спуска), соединяющего молниеприемник с заземлителем и заземлителя, через который ток молнии стекает в землю. Вертикальную конструкцию (столб или мачту) или часть сооружения, предназначенную для закрепления молниеприемника и токоотвода, называют опорой молниесотвода.

По типу молниеприемников молниесотводы делят:

- на стержневые;
- тросовые;
- сеточные молниесотводы, укладываемые на защищаемое здание.

Также по числу и общей зоне защиты:

- на одиночные;
- двойные;
- многократные.

Кроме того, различают молниеотводы отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

Стержневые молниеотводы представляют собой вертикальные стержни или мачты.

Тросовые молниеотводы представляют собой горизонтальные стальные канаты и провода, закрепленные на двух и более опорах. По каждой из опор прокладывают токоотвод к заземлителю.

У сеточных молниеотводов молниеприемником служит металлическая сетка, присоединяемая токоотводом к заземлителю.

Чаще используют стержневые молниеотводы.

Для повышения безопасности людей и животных заземлители размещают в редко посещаемых местах (на газонах, в кустарниках) в удалении на 5 м и более от основных грунтовых проезжих и пешеходных дорог, располагают их под асфальтовыми покрытиями или устанавливают предупреждающие плакаты. Токоотводы размещают в недоступных местах.

9.6. Расчет и проектирование молниеотводов

При устройстве молниезащиты соблюдают следующие условия:

- соответствие типа молниезащиты характеру производственного процесса в здании или сооружении, возможность типизации конструктивных элементов молниезащиты;
- надежность действия всех элементов молниезащиты и их «равнопрочность», большой срок службы (10 лет и более);
- возможность применения недорогостоящих материалов и использование конструктивных элементов здания и сооружения;
- наглядность монтажа, предупредительные и воспрещающие знаки или ограждения, доступ ко всем элементам при контроле, восстановлении или ремонте.

Кроме того, при устройстве молниезащиты зданий и сооружений любой категории учитывают возможность экранирования их зонами защиты молниеотводов других близко расположенных зданий и сооружений. При этом максимально используют естественные молниеотводы (вытяжные трубы, водонапорные башни, дымовые трубы, линии электропередачи и другие возвышающиеся сооружения).

Ниже приведены методики расчета молниеотводов разных конструкций высотой до 150 м.

Одиночный стержневой молниеотвод. Зона его защиты представляет собой конус (рисунок 65), вершина которого находится на высоте $h_0 < h$, основание образует круг радиусом R_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого уровня сооружения h_x представляет собой круг радиусом R_x . Эти величины составят:

- для зоны типа А

$$\begin{aligned}
 h_0 &= 0,85h; \\
 R_0 &= (1,1 - 0,002h) \cdot h; \\
 R_x &= (1,1 - 0,002h) \cdot \frac{h - h_x}{0,85};
 \end{aligned}
 \tag{9.3}$$

• для зоны типа Б

$$\begin{aligned}
 h_0 &= 0,92 \cdot h; \\
 R_0 &= 1,5h; \\
 R_x &= \frac{h - h_x}{0,92}
 \end{aligned}
 \tag{9.4}$$

где R_x и h_x определяют по закону подобия треугольников.

Для зоны типа Б высоту молниезвода при известных величинах h_x и R_x устанавливают по формуле:

$$h = \frac{R_x + 1,63 \cdot h_x}{1,5}
 \tag{9.5}$$

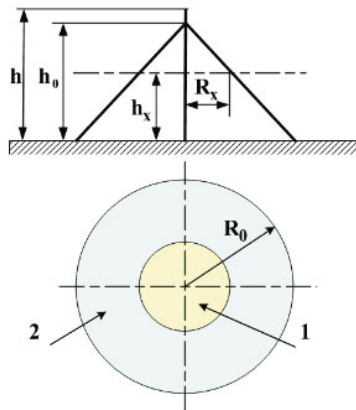


Рисунок 65 – Зона защиты одиночного стержневого молниезвода
1 – граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 – то же на уровне земли

Двойной стержневой молниезвод (рис. 66). Торцевые части зоны защиты определяют как зоны одиночных стержневых молниезводов. Значение h_0 , R_0 , R_{x1} и R_{x2} рассчитывают по выше приведенным формулам для обоих типов зон защиты.

Внутренние области зон защиты имеют следующие габаритные размеры:

• зона типа А:

- при $L \leq h$; $h_c = h_0$; $R_c = R_0$; $R_{cx} = R_x$;
- при $h < L \leq 2h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h) \cdot (L - h);
 \tag{9.6}$$

$$R_c = R_0;$$

$$R_{cx} = \frac{R_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c} \quad (9.7)$$

– при $2h < L \leq 4h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h) \cdot (L - h); \quad (9.8)$$

$$R_c = R_0 \cdot \left(1 - \frac{0,2 \cdot (L - 2h)}{h}\right)$$

$$R_{cx} = R_c \cdot \frac{h_c - h_x}{h_c}$$

• зона типа Б:

– при $L \leq h$ $h_c = h_0$; $R_{cx} = R_x$; $R_c = R_0$;

– при $h < L \leq 6h$,

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - h); \quad (9.9)$$

$$R_c = R_0;$$

$$R_{cx} = R_0 \cdot \frac{h_c - h_x}{h_c} \quad (9.10)$$

При больших расстояниях молниеотводы следует рассматривать как одиночные.

При известных h_c , L и $R_{cx} = 0$ высоту молниеотвода для зоны типа Б определяют по формуле:

$$h = \frac{h_c + 0,14 \cdot L}{1,06} \quad (9.11)$$

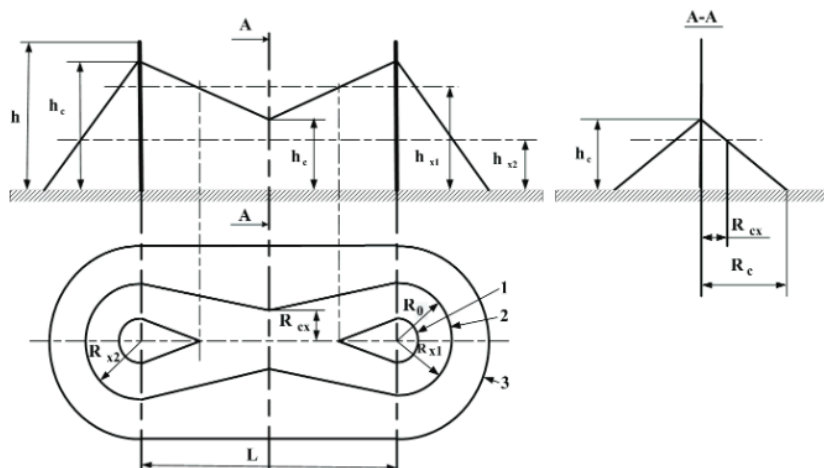


Рисунок 66 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

1 – граница зоны защиты на уровне h_{x1} ; 2 – то же на уровне h_{x2} , 3 – то же на уровне земли

Двойной стержневой молниеотвод разной высоты (рисунок 67).

Торцевые части также представляют собой зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов соответствующей высоты, а h_{01} , h_{02} , R_{01} , R_{02} , R_{x1} , R_{x2} определяют как для одиночного молниеотвода обоих типов зон.

$$R_{CX} = \frac{R_0 \cdot (h_C - h_X)}{h_C};$$

$$R_C = \frac{R_{01} + R_{02}}{2};$$

$$h_C = \frac{h_{C1} + h_{C2}}{2}$$
(9.12)

где h_{C1} и h_{C2} для обоих типов зон защиты вычисляют по формулам для двойного стержневого молниеотвода.

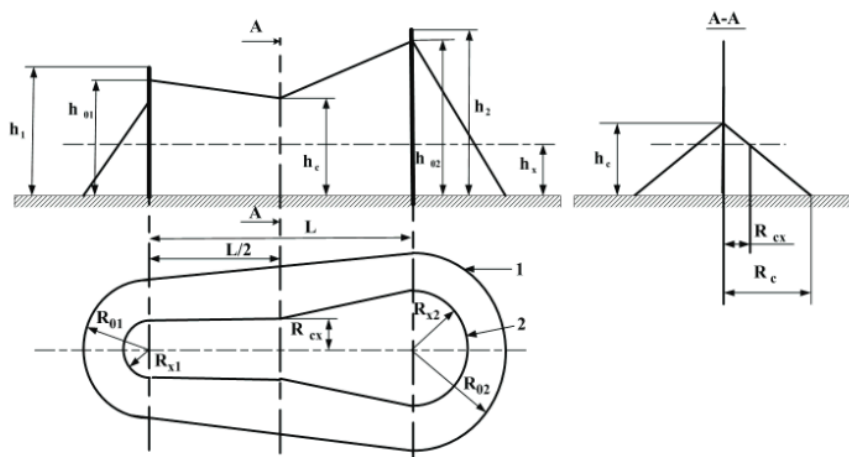


Рисунок 67 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

1 – граница зоны защиты на уровне земли;

2 – граница зоны защиты на уровне h_X

Для разновысокого двойного стержневого молниеотвода зона защиты типа А существует при $L \leq 4h_{\min}$, типа Б – при $L \leq 6h_{\min}$.

Одиночный тросовый молниеотвод. Зона его защиты приведена на рисунке 5, где h – расстояние по высоте до троса в точке наибольшего провеса.

С учетом стрелы провеса при известной высоте опор $h_{оп}$ и длине пролета $a < 120$ м высота до троса $h = h_{оп} - 2$ м, при $a = 120 \dots 150$ $h = h_{оп} - 3$ м.

Зоны защиты одиночных тросовых молниеотводов имеют следующие размеры.

- Для зоны типа А:
 $h_0 = 0,85h$

$$R_0 = \frac{1,35 - 0,0025h}{h};$$

$$R_X = 1,35 - 0,0025h \cdot \frac{h - h_X}{0,85};$$
(9.13)

- Для типа Б:
 $h_0 = 0,92h$; $R_0 = 1,7h$;

$$R_X = 1,7 \cdot \frac{h - h_X}{0,92};$$
(9.14)

- Для зоны типа Б высота одиночного тросового молниеотвода при известных h_X и R_X равна

$$h = \frac{R_X + 1,85h_X}{1,75};$$
(9.15)

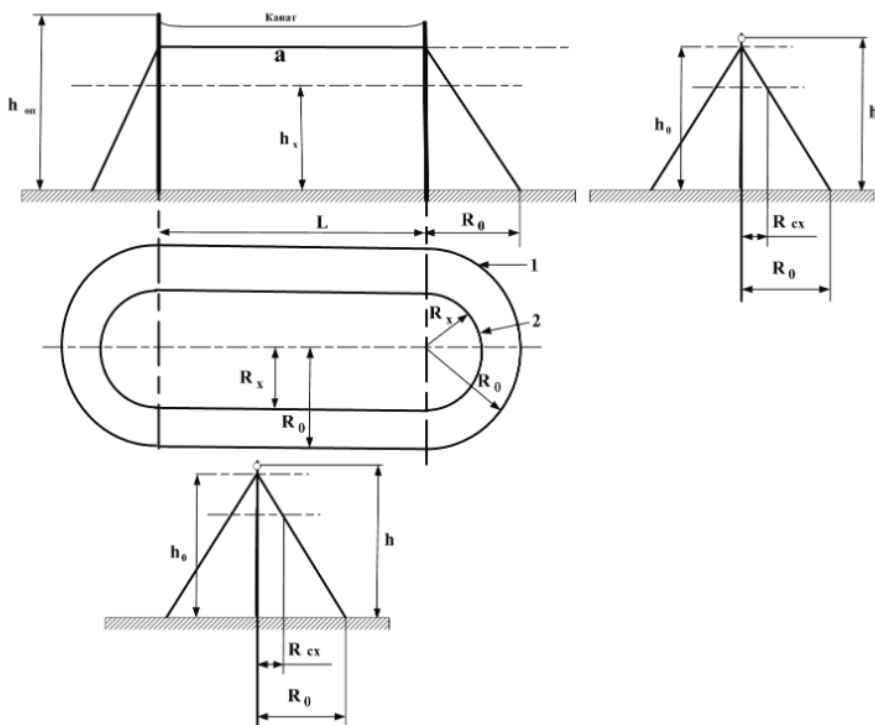


Рисунок 68 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

- 1 – граница зоны защиты на уровне земли;
- 2 – граница зоны защиты на уровне h_X

9.7. Пример расчета молниестроительства для склада ГСМ

Рассчитать высоту отдельно стоящего стержневого молниестроительства для защиты от прямых ударов молнии здания склада горюче-смазочных материалов на железнодорожной станции.

Здание склада ГСМ расположено в Южном регионе и имеет размеры: $L = 27$ м; $S = 18$ м; $h = 6$ м.

Расчеты ведем в следующем порядке.

1. Определяем по классификации ПУЭ класс взрывопожароопасной зоны для склада ГСМ. Горюче-смазочные материалы, это производные нефтепродуктов, поэтому имеют высокую летучесть и являются легковоспламеняющимися жидкостями. Таким образом, можно сделать вывод, что склад является взрывоопасной зоной. Однако ГСМ поступают и хранятся на складе в герметичной таре и поэтому образование взрывоопасных смесей в здании склада возможно в случае неисправной тары. Следовательно, склад ГСМ по классификации ПУЭ относится к классу В-1а.

2. Определяем требуемую категорию устройства защиты склада ЛКМ от воздействия атмосферного электричества. Согласно п.2 здания и сооружения, в которых имеются взрывоопасные зоны класса В-1а, относятся ко II категории защиты и должны быть защищены от всех четырех опасных факторов атмосферного электричества.

3. Определяем требуемый тип защиты для склада ГСМ.

По данным Метеослужбы или по карте среднегодовой продолжительности гроз находим, что интенсивность грозовой деятельности на территории Южного Федерального округа составляет 40...60 ч в год. Согласно данным такой интенсивности соответствует среднегодовое число ударов молнии, приходящееся на 1 км^2 площади, равное $n = 4$. Ожидаемое число поражений склада ГСМ молнией в течение года при отсутствии молниестроительства определяется по формуле:

$$N = (S + 6h) \cdot (L + 6h) \cdot n \cdot 10^{-6}; \quad (9.16)$$

Подставляя исходные значения, получаем:

$$N = (18 + 6 \cdot 6) \cdot (27 + 6 \cdot 6) \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,014;$$

Так как $N < 1$, то принимаем зону защиты типа Б.

4. Выписываем геометрические размеры зоны защиты типа Б:

$$\begin{aligned} h_0 &= 0,92 \cdot h_M \\ r_0 &= 1,5 \cdot h_M \\ r_X &= 1,5 \cdot \frac{h_M - h_X}{0,92} \end{aligned} \quad (9.17)$$

где h_0 – высота конуса зоны защиты; h_M – высота стержневого молниестроительства; r_X – радиус зоны защиты на уровне земли; r_0 – радиус зоны защиты на высоте защищаемого объекта; h_X – высота защищаемого объекта.

5. Определяем радиус r_0 зоны защиты на высоте объекта, используя графический метод. Наносим в выбранном масштабе на лист бумаги план склада ГСМ (вид сверху). Выбираем и наносим на схему точку установки молниезащитного (для объектов II категории расстояние между молниезащитой и защищаемым объектом не нормируется). Считая эту точку центром, описываем окружность такого радиуса, чтобы защищаемый объект (склад ЛКМ) вписался в нее. Снимаем со схемы значение радиуса r_X ; $r = 27,5$ м.

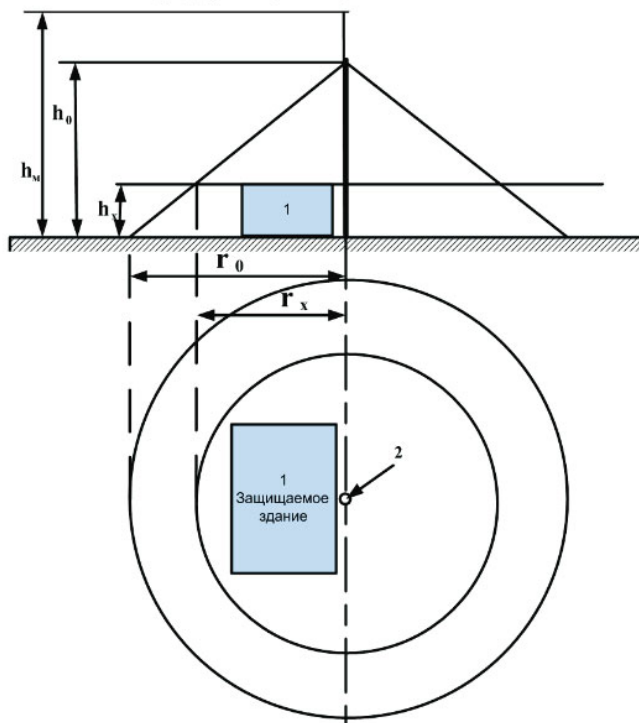


Рисунок 69 – К расчету высоты отдельно стоящего стержневого молниезащитного
1 – защищаемый объект; 2 – место установки молниезащиты

6. Определяем высоту молниезащиты:

$$h_M = \frac{r_X + 1,63 \cdot h_X}{1,5} = 25 \text{ м}$$

7. Определяем другие размеры зоны защиты:

$$h_0 = 0,92 \cdot 25 = 23 \text{ м}$$

$$r_X = 1,5 \cdot \frac{25 - 6}{0,92} = 30,9 \text{ м}$$

8. Строим на схеме зону защиты (вид сбоку) и проверяем графически вписываемость объекта здания склада в зону защиты по высоте.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие основные технические мероприятия должны выполняться для защиты объектов связи от поражения молнией?
2. Стандарты, определяющие зоны молниезащиты с точки зрения прямого и косвенного воздействия молнии.
3. Расскажите о необходимости и принципах экранирования объектов связи.
4. Расскажите о назначении и принципах создания системы уравнивания потенциалов.
5. Расскажите об основных требованиях по размещению и монтажу защитных устройств.
6. Расскажите, как выбираются конструкция и параметры молниезащиты.
7. Как классифицируются здания и сооружения по устройству молниезащиты?
8. Расскажите о конструкциях молниесводов, роде воздействия молний и выборе типа защиты.
9. Расскажите о методике расчетов и проектирования молниесводов.

Глава 10.

ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ

10.1. Минимально допустимые геометрические размеры сечений заземляющих элементов

Объекты железнодорожного транспорта являются местами повышенной опасности для работников их обслуживающих. На электрифицированных участках железных дорог большая группа работников в той или иной мере связана с обслуживанием электроустановок. В большей степени опасности поражения электрическим током подвергаются работники непосредственно связанные с радиоаппаратурой.

В связи с этим система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивает защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Она достигается:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Требования (правила и нормы) электробезопасности конструкции и устройства электроустановок изложены в системе стандартов безопасности труда, а также в стандартах и технических условиях на электротехнические изделия.

Электроустановками называются устройства, которые производят, преобразуют, распределяют и потребляют электрическую энергию. Наружными или открытыми электроустановками называют электроустановки, находящиеся на открытом воздухе, а внутренними или закрытыми – находящиеся в закрытом помещении. Электроустановки могут быть постоянные и временные.

По условиям электробезопасности электроустановки разделяют на электроустановки напряжением до 1000 В включительно и выше 1000 В.

К техническим способам и средствам защиты, обеспечивающим электробезопасность, следует отнести:

- номинальное напряжение, род и частота тока электроустановки;
- способ электроснабжения – от стационарной сети, от автономного источника питания электроэнергией;
- режим нейтрали (средней точки) – источника питания электроэнергией, которая может быть – изолированная или заземленная;
- вид исполнения – стационарные, передвижные, переносные;
- условия внешней среды (помещения: особо опасные, повышенной опасности, без повышенной опасности, на открытом воздухе).

Исправная изоляция является основным условием, обеспечивающим безопасность эксплуатации электроустановок. Основными причинами нарушения изоляции и ухудшения ее качеств являются:

- нагревание рабочими, пусковыми токами, токами короткого замыкания, теплом посторонних источников, и т. п.;
- динамические усилия, смещение, истирание, механические повреждения, возникающие при малом радиусе изгиба кабелей, чрезмерных растягивающих усилиях при вибрациях и т. п.;
- воздействие загрязнения, масел, бензина, влаги, химических веществ.

При внедрении и эксплуатации сетей связи необходимо учитывать воздействие на оператора вредных и опасных производственных факторов, способных привести к травмам или другому внезапному резкому ухудшению здоровья или снижению работоспособности.

Вредные и опасные факторы, с которыми сталкивается оператор на рабочем месте, согласно ГОСТ 12.0.003-15. Опасные и вредные факторы подразделяются на четыре группы:

- химические;
- физические;
- психофизиологические;
- биологические.

Одной из опасностей, как было сказано выше, для работника сети связи является электрический ток, который может наводиться и протекать по металлическим частям радиоаппаратуры, поверхности кабелей связи и так далее. Поэтому при проектировании сетей связи большое внимание уделяется созданию защитного заземления.

Защитное заземление – одна из основных мер защиты, которые обеспечивают электробезопасность электроустановки. В настоящее время заземление и меры защиты регламентируются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и комплексом стандартов ГОСТ Р 50571(МЭК-364). В стандарте отмечается, что «сравнение сопоставимых нормативов ПУЭ и стандартов МЭК позволяет сделать вывод о необходимости ужесточения требования к защитным мерам при проектировании, строительстве, монтаже и эксплуатации электроустановок зданий». В настоящее время ведется работа по изменению ПУЭ, однако до приведения ПУЭ в соответствии со стандартами МЭК, при проектировании и реконструкции объектов электросвязи необходимо дополнительно руководствоваться стандартами ГОСТ Р 50571.

Искусственные заземлители

Искусственные заземлители для выполнения защитного заземления выполняются из погруженных в землю вертикальных электродов соединенных стальными полосами. Часто вместо стальных полос используют прутки стали круглого сечения. Также заземлители могут быть уголковыми, прутковыми или трубчатыми.

Чаще всего заземлители изготавливаются из черной или оцинкованной стали. Иногда заземлители могут выполняться из меди. Искусственные заземлители не должны иметь окраски.

На рис. 70 показан одиночный вертикальный заземлитель.

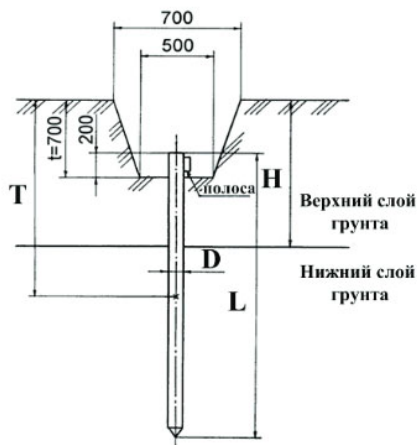


Рисунок 70 – Искусственный заземлитель

Угловые вертикальные заземлители изготавливаются из угловой стали $50 \times 50 \times 5$ мм, стальные трубы применяют с толщиной стенки не менее 3,5 мм. Длина забиваемых уголков или труб 2,5–3 м. При расположении заземлителей многорядными контурами, последние соединяют между собой перемычками полосой 4×40 мм. Расстояние между заземлителями должно быть меньше удвоенной длины заземлителя.

Прутковые вертикальные заземлители рекомендуется брать диаметром до 20 мм. Заземлители из прутка диаметром 12–16 мм и длиной, как правило, 4,5–5 м целесообразно погружать в землю посредством ввертывания. Для ввертывания используют переносные вращательные станки, перфораторы, электрические сверлилки, электродрели с редукторной приставкой и т. д. Для облегчения ввертывания конец прутка заостряют или приваривают к заостренному концу лопасти.

Заземлители из прутка диаметром 20 мм длиной 10 и 15 м изготавливают из секций по $1,5 \times 2,5$ м. Для забивки используют вибраторы, копры, гидропрессы. Секции соединяют сваркой с помощью отрезка уголка. На верхний конец секции надевают съемный боек, предохраняющий при забивании торец секции от расплющивания.

Трубчатые вертикальные заземлители диаметром 150 или 200 мм длиной 10–15 м забивают в землю с помощью электрических пневматических молотов и копров. Длина секции – 3–5 м. Секции между собой свариваются. В верхний конец секции при забивке вставляют стальной вкладыш.

Верхний конец вертикального электрода должен быть на расстоянии 0,6–0,7 м ниже поверхности земли.

При монтаже многоэлектродных заземляющих устройств прутковые и трубчатые заземлители соединяют между собой, как и угловые, стальной полосой 4×40 мм с помощью сварки.

Глубинные, или скважные заземлители устанавливаются в каменистом или скальном грунте, а также в районах вечной мерзлоты. Их установка выполняется после предварительного бурения.

Горизонтальные заземлители – стальные полосы толщиной не менее 4 мм или круглая сталь диаметром не менее 10 мм. Эти полосы применяются для связи между собой заземлителей контура защитного заземления, а также как самостоятельные заземлители.

На рисунке показана тыльная сторона стандартной 19 дюймовой стойки с радиооборудованием, где цветом выделена «Шина заземления».

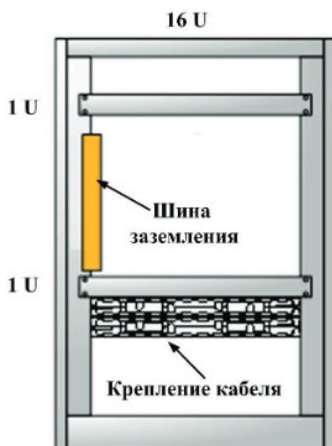


Рисунок 71 – Схема заземления на 19 дюймовой стойке с оборудованием

Если абонентская установка состоит из нескольких устройств, необходимо предусматривать эквипотенциальную шину, к которой должны подключаться корпуса оборудования, защитный проводник, экраны кабелей, защитные устройства. Длина соединительных проводников должна быть минимальной, в целях создания минимального сопротивления. Провода крепятся к шине посредством болтового соединения. Шина должна соединяться с заземляющим контуром здания и различными металлоконструкциями.

Защитные устройства на линиях связи должны быть установлены как можно ближе от места ввода в помещение, при возможности у входа в здание при условии, что внутри отсутствуют источники опасных влияний, например мощные потребители энергии.

Способ и место установки защитных устройств должны выбираться таким образом, чтобы в случае воздействия перенапряжений максимально уменьшить разности потенциалов между корпусом терминала и подключаемыми к нему проводами питания и связи.

На рис. 72 показан пример соединения и заземления аппаратуры проводной и радиосвязи.

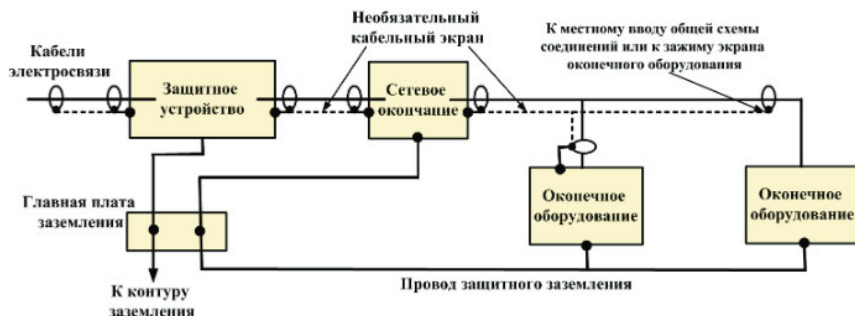


Рисунок 72 – Пример схемы соединения и заземления устройств проводной и радиосвязи

Для современных абонентских устройств обязательно должны применяться устройства защиты по электропитанию класса D. Следует особо подчеркнуть, что в случае, если существует возможность возникновения перенапряжений с высокой энергией.

Например – высокое здание, неэкранированное от удара молнии другими сооружениями, питание от воздушной линии большой протяженности, наличие мощных потребителей, подключенных к ТП и так далее, а ЭПУ здания не защищено, то, как минимум, должна быть применена защита класса C.

На удельное сопротивление грунта оказывается влияние времени года, поскольку атмосферные условия, изменяющиеся в течение года, влияют на содержание влаги в грунте, его температуру и количество растворенных в нем солей.

Чтобы достигнуть необходимого сопротивления заземления в условиях «вечной мерзлоты», нужно смонтировать количество заземляющих электродов в десятки раз превышающее количество электродов, необходимое в обычном грунте. Т. е. не 4–6 электродов, а 40–60.

10.2. Пример расчета защитного заземления

Расчет электрического заземления сводится к расчету сопротивления заземления и производится как расчет обычного горизонтального электрода в виде трубы, имеющей длину 2,4 метра с учетом влияния электролита на окружающий грунт (коэффициент C).

Формула расчета сопротивления заземления одиночного горизонтального электрода с добавлением поправочного коэффициента:

$$R_1 = C \cdot \frac{\rho}{\pi l} \cdot \ln \frac{l}{\sqrt{d \cdot T}} \quad (10.1)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; L – длина заземлителя, м; d – диаметр заземлителя, м; T – заглубление (расстояние от поверхности земли до заземлителя), м; π – математическая константа = 3,141592; \ln – натуральный логарифм; C – коэффициент содержания электролита в окружающем грунте.

$$R_1 = 0,125 \frac{500}{3,14 \cdot 2,4} \cdot \ln \frac{2,4}{\sqrt{0,065 \cdot 0,6}} = 8,25 \cdot 2,5 = 20,72 \text{ Ом}$$

Далее следует рассчитать необходимого количества заземляющих электродов. Данный расчет выполняется по формуле (10.2):

$$N = \frac{R_1}{K_u \cdot R'} \quad (10.2)$$

где R – необходимое сопротивление многоэлектродного заземлителя, Ом; R_1 – сопротивление одиночного заземлителя/электрода, Ом; K_u – коэффициент использования, $K_u=0,99$.

$$N = \frac{20,72}{0,99 \cdot 4} = 5,23 = 6$$

Расчет общего сопротивления заземлителей $R_{гр.расч}$:

$$R_{гр.расч} = \frac{R_1}{N} = \frac{20,72}{6} = 3,45 \text{ Ом}$$

Определение длины полосы L , см, соединяющей трубы для заземлителей, расположенных в ряд:

$$L = 1,5 \cdot a \cdot (N - 1) \quad (10.3)$$

где $a = 2l$, (из условия известно $l = 2,4$ м).

$$L = 1,5 \cdot 4,8 \cdot (6 - 1) = 36 \text{ м}$$

Для определения сопротивление полосы R_n , уложенной на глубину, будем пользоваться формулой (10.4)

$$R_n = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2L^2}{bT} \quad (10.4)$$

где b – ширина полосы, в сантиметрах, принимается равной диаметру заземляющих труб, т. е. $b = d$.

$$R_n = \frac{0,366 \cdot 500}{36} \cdot \lg \frac{2 \cdot 1296}{0,065 \cdot 0,6} = 5,08 \cdot 4,82 = 24,5 \text{ Ом}$$

Для определения сопротивление полосы R_n с учетом экранирования, Ом:

$$R_n = \frac{R_n}{K_u} = \frac{24,5}{0,837} = 29,27 \text{ Ом}$$

где K_u – коэффициент использования полосы, который определяется из справочной литературы.

Чтобы определить сопротивление растеканию сложного заземления, Ом, следует использовать формулу:

$$R_{см} = \frac{1}{\frac{1}{R_{гр.расч}} + \frac{1}{R_n}} \quad (10.5)$$

$$R_{cm} = \frac{1}{\frac{1}{3,45} + \frac{1}{29,27}} = \frac{1}{0,289 + 0,034} = \frac{1}{0,323} = 3,09 \text{ Ом}$$

Сведем полученные результаты в таблицу 10 и проведем их анализ.

Таблица 11 – Результаты выполненных расчетов

Число заземлителей	6
Длина полосы, см	3600
Сопротивление одного заземлителя, Ом	20,72
Сопротивление полосы, Ом	29,27
Коэффициент использования	0,837
Общее сопротивление, Ом	3,45

Вывод: Полученные результаты полностью соответствуют ГОСТ Р 50571-93 и ПУЭ РФ, а это значит, что эксплуатация электроустановок будет безопасной для сотрудников и не приведёт к выходу оборудования из строя.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о конструкциях заземлителей.
2. Принципы установки защитных устройств заземления.
3. Расскажите о принципах расчета защитного заземления.

Глава 11.

СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

11.1. Перспективы развития железнодорожного транспорта России

Прежде чем говорить о перспективах развития связи на железнодорожном транспорте, следует рассмотреть задачи и способы их решения этой большой отраслью народного хозяйства.

После распада Советского Союза и образования Содружества независимых государств (СНГ) объем перевозок на железных дорогах Российской Федерации, естественно, уменьшился и продолжал падать из года в год из-за нарушения экономических связей с бывшими союзными республиками.

В 1998 г. грузооборот составил 44 %, а пассажирооборот 60 % от объема железнодорожных перевозок бывшего СССР. Негативно отразились на состоянии и работе железных дорог экономические и финансовые трудности, связанные со сложностью перехода страны на рыночные отношения.

Сохранение в этих условиях единой управляемой сети железных дорог внутри России и в пределах стран СНГ явилось важным фактором образования нового единого экономического пространства стран Содружества. Деятельность железнодорожных администраций стран СНГ стал координировать созданный в 1991 г. Совет по железнодорожному транспорту, в работе которого участвуют также страны Балтии.

Железнодорожная сеть стран Содружества работает по единому графику движения поездов, единому плану их формирования, единым правилам безопасности. Разработана и введена система взаиморасчетов стран СНГ за использование вагонов, не являющихся их собственностью.

Все это способствовало сохранению и развитию интеграционных связей в интересах всех стран Содружества, которые приняли на себя более 70 % общего объема погрузки железных дорог России на экспорт. В основном это нефть и нефтепродукты, черные металлы, каменный уголь, лесные грузы, минеральные удобрения.

После дефолта 1998 г. экономика страны стала стабилизироваться, и начался экономический рост. Одновременно увеличивались и объемы перевозочной работы, вплоть до 2008 г. Однако, глобальный экономический кризис вызвал спад перевозок в 2009 г. (на 16,9 % и грузооборота на 13,5 %). В сочетании с высокой экологической чистотой при недостаточно развитой сети автодорог железнодорожный транспорт остается самым востребованным и ведущим в единой транспортной системе страны, особенно если учесть ее огромную территорию – 17,8 миллионов квадратных километров.

Его доля в ВВП составляет 4,7 %, в стоимости основных производственных фондов страны – 13 %, в среднегодовой численности работников – 2,7 %.

Всего в отрасли работают 1,6 млн человек, в т. ч. более 1 млн человек, непосредственно занятых на перевозках. Эксплуатационная длина магистральных железных дорог России на 01.01.2010 г. составляет 85 тыс. км. Это примерно 7 % железнодорожной сети мира. При этом, железнодорожный транспорт России выполняет свыше 25 % грузооборота и 15 % пассажирооборота железных дорог стран мира. Во внутреннем грузообороте транспорта общего пользования (без трубопроводного транспорта) удельный вес железных дорог составляет более 80 %.

В настоящее время железные дороги России по своей технической оснащенности и показателям перевозочной работы являются одной из крупнейших транспортных систем мира, а компания «Российские железные дороги» – крупнейшей транспортной компанией в мире.

По эксплуатационной длине железные дороги России занимают 3-е место (после США и Китая); по протяженности электрифицированных железных дорог – 1-е место в мире – более 42,9 тыс. км электрифицировано, в том числе на постоянном токе – 18,8 тыс. км, на переменном – более 24 тыс. км. Электрической тягой выполняется 76 % грузооборота железных дорог. По перевозкам грузов (после Китая и США), грузообороту (после США и Китая), перевозкам пассажиров (после Японии и Индии) железные дороги России занимают 3-е место.

Автоблокировкой и диспетчерской централизацией оборудовано 62,3 тыс. км. Протяженность бесстыкового железнодорожного пути – около 38 тыс. км.

В последние годы создаются новые технические средства, в том числе локомотивы и вагоны для скоростного движения, устройства автоматики, телемеханики и связи, железнодорожного пути и др. Реализуется комплексная программа информатизации железнодорожного транспорта.

В целом на железнодорожном транспорте принята стратегия развития на период до 2030 г.

В октябре 2003 г. было создано открытое акционерное общество «Российские железные дороги» для осуществления выделяемых из МПС хозяйственных функций на основе общего законодательства, регулирующего рыночные отношения.

В соответствии с концепцией реформирования в естественно-монопольном секторе услуг по перемещению грузовых и пассажирских составов, оказываемых инфраструктурой ОАО «РЖД», сохраняется государственный контроль и регулирование, в том числе в тарифной политике со стороны Минтранса и других федеральных ведомств.

В конкурентном секторе, где услуги предоставляются компаниями-операторами непосредственно грузовладельцам и пассажирам (включая транспортно-эксплуатационные и подсобно-вспомогательные), отношения выстраиваются на основе рыночного ценообразования и антимонопольного законодательства.

В результате структурной реформы к развитию железнодорожного транспорта привлечены средства частных инвесторов, значительно обновлен парк

грузовых вагонов, большая часть которого уже находится в собственности или аренде у операторских компаний. Появились дополнительные средства, необходимые для обновления и модернизации технических средств железнодорожного транспорта, развития его пропускной способности.

Огромную роль в управлении работой железнодорожного транспорта играет связь, поскольку она предназначена для передачи оперативных приказов и распоряжений. Объекты управления на железнодорожном транспорте находятся на больших расстояниях друг от друга и в большинстве своем в постоянном движении, поэтому на железнодорожном транспорте используют радиосвязь, проводную, радиорелейную и спутниковую связь.

Железнодорожная связь по своему назначению подразделяется на общетехнологическую и оперативно-технологическую, а по району действия – на магистральную, дорожную, отделенческую, местную и станционную.

11.2. Сети общетехнологической связи

Общетехнологическая телефонная связь (ОБТС) предназначена для предоставления услуг по передаче речевой информации между работниками различных подразделений железнодорожного транспорта в пределах всей сети железнодорожных дорог Российской Федерации. Также пользователям (абонентам) сетей ОБТС дается возможность получения услуг факсимильной связи и передачи данных. На цифровой сети ОБТС абоненты могут пользоваться, видеосвязью, а также дополнительными услугами и видами связи.

В основе построения сетей ОБТС заложены системы распределения информации, функции которых выполняют коммутационные станции. Среди коммутационных станций наибольшее применение нашли автоматические телефонные станции (АТС), работающие в режиме коммутации каналов. В последнее время находят применение системы с коммутацией пакетов: маршрутизаторы и коммутаторы, используемые на сетях передачи данных. Особенности организации технологических процессов на железных дорогах привели к тому, что лишь очень небольшая доля информации распределяется вручную. Для этого используются либо ручные междугородные коммутаторы, либо специализированные пульта операторов связи, включенные в цифровые АТС.

Сеть ОБТС представляет собой совокупность коммутационных станций, соединительных линий, устройств абонентского доступа и абонентских устройств. Абонентские устройства устанавливаются непосредственно в помещениях у абонентов, а в случае мобильной связи – находится у абонентов или размещаются на подвижных объектах. Абонентские устройства представляют собой телефонные аппараты, реже – факсимильные аппараты, а также компьютеры. На правах абонентских устройств, включают также малые учрежденческую АТС (офисная АТС). Коммутационные станции, как правило, устанавливаются в специально отведенных для них помещениях. Соединительные линии служат для связи между коммутационными станциями. Абонентский доступ представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих подключение

абонентского устройства к коммутационной станции. Одним из важных устройств абонентского доступа является абонентская линия, непосредственно соединяющая абонентское устройство с коммутационной станцией.

Сети ОБТС организуются на магистральном, дорожном и местном уровнях.

На местном уровне телефонная связь обеспечивается в пределах одной железнодорожной станции или железнодорожного узла.

Дорожный уровень охватывает технические средства, предназначенные для предоставления услуг в пределах одной железнодорожной станции.

На магистральном уровне услуги предоставляются между абонентами разных железных дорог, а также между абонентами железных дорог и МПС России.

На местном уровне образуется сеть местной связи. Сети ОБТС дорожного и магистрального уровней представляют собой сети междугородной связи.

До конца 90-х годов XX-го столетия сеть ОБТС была полностью аналоговой. На сети использовались электромеханические (декадно-шаговые, координатные, релейные), квазиэлектронные АТС, а также небольшое количество аналоговых электронных АТС. С конца 90-х годов начался переход к цифровой сети ОБТС, которая характеризуется применением цифровых коммутационных станций, связанных между собой цифровыми соединительными линиями, и позволяющая организовать цифровой абонентский доступ на основе стандарта ISDN. Цифровые соединительные линии образуются при помощи цифровых систем передачи, работающих по волоконно-оптическим или металлическим кабелям.

11.3. Принципы организации оперативно-технологической связи на ЖДТ

Оперативно-технологическая связь (ОТС) предназначена для организации моментального соединения с абонентами системы для контроля за технологическим процессом и регулирования деятельности объектов.

Основным преимуществом данного вида связи является возможность моментального, прямого соединения с нужным абонентом нажатием одной кнопки без ожидания ответа телефонной станции.

С помощью оперативно-технологической связи (ОТС) производится управление движением поездов, обеспечивается руководство работами по текущему содержанию пути, энергоснабжения, эффективного использования подвижного состава, устройств СЦБ и связи, технических сооружений. ОТС является одним из средств обеспечения безопасности движения. Она предназначена для непосредственной организации технологического процесса и регулирования движения поездов, вагонопотоков, для обеспечения работы технических устройств на станциях и перегонах, а также для эксплуатации и ремонта технических сооружений железнодорожного транспорта.

Различают магистральную сеть связи, дорожную сеть связи и сети станционной распорядительной телефонной связи – отделенческой и станционной.

Отличительными особенностями магистральных, дорожных и отделенческих ОТС являются линейное расположение абонентских пунктов вдоль желез-

ных дорог при среднем расстоянии между ними 5–10 км; значительная протяженность обслуживаемых участков; оперативно-служебный характер каждого вида связи, особое назначение и самостоятельная область применения; односторонний способ ведения переговоров; неравномерность распределения нагрузки между пунктами, так как наибольшее количество переговоров абоненты линейных пунктов ведут с руководителями, находящимися в Центрах управления на дорожных, отделенческих и участковых станциях, а число переговоров внутри участка между абонентами линейных пунктов сравнительно невелико. Эти особенности определили необходимость организации каждого вида ОТС по выделенному каналу. При организации связи наиболее дорогостоящими являются линейные сооружения. Так как ОТС применяется на всей сети железных дорог, то выбор наиболее рациональной и экономичной структуры сетей ОТС имеет существенное значение.

Магистральная сеть связи организуется в пределах всей или части сети связи ОАО РЖД, в нее входят следующие виды связи:

- магистральная связь совещаний (МСС) – для проведения оперативных совещаний руководящих работников ОАО РЖД и управления железных дорог;
- магистральная распорядительная связь (МРС) – для регулирования вагонопотоков и грузов, а также распределения локомотивного и вагонного парков по направлениям железных дорог. Она организуется для оперативного руководства работой дорог с руководящими работниками управлений дорог и с дорожными междугородными телефонными станциями, для установления соединений с узловыми и другими крупными станциями зарождения вагонопотоков по каналам дорожной телефонной связи, с распорядительными отделами службы движения дорог;
- магистральная информационная связь (МИС) по продаже билетов на пассажирские поезда;
- магистральная связь транспортной военизированной охраны ОАО РЖД (МСТВ) – для оперативного управления подразделениями военизированной охраны ОАО РЖД;
- магистральная связь транспортной полиции (МСТП) – для оперативного управления подразделениями транспортной полиции.

В пределах каждой дороги организуются следующие виды дорожной технологической связи:

- дорожная распорядительная связь (ДРС) – для регулирования вагонопотоков и распределения подвижного состава между отделениями железных дорог. Она организуется между дежурными по распорядительному отделу службы движения дороги ДПП и дежурными по отделениям, их с узловыми сортировочными, участковыми и грузовыми станциями, со станциями на границах дорог и локомотивных депо. Каналы ДРС на вышеупомянутых станциях включаются в междугородные телефонные станции;
- дорожная связь совещаний (ДСС) – для проведения совещаний руководства управления дороги с работниками отделений железных дорог и при

необходимости сортировочных, участковых и отдельных крупных грузовых и пассажирских станций;

- дорожная информационная связь (ДИС) по продаже билетов на пассажирские поезда. Для дорожных бюро, крупных железнодорожных узлов, и примыкающих к ним пригородных зон, может быть организована телефонная связь бюро заказов и справок;
- дорожная связь транспортной военизированной охраны (ДСТВ);
- дорожная связь транспортной полиции (ДСТП), организуется для управления работами Управления транспортной милиции железных дорог и для связи последних с линейными отделами на отделенческих и крупных станциях;
- дорожная энергодиспетчерская связь (ДЭДС) – для связи дорожного диспетчера службы электрификации и электроснабжения с диспетчерами дистанций электроснабжения;
- дорожная линейно-путевая связь (ДЛПС) – для связи дорожного диспетчера службы пути с диспетчерами дистанции пути;
- дорожная служебная диспетчерская связь (ДСДС) – для оперативного руководства дорожным диспетчером службой сигнализации и связи в пределах дороги. В каналы ДСДС включают телефонные аппараты диспетчеров дистанции сигнализации, связи и вычислительной техники.

Отделения железных дорог являются самыми насыщенными различными видами связи, так как именно на участках дорог в пределах отделений осуществляются непосредственное регулирование движения поездов и эксплуатация технических устройств железнодорожного транспорта. В отделении дороги с его территории стекается вся оперативная информация, и здесь находятся диспетчеры, которые руководят движением поездов, энергосистемами, погрузкой, выгрузкой и распределением вагонов и другими технологическими операциями на участках и станциях.

В отделении дороги организуются следующие виды связи:

- поездная диспетчерская связь (ПДС) – для руководства движением поездов, служит для переговоров поездного диспетчера с отдельными пунктами, входящими в обслуживаемый им участок по вопросам приема и отправления поездов;
- энергодиспетчерская связь (ЭДС) – для оперативного руководства работой хозяйства электрификации и электроснабжения на электрифицированных участках железных дорог;
- вагонная диспетчерская связь (ВДС) – для оперативного регулирования вагонного парка, контроля над его продвижением и состоянием погрузочно-разгрузочных работ;
- билетная диспетчерская связь (БДС) по продаже билетов на пассажирские поезда, организуется на участке от бюро отделений до линейных пунктов (билетных касс). БДС является частью общего комплекса связи для централизованной продажи билетов на пассажирские поезда. Билетно-диспетчерская связь, используется для переговоров диспетчеров бю-

ро по продаже билетов, с кассирами линейных и городских билетных касс по распределению мест на пассажирские поезда;

- служебная диспетчерская связь (СДС) – для оперативного руководства работой технического персонала дистанции сигнализации и связи по обеспечению надежного действия устройств автоматики, телемеханики и связи на станциях и перегонах, организуется в пределах каждой дистанции;
- линейно-путевая связь (ЛПС) – для оперативного руководства работой технического персонала дистанции пути, занятого обслуживанием и содержанием путевых устройств и искусственных сооружений;
- отделенческая связь транспортной полиции (СТП);
- отделенческая связь транспортной военизированной охраны (ВОХР) – для оперативного управления отрядом транспортной военизированной охраны.

Также в пределах отделений организуются:

- постанционная связь (ПС) – для служебных переговоров работников промежуточных станций (разъездов и остановочных пунктов) между собой и с работниками участковых и отделенческих станций. Линия ПС включается в междугородные телефонные коммутаторы на станциях участка, что обеспечивает выход абонентов в сеть дальней дорожной телефонной связи. В нее могут включаться и АТС промежуточных станций для связи абонентов АТС с абонентами других промежуточных станций; поездная межстанционная связь (МЖС), предназначена для переговоров дежурных смежных раздельных пунктов по вопросам движения поездов.
- межстанционная связь (МЖС) организуется между смежными станциями, разъездами, обгонными пунктами, путевыми постами;
- перегонная связь (ПГС) – для переговоров работников различных служб (автоматики, телемеханики и связи, пути, энергетики), находящихся на перегоне, с дежурными по станциям, ограничивающим перегон, поездным и энергодиспетчером, диспетчерами дистанции пути, сигнализации и связи. При отсутствии поездной радиосвязи на участке или при неисправности локомотивной радиостанции ПГС служит для связи остановившегося в пути поезда с дежурным ближайшей станции. Перегонная связь также используется для организации связи с местом восстановительных работ на перегоне;
- обходная перегонная связь (ОПГС), организуется на участках с диспетчерской централизацией и предназначена для дистанционного подключения абонентов цепи ПГС к каналу диспетчерских связей на ближайшей к данному перегону;
- связь охраняемого переезда (ОПС) это связь дежурного по охраняемому переезду с дежурными по ближайшей станции и поездным диспетчером для переговоров по обеспечению безопасности движения на железной дороге и переезде, а также для контроля внешнего состояния поездов.

Сеть станционной технологической телефонной связи состоит из трех сетей – стрелочной, станционной распорядительной телефонной и административно – хозяйственной (директорской) связи.

Станционная распорядительная связь представляет собой комплекс различных видов связи для руководителей, организующих работу на станции. Она строится по лучевому принципу с установкой у руководителей технологических процессов коммутаторов оперативной телефонной связи.

Основные виды станционной распорядительной связи следующие:

- связь дежурного по станции (ДСП), станционного или узлового диспетчера (ДСЦС, ДСЦУ),
- маневровых диспетчеров (ДСЦГ),
- дежурных по паркам (ДСПП) и горкам (ДСПГ),
- оператора маневрового района (ОМР),
- сменного вагонного мастера (СМВ),
- оператора пункта технического осмотра вагонов (ПТО),
- дежурного по вагонному депо,
- дежурного по локомотивному депо (ДВД),
- станционная связь транспортной полиции (СТП) и военизированной охраны (ВОХР).

Административно-хозяйственная связь – прямая телефонная связь руководящих работников предприятий с работниками подчиненного ему аппарата (руководство дороги, станции, завода и т. д.).

Кроме перечисленных связей, на предприятиях железнодорожного транспорта может организовываться диспетчерская связь в пределах, как всего предприятия, так и его отдельных подразделений (корпусов, цехов, участков) для связи диспетчера с работниками предприятий и подразделений. Характерной особенностью технологической связи является разнообразие способов установления соединения распорядительной станции с абонентами:

- прямое – непосредственное соединение абонентов прямыми каналами. Этот способ характерен для МЖС, ППС, а также для связи охраняемого переезда;
- избирательное – соединение устанавливается в пределах определенного вида связи посылкой избирательного вызова. Этот способ присущ большинству видов оперативно – технологической связи, в которых служебный характер переговоров связан с управлением определенным технологическим процессом. К таким видам связи относятся ПДС, ЭДС, ВДС, БДС, ЛПС, СТМ, ВОХР, ПС и др.;
- коммутируемое – соединение с абонентами устанавливается руководителем подразделения посылкой вызывного сигнала. Этот способ характерен для станционной связи.

Также широко используется связь совещаний, которая создается временно на период проведения совещания.

В настоящее время на сети железных дорог России наряду со стационарными видами связи в больших объемах используется радиосвязь с подвижными объектами.

Если охарактеризовать современное состояние аппаратуры средств связи, используемых в ОАО «РЖД», то можно увидеть, что основой как существующей, так и будущей телекоммуникационной сети железных дорог (ЖД) России являются оптоволоконные каналы. Однако не все пространство железных дорог охвачено оптоволоконными линиями связи. Между неохваченными оптоволоконными сегментами действует обычная телефонная связь, в отдельных случаях они обслуживаются с помощью местных систем радиосвязи. Кроме того, в системах железнодорожной автоматики активно используются так называемые рельсовые цепи, которые являются основой инфраструктуры обеспечения безопасности движения и позволяют определить не только исправность рельсового пути, но и местоположение подвижного состава. «Вступил» на рельсовую цепь поезд – на блокушке загорается соответствующий ограждающий сигнал. По мере его продвижения от одного блокушка до другого, при существующей сегодня диспетчерской централизации, определяется местоположение состава. Но стоит появиться хоть одному разрыву в этой цепи – происходит сбой в четко налаженном движении поездов.

Информация от телеметрических датчиков систем обнаружения неисправностей подвижного состава там, где они установлены, передается по собственной проводной сети.

Цифровая радиосвязь сможет обеспечить надежное управление перевозками, двухстороннюю связь между поездными бригадами, а также контроль не только движения, но и «состояния здоровья» локомотива и самой локомотивной бригады абсолютно в любом месте.

В связи с этим решением Государственного комитета по радиочастотам (ГКРЧ) МПС выделены следующие диапазоны частот: 151,7–156,00 МГц и 457,4–468,45. последний, используется для транкинговых систем. Из наиболее развитых сетей можно назвать несколько систем на базе Smartrunk (Московская, Горьковская, Восточно-Сибирская и Северо-Кавказская дороги), а также радиосети, построенные на основе протокола MPT 1327 на Забайкальской, Московской и Приволжской ЖД. Тот факт, что транкинговых систем намного меньше, чем обычных конвенциональных объясняется тем, что аналоговый транкинг во многом не соответствует нашим требованиям: такие системы неустойчиво работают в условиях, где должны эксплуатироваться – в непосредственной близости от железной дороги, и не способны обеспечить качественную связь.

На современном этапе развития радиосвязи, на железнодорожном транспорте рассматриваются две наиболее перспективные системы – GSM-R и TETRA, которые будут подробно рассмотрены в данном учебном пособии.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте назначение сетей общетехнологической связи (ОбТС).
2. Расскажите о перспективах развития железнодорожного транспорта России.
3. Охарактеризуйте принципы организации оперативно-технологической связи на ЖДТ.
4. Перечислите и охарактеризуйте основные виды станционной распорядительной связи ЖДТ.

Глава 12.

АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

12.1. Стационарные антенны и их основные характеристики

Исходя из того, что связь на железнодорожном транспорте имеет свои особенности, их следует рассмотреть более подробно, тем более что книга больше ориентирована на организацию связи с подвижными объектами железнодорожного транспорта.

Стационарные антенны. На железнодорожном транспорте наибольшее распространение получили два вида стационарных антенн диапазона ГМВ, Г-образная антенна и возбуждающий провод (индуктивная антенна), передающий энергию в направляющую линию индуктивным способом.

Во втором случае связь с локомотивами осуществляется не электромагнитными полями излучения, а электромагнитными полями индукции, распространяющимися по направляющим линиям с меньшим затуханием, чем при излучении. В качестве направляющей линии может использоваться как отдельно подвешиваемый волновод (одно- или двухпроводный), так и уже существующие линии передачи (включая линии электропередачи, в том числе высоковольтные).

Для передачи энергии в направляющую линию на сравнительно небольшом расстоянии от нее подвешивается отрезок одно- или двухпроводной возбуждающей линии, соединяемой с выходом радиостанции через антенно-согласующее устройство (АнСУ). На рис. 56 приведены схемы индуктивного возбуждения соответственно однопроводной и двухпроводной направляющей линии. Преимуществом индуктивного способа передачи энергии является то, что между проводами направляющей линии 2 и возбуждающей 1 отсутствует гальваническая связь, благодаря чему в качестве направляющих линий могут использоваться и высоковольтные. Длина возбуждающего провода 1 выбирается равной 40–42 м. Расстояние между возбуждающим проводом и направляющей линией в зависимости от вида направляющей линии должно лежать в пределах от 0,25 до 0,8 м.

Сравнение эффективности применения Г-образной и индуктивной антенн в линейных сетях поездной радиосвязи (рис. 73) показывает, что при равных характеристиках передатчиков уровень сигнала на входе возимой радиостанции при применении индуктивной антенны и направляющей линии (кривая 1) на 2–6 дБ больше, чем при применении Г-образной антенны (кривая 2).

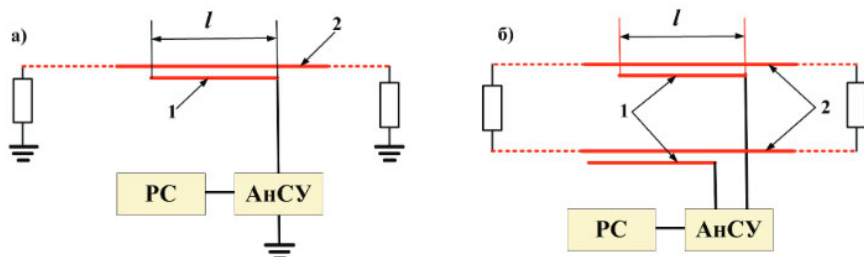


Рисунок 73 – Схемы индуктивного возбуждения однопроводной (а) и двухпроводной (б) направляющей линии

На рис. 74 показаны графики зависимости уровня сигнала на входе приемника при использовании различных типов антенн.

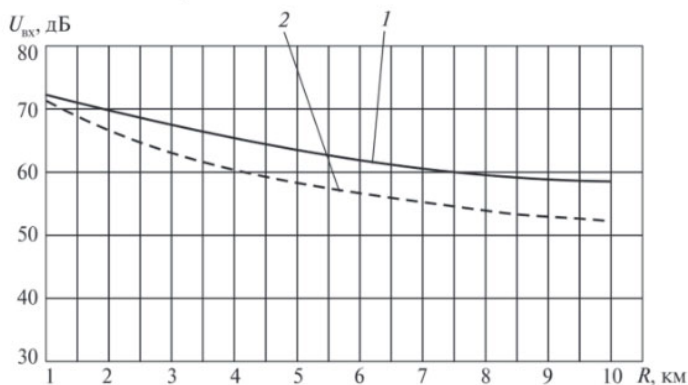


Рисунок 74 – Графики зависимости уровня сигнала на входе приемника
1 – при использовании индуктивной антенны и направляющей линии;
2 – при использовании стационарной Г-образной антенны

В то же время, в зонных сетях поездной радиосвязи незаменимой оказывается именно Г-образная антенна, имеющая диаграмму направленности, близкую к круговой. Сигнал от направляющей линии имеет достаточный для качественного приема уровень лишь на расстоянии до 25–30 метров от этой линии. На крупной железнодорожной станции расстояние между направляющей линией и антенной возимой радиостанции может оказаться 100 и более метров.

Г-образная антенна представляет собой несимметричный вибратор, сделанный из провода сечением не менее 10 мм². Провод согнут под углом 90° и имеет две части – горизонтальную, называемую крышей антенны, и вертикальную, называемую снижением. Снижение подключают к антенно-согласующему устройству, а свободный конец крыши – изолируют. Основное излучение Г-образной антенны создает снижение. Излучение крыши из-за влияния Земли, являющейся для диапазона ГМВ хорошим проводником, можно

не учитывать. Это связано с тем, что токи горизонтальной части антенны и ее зеркального отображения имеют одинаковые амплитуды, но направлены в разные стороны. Создаваемые этими токами в точке приема поля взаимно компенсируются. Основной функцией горизонтального провода Г-образной антенны является увеличение действующей высоты антенны при неизменной физической высоте (рис. 75). Благодаря наличию крыши (рис. 75, б) амплитуда тока, увеличивающаяся от конца вибратора к генератору, в снижении имеет существенно более высокие значения, чем у вибратора, не имеющего крыши (рис. 75, а).

Геометрические размеры Г-образной антенны определяются из соотношения:

$$l_{\Gamma} = 0,25\lambda - 0,5H \quad (12.1)$$

где l_{Γ} – длина крыши антенны; H – высота снижения антенны; λ – длина волны.

При расчете по данной формуле длина провода антенны оказывается на половину высоты снижения больше четверти длины волны. Это делается для того, чтобы максимум (пучность) тока приходился на середину снижения, и тем самым обеспечивались максимально возможные значения амплитуды тока вдоль всего снижения.

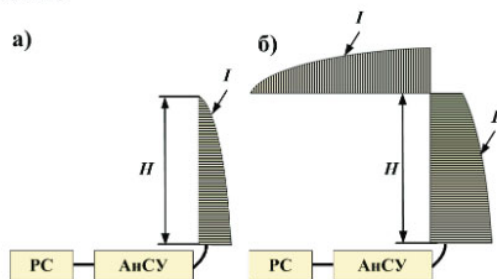


Рисунок 75 – Распределение тока в антеннах, имеющих одинаковую высоту:
а – вертикальный вибратор без крыши; б – Г-образная антенна с крышей

Несимметричный вибратор, которым является Г-образная антенна, в совокупности со своим зеркальным изображением образует симметричный вибратор. Поэтому диаграмма направленности несимметричного вибратора над идеально проводящей землей представляет собой верхнюю половину диаграммы направленности симметричного вибратора (рис. 76, слева). Однако на практике в реальных условиях влияние Земли несколько искажает диаграмму направленности Г-образной антенны (рис. 76, справа). Из рис. 76, слева, видно, что в случае идеально проводящей Земли Г-образная антенна в горизонтальной плоскости направленностью не обладает, причем волны с горизонтальной поляризацией вообще не излучаются. В вертикальной плоскости максимум диаграммы направленности для волн с вертикальной поляризацией соответствует направлению вдоль поверхности Земли, для волн с горизонтальной поляризацией – направлению, перпендикулярному горизонтальной части антенны.

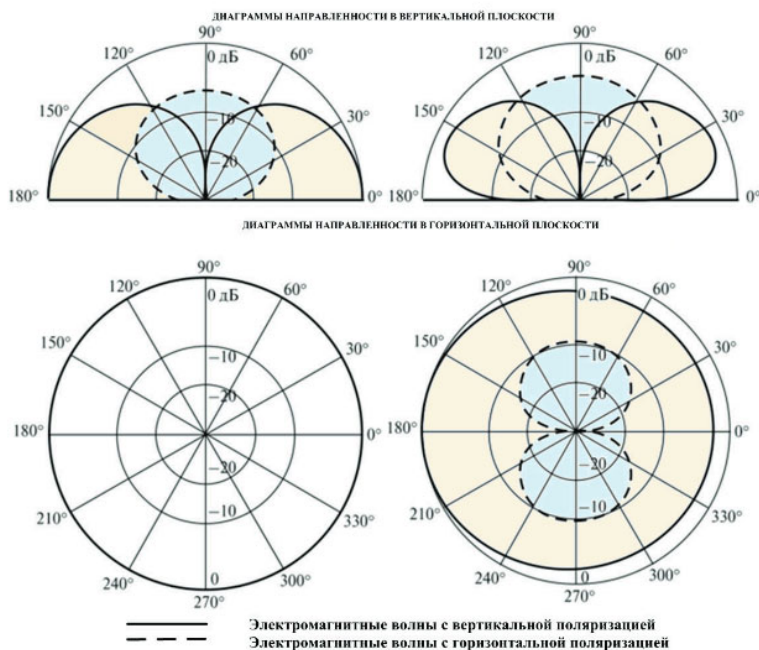


Рисунок 76 – Диаграммы направленности Г-образной антенны: слева – в идеальных условиях; справа – в реальных условиях

При переходе от идеально проводящей Земли к реальной излучение Г-образной антенны приобретает некоторую направленность. Уровень излучения волн с вертикальной поляризацией в направлении от снижения к изолированному концу крыши оказывается примерно на 2 дБ больше, чем в противоположном. В вертикальной плоскости угол максимального излучения вертикально поляризованных волн становится отличным от 90° , т. е. максимум излучения отклоняется от поверхности Земли. Причем, чем хуже проводимость Земли, тем дальше от ее поверхности направление максимального излучения.

Помимо Г-образных антенн некоторое время использовали Т-образные антенны, отличавшиеся от Г-образных тем, что снижение соединялось с крышей не на ее конце, а в середине. Однако для обеспечения одинаковых значений действующей высоты антенн длина крыши Т-образной антенны должна быть в 1,6–1,9 раза больше, чем длина крыши Г-образной антенны. По этой причине сегодня Т-образные антенны не используют.

12.2. Возимые антенны и их основные характеристики

Возимые антенны – предназначены для установки на подвижных объектах для обеспечения передачи радиоволн, как на месте, так и в движении. Из-за

ограничений по высоте и длине антенны, располагаемой на крыше подвижного состава, ее размеры оказываются существенно меньше четверти длины волны (35 м). В результате антенна имеет очень низкий КПД (единицы процентов). До последнего времени в качестве возимой антенны ГМВ-диапазона практически использовалась только П-образная заземленная антенна (рис. 77), которая представляет собой отрезок провода длиной 7,5–12 м, подвешенный над крышей локомотива на высоте 0,6–1 метра.

Одно из снижений антенны, вертикальный конец провода, через проходной изолятор подключают к антенно-согласующему устройству АнСУ, а второе соединяют с металлической крышей локомотива (заземляют). Благодаря заземлению второго снижения обеспечивается электробезопасность обслуживающего персонала и машинистов как от наведенных на антенне напряжений, так и от высоких напряжений при случайном соприкосновении антенны с контактным проводом.



Рисунок 77 – П-образная заземленная локомотивная антенна

В настоящее время все большее применение находит антенна АМК-2В, представляющая собой несимметричный вибратор, намотанный в виде спирали на диэлектрическую трубу (рис. 78). Поскольку в качестве излучателя используется несимметричный вибратор в виде спирали, то антенна АМК-2В имеет круговую поляризацию, т. е. ее излучение имеет и вертикально и горизонтально поляризованные составляющие. Коэффициент стоячей волны антенны – не более 2,5. Волновое сопротивление – 50 Ом. Максимальная подводимая к антенне мощность 20 Вт. Длина антенны 2050 мм, высота над металлической поверхностью 0,55–0,9 м.

Излучатель 5 (рис. 78) с помощью высокочастотного кабеля 2 с одного конца подключен к радиостанции через согласующее устройство 4, второй конец излучателя не нагружен.

Настройка антенны производится изменением высоты излучателя над металлической поверхностью (крышей). При выборе оптимальной высоты излучатель фиксируется в диэлектрических держателях металлических стоек стопорными болтами.

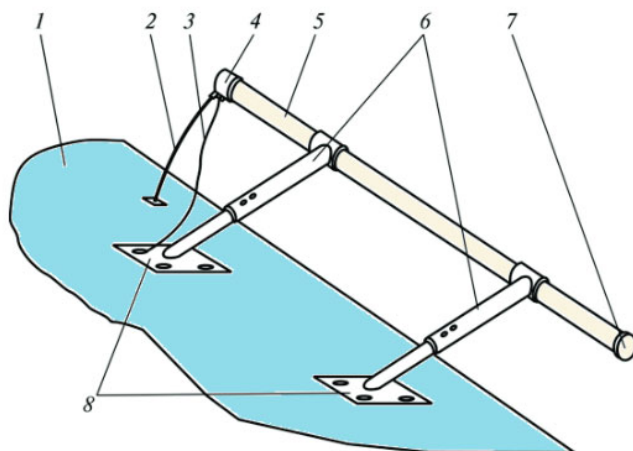


Рисунок 78 – Локомотивная антенна АМК-2В:

- 1 – крыша локомотива; 2 – кабель; 3 – провод заземления;
4 – согласующее устройство; 5 – излучатель, помещенный в диэлектрический корпус;
6 – стойки алюминиевые; 7 – заглушка; 8 – опоры

Диаграмма направленности антенны АМК-2В представлена в виде таблицы 12. Максимальное излучение соответствует направлению от согласующего устройства к свободному концу излучателя.

Таблица 12 – Диаграмма направленности антенны АМК-2В

Угол, градус	0	30	60	90	120	150	180
Уровень, дБ	0	-2,0	-2,5	-3,2	-3,5	-3,8	-3,0

12.3. Антенны, применяемые для работы в диапазоне МВ

Стационарные антенны. Благодаря небольшим размерам антенн и высокой популярности диапазона 146–174 МГц, на рынке представлено большое количество разнообразных моделей антенн, в том числе и для диапазона железнодорожной радиосвязи 151–156 МГц. Все антенны делятся на две группы – ненаправленные и направленные. Рассмотрим основные типы и характеристики антенн, используемых сегодня в сетях железнодорожной радиосвязи. КСВ у всех рассматриваемых антенн в рабочем диапазоне частот не превышает 1,5.

Ненаправленные стационарные антенны МВ имеют в горизонтальной плоскости круговую диаграмму направленности. Их используют в зонных сетях, располагая антенну вблизи от центра требуемой зоны покрытия. Конструктивно антенны представляют собой вертикальный вибратор. Выбором длины вибратора, размеров и вида трехштыревого противовеса добиваются требуемой характеристики направленности. Применение противовеса позволяет получить

преимущественное излучение в верхней полусфере. На рисунке показана антенна GP 5/8 VHF.



Рисунок 79 – Внешний вид антенны GP 5/8 VHF

Таблица 13 – Основные электрические параметры антенны GP 5/8 VHF

Электрические характеристики	
Модель	GP 5/8 VHF
Рабочий диапазон частот, МГц	140–174
Рабочая полоса, МГц	5
КСВ, не хуже	1,5
Усиление, dBi	3,35
Входное сопротивление, Ом	50
Допустимая мощность, Вт	100
Грозозащита	нет
Настройка	требуется
Механические характеристики	
Масса, кг	0,95
Высота в сборе, м	1,02 до 1,45
Диаметр мачты, мм	25-55
Материал антенны	АД 31
Допустимая скорость ветра, м/с	40
Диапазон рабочих температур, °C	-50 до +50
Разъем	SO-239

Антенна GP 5/8 VHF имеет за рубежом достаточно много аналогов: GP3E Sirio, Alan и т. п. Это говорит о ее популярности, особенно среди радиолюбителей, так как она легка в настройке и универсальна для любых систем связи, не предъявляющих особых требований к условиям эксплуатации. В настоящее время эти антенны выпускаются в новом усиленном исполнении.

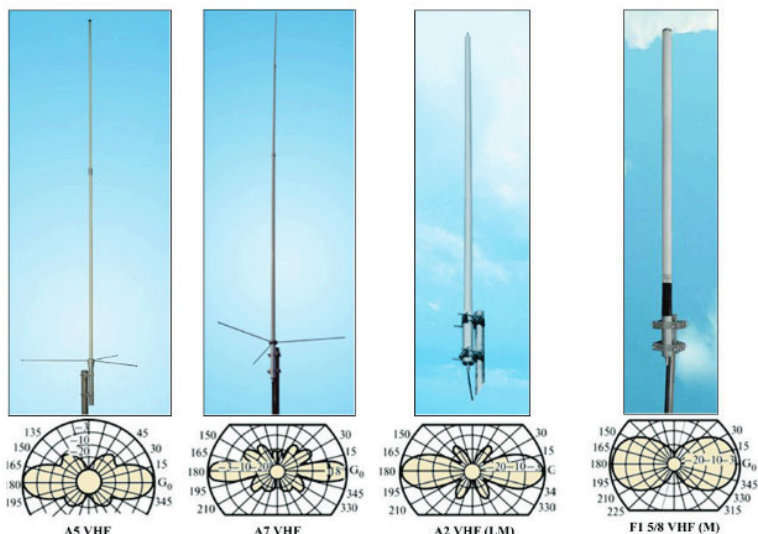


Рисунок 80 – Часто используемые на ЖДТ виды ненаправленных вибраторных антенн

В табл. 14 приведены основные характеристики антенн диапазона МВ.

Таблица 14 – Основные электрические параметры антенны МВ диапазона

Модель	A5 VHF	A7 VHF	F2 VHF (LM)	F1 5/8 VHF(M)
Диапазон частот, МГц	144-174	144-174	146-158	146-163
Усиление, dBi	4,5	7,8	5,15	2
Допустимая мощность, Вт	200	50	400	200
Масса, кг	1,37	0,9	3,15	<3
Высота в сборе, м	2,5	5,8	3,16	2,2
Разъем	N	N	N	N

Примечание: dBi – значение коэффициента усиления антенны относительно усиления одиночного изотропного излучателя.

Середина неразрезанной части вибратора является точкой нулевого потенциала, что позволяет в этой точке крепить вибратор к металлической мачте без изоляции. Его основные достоинства – широкая полоса и относительно низкая чувствительность к помехам промышленного происхождения. Применение петлевого вибратора позволяет увеличить коэффициент усиления антенны, но при этом антенна приобретает некоторую направленность, форма ее диаграммы близка к кардиоиде. Несколько искажается диаграмма направленности при креплении дипольных антенн к металлической мачте. Изменяя расстояние от излучающего элемента до мачты, можно в небольших пределах корректировать его диаграмму направленности.

Из таблицы видно, что в большинстве случаев для антенн большей длины большее значение имеет и коэффициент их усиления.

Дипольные стационарные антенны МВ. Антенна D1 VHF представляет собой петлевой вибратор Пистолькорса. Основные его достоинства – широкая полоса и относительно низкая чувствительность к помехам промышленного происхождения. Сборно-разборная конструкция позволяет легко осуществлять монтаж и демонтаж антенны, а сварной диполь исключает возникновение интермодуляции. Изменяя расстояние от излучающего элемента до мачты, можно в небольших пределах корректировать его диаграмму направленности. Антенна имеет надёжное полимерное покрытие, защищающее от агрессивных сред и обледенения. Цельнометаллическая конструкция обеспечивает надёжную грозозащиту. Антенны D2, D4, D8 VHF построены по принципу параллельного сложения мощностей коллинеарно расположенных 2-х, 4-х и 8-ми активных петлевых вибраторов, что обеспечивает сохранение широкой рабочей полосы во всем диапазоне. Эти антенны комплектуется сумматорами ТК-52V, ТК-54V и ТК-52VL и крепежом для установки.

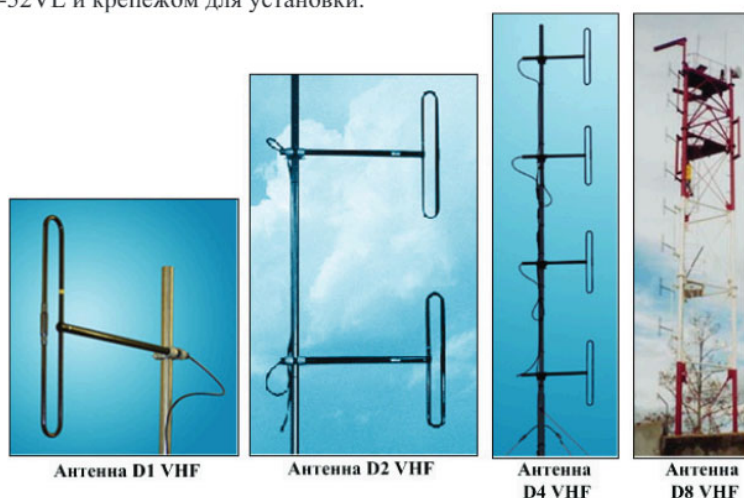


Рисунок 81 – Внешний вид стационарных антенн

Таблица 15 – Эксплуатационные параметры различных типов антенн

Электрические характеристики				
Модель	D1 VHF	D2 VHF	D4 VHF	D8 VHF
Рабочий диапазон частот, МГц	136–174			
КСВ, не хуже	1,5			
Усиление OMNI, dBi	2,15	5,15	8,15	11,15
OFFSET, dBi	5,15	8,15	11,15	14,15
Сектор излучения в вертикальной плоскости по уровню -3dB	70°	37°	18°	9°
Входное сопротивление, Ом	50			
Допустимая мощность, Вт	400	400	400	400 (800 под заказ)

Механические характеристики				
Модель	D1 VHF	D2 VHF	D4 VHF	D8 VHF
Масса, кг	2,3	5,2	10,4	21,5
Высота в сборе, м	0,85	2,4-2,85	5,5-6,8	11,7-14,7
Материал антенны	АД-31			
Диаметр мачты, мм	38-65			
Допустимая скорость ветра, м/с	45			
Площадь ветрового сопротивления, м ²	0,07	0,14	0,29	0,6
Нагрузка при боковом ветре 45 м/с, Н	80	165	335	675
Допустимая скорость ветра при обледенении (слой льда 12 мм), м/с	28			
Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +50			
Разъем	N-розетка			

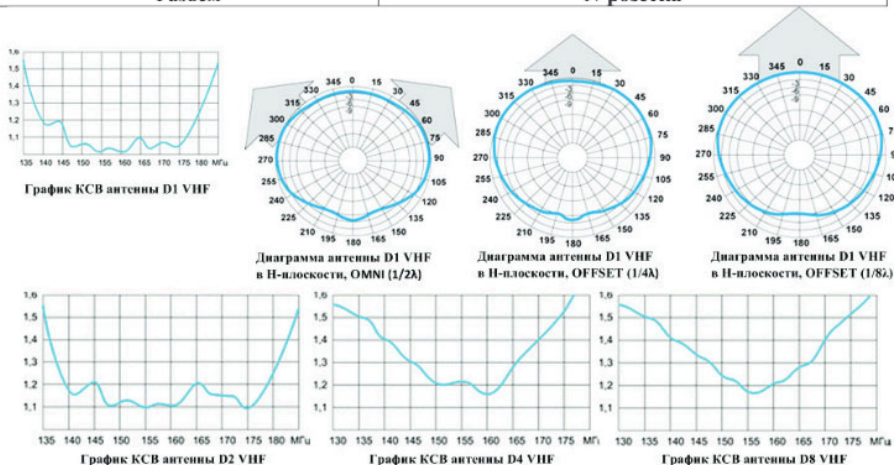


Рисунок 82 – Диаграммы направленности и графики КСВ антенн D1 VHF, D2 VHF, D4 VHF, D8 VHF

12.4. Направленные антенны

Направленные антенны типа «Волновой канал» имеют высокую направленность не только в вертикальной плоскости (как антенны, рассмотренные выше), но и в горизонтальной. Применять направленные антенны целесообразно в первую очередь в линейных радиосетях, когда связь необходимо обеспечить вдоль протяженного железнодорожного участка, а также в зонных сетях в тех случаях, когда антенна располагается не в центре, а на краю покрываемого радиосвязью участка.

На рис. 84 представлены антенны типа «Волновой канал», четырех видов. Также показаны их диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскости. Основные характеристики антенн типа «Волновой канал» приведены в таблице 16. Допустимая скорость ветра для всех антенн – 45 м/с.

Цифра, указанная в названии антенны означает количество вибраторов, входящих в ее состав. Помимо активного излучателя антенны имеют и пассивные элементы – рефлектор и один или несколько директоров. Длина рефлектора несколько больше, чем у активного излучателя, благодаря этому рефлектор обеспечивает однонаправленность излучения. Директоры имеют меньшую длину, чем длина активного излучателя и служат для усиления сигнала в направлении основного излучения.

У антенн Y3 VHF (M) и Y5 VHF (L) в качестве активного излучателя используется петлевой вибратор Пистолькорса, благодаря чему антенна обладает достаточно широкой полосой рабочих частот.

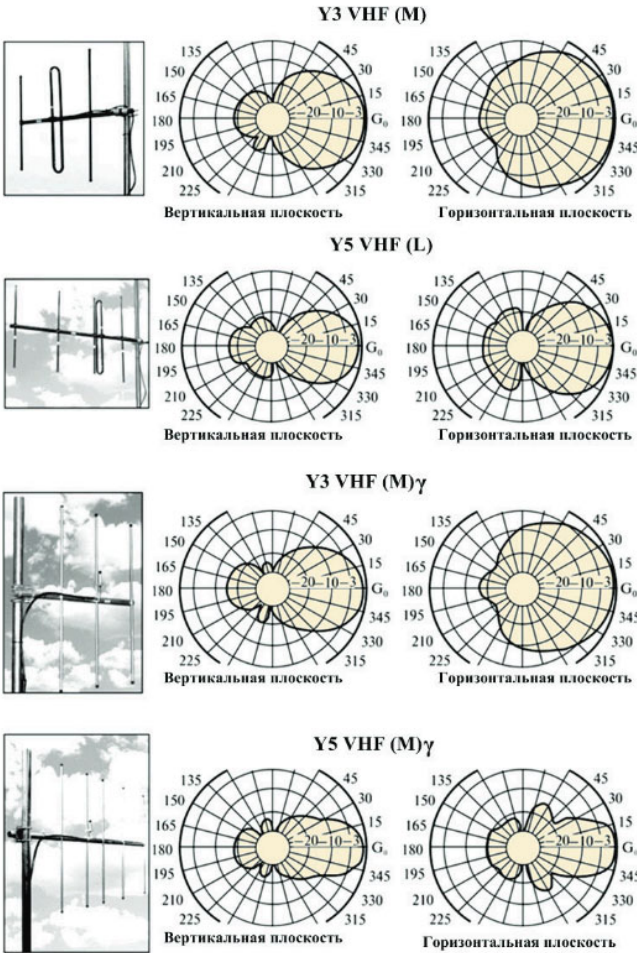


Рисунок 83 – Антенны типа «Волновой канал» и их диаграммы направленности

Таблица 16 – Основные характеристики антенн типа «Волновой канал»

Модель	Y3VHF (M)	Y5 VHF(L)	Y3 VHF γ	Y5 VHF γ
Диапазон частот, МГц	150–172	148–157	144–170	144–174
Усиление, dBi	7,15	10,15	7,65	10,15
Сектор излучения по уровню: ЗдБ в вертикальной плоскости	65°	55°	50°	40°
в горизонтальной плоскости	120°	74°	112°	46°
Допустимая мощность, Вт	400	200	100	100
Масса, кг	2,8	3,44	1,35	1,95
Размеры длина × высота, м	1,1×0,95	1,68×0,95	1,05×1,05	1,8×1,05
Разъем	N	N	SO-239	SO-239

Сравнительный анализ характеристик антенн (рис. 84 и табл. 15) показывает, что при одинаковых значениях коэффициентов усиления вес антенн Y3 VHF γ и Y5 VHF γ почти в 2 раза меньше, чем у антенн Y3 VHF (M) и Y5 VHF (L). Аналогично почти в 2 раза ниже и их стоимость. Преимуществом антенн Y3 VHF (M) и Y5 VHF (L) является большая допустимая мощность (400 и 200 Вт по сравнению с 100 Вт), однако для сетей технологической железнодорожной радиосвязи, мощности передатчиков которых, как правило, не превышают 20 Вт, это преимущество не играет роли.

Активным излучателем у антенн Y3 VHF γ и Y5 VHF γ служит полуволновой неразрезной вибратор с шунтовым питанием (γ (гамма)-трансформатором). Гамма-трансформатор используется для согласования сопротивления кабеля с входным сопротивлением вибратора. Принцип согласования заключается в следующем. На конце вибратора ток равен нулю (узел тока), а напряжение максимально (пучность напряжения). При движении вдоль вибратора от конца к середине ток возрастает по гармоническому закону, а напряжение уменьшается. При этом вдоль вибратора изменяется и его входное сопротивление, уменьшаясь от конца вибратора к центру. Для согласования необходимо запитать вибратор в такой точке, в которой его входное сопротивление будет равно 50 Ом. Для разных частот эти точки будут различны. Настройка выполняется перемещением ползунка вдоль вибратора с измерением значений КСВ в разных точках. Для компенсации реактивной составляющей входного сопротивления на ползунке предусмотрен конденсатор.

12.5. Локомотивные антенны и их разновидности

Локомотивные антенны относятся к классу возимых антенн. Возимые антенны это антенны, которые устанавливаются на транспортных средствах. Применение антенн на подвижном объекте, ориентация которого относительно антенны стационарной радиостанции постоянно меняется, делает невозможным применение направленных антенн в качестве возимых. Поэтому все возимые антенны – ненаправленные. Еще одна особенность возимых антенн, определяющая конструктивные требования к ним, – необходимость размещения антенны на крыше локомотива (или другого железнодорожного подвижного объекта) вблизи от контактной сети и с обеспечением габарита подвижного

состава. По этим причинам антенна должна иметь небольшую высоту, жесткую конструкцию и малую парусность.

К антеннам подключаются:

- радиостанции передачи речи;
- радиостанции передачи данных.

Локомотивные антенны представляют собой четвертьволновые излучатели (антенны «ground plane»). Локомотивные антенны устанавливаются на крыше подвижного состава на электропроводящую поверхность для создания необходимого «противовеса». Основными типами локомотивных антенн, применяемыми сегодня, являются низкорасположенная антенна АЛ-2 и дисконусная антенна АЛП-2/3.

Цифры в названии антенн означают частотный диапазон, для которого они предназначены:

- 2 – метровые волны (150 МГц),
- 3 – дециметровые волны (330 МГц).

КСВ у антенн обоих типов не превышает 2.

Антенна АЛ/2 применяется для эксплуатации с железнодорожными радиостанциями и замены устаревшего штатного оборудования. Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А. Локомотивная антенна АЛ/2 (ШИ2.091.273) токобезопасная предназначена для использования на подвижных единицах железнодорожного транспорта с радиостанциями в диапазоне 151- 156 МГц.

Локомотивная антенна АЛ/2 создана для работы в условиях:

- изменения температуры окружающей среды от -50° до $+55^{\circ}$;
- воздействия атмосферных осадков (иней, росы, дождя);
- воздействия пыли;
- воздействия вибрации до 100 Гц;
- воздействия ударов многократного действия с ускорением.

Локомотивная антенна АЛ/2 представляет собой низкорасположенную шлейфовую антенну комбинированного типа, состоящую из замкнутой и разомкнутой частей. Противовесом антенны служит металлическая обшивка локомотива. В нижней пластине сварной конструкции имеется четыре отверстия диаметром 9 мм для крепления антенн к корпусу железнодорожных локомотивов (тепловозов). Питание антенны осуществляется через разъём СР-50-165 ФВ.

Антенна АЛ/2 (рис. 84) имеет сварную конструкцию и представляет собой несимметричную трехпроводную антенну с круговой диаграммой направленности.

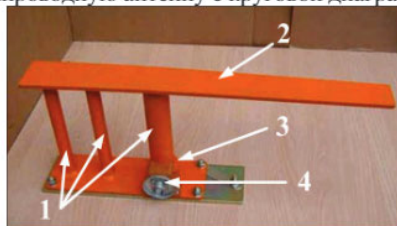


Рисунок 84 – Локомотивная антенна АЛ/2

Проводами служат три вертикальные стойки 1 диаметром 20 и 36 мм. Высота антенны – около 200 мм, поэтому ее желательно использовать на крышах, свободных от экранирующих элементов. Питание подается через правую стойку, опирающуюся на антенный изолятор 3 с высокочастотным разъемом 4. Металлическая пластина 2 длиной 500 мм и шириной 60 мм создает в антенне емкостную нагрузку. Благодаря емкостной нагрузке ток в вертикальной части распределен практически равномерно.

К функциональным особенностям локомотивной антенны АЛ/2 следует отнести:

- Имеет грозозащиту и 50-омный вход.
- Поляризация – вертикальная. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости близкая к круговой.
- Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А.
- Подводимая к антенне мощность – не более 50 Вт.
- Габаритные размеры антенна АЛ/2 – не более 100×502×195 мм.
- Масса антенны АЛ/2 без комплекта монтажных частей и упаковки – не более 2,0 кг.
- Конструкция антенны выдерживает воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости ветра до 90 м/с.

Антенна АЛ/3 используется для эксплуатации на подвижных объектах железнодорожного транспорта с железнодорожными станциями в диапазоне частот 301-344 МГц. Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А. Локомотивная антенна АЛ/3 (ШИ2.091.257) предназначена для работы на подвижных объектах (железнодорожных электропоездов) с железнодорожными радиостанциями в диапазоне частот 301-344 МГц.

Антенна АЛ/3 имеет круговую направленность и предназначена для установки на металлических крышах железнодорожных электропоездов и путевых машинах тяжелого типа.

Локомотивная антенна АЛ/3 создана для работы в условиях:

- изменения температуры окружающей среды от -50° до +55°;
- воздействия атмосферных осадков (иней, росы, дождя);
- воздействия пыли;
- воздействия вибрации до 100 Гц;
- воздействия ударов многократного действия с ускорением 25 g.

Железнодорожная антенна АЛ/3 представляет собой низкорасположенную шлейфовую антенну. Противовесом антенны служит металлическая обшивка локомотива. В нижней пластине сварной конструкции имеется четыре отверстия диаметром 9 мм для крепления антенны к корпусу локомотивов (электропоездов).

Основание антенны имеет размер 160×80 мм. Питание антенны через коаксиальный разъем N – типа. По заказу антенна может быть укомплектована другим разъемом (например, СР 50-165 ФВ).

К функциональным особенностям следует отнести:

- Антенна локомотивная АЛ/3, имеет грозозащиту и 50-омный вход.
- Поляризация – вертикальная. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости близкая к круговой.
- Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А.
- Гальваническое соединение элементов антенны с основанием (корпусом объекта) обеспечивает безопасную работу оператора и защиту аппаратуры от высокого напряжения (в случае аварийной ситуации).
- Подводимая к антенне мощность – не более 50 Вт.
- Габаритные размеры антенна АЛ/3 – не более 190×100×203 мм.
- Масса антенны АЛ/3 без комплекта монтажных частей и упаковки – не более 2,0 кг.

Конструкция антенны выдерживает воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости ветра до 90 м/с.

Внешний вид антенны АЛ/3 показан на рисунке 85.



Рисунок 85 – Внешний вид локомотивной антенны АЛ/3

Локомотивная антенна АЛ/4 предназначена, для эксплуатации на подвижных объектах железнодорожного транспорта совместно с железнодорожными станциями в диапазоне частот 450-470 МГц. Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течение 0,1 секунды при напряжении 25 кВ и токе 1000 А.

Железнодорожная антенна АЛ/4, используется для работы на железнодорожных электровозах, с железнодорожными радиостанциями в диапазоне частот 450–470 МГц.

Антенна АЛ/4 имеет круговую направленность, токобезопасная предназначена для установки на металлических крышах железнодорожных электровазов и путевых машинах тяжёлого типа.

Локомотивная антенна АЛ/4 создана для работы в условиях:

- изменения температуры окружающей среды от -50° до +55°;
- воздействия атмосферных осадков (иней, росы, дождя);
- воздействия пыли;
- воздействия вибрации до 100 Гц;
- воздействия ударов многократного действия с ускорением 25 g;

Локомотивная антенна АЛ/4 представляет собой низкорасположенную шлейфовую антенну. Противовесом антенны служит металлическая обшивка локомотива. В нижней пластине сварной конструкции имеется четыре отверстия диаметром 9 мм для крепления антенн к корпусу железнодорожных локомотивов. Основание антенны имеет размер 160×80 мм.

К функциональным особенностям следует отнести:

- Антенна локомотивная АЛ/4, грозозащищённая, имеет 50-омный вход
- Поляризация – вертикальная. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости близкая к круговой.
- Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А.
- Гальваническое соединение элементов антенны с основанием (корпусом объекта) обеспечивает безопасную работу оператора и защиту аппаратуры от высокого напряжения (в случае аварийной ситуации).
- Подводимая к антенне мощность – не более 50 Вт.
- Габаритные размеры антенна АЛ/4 – не более $190 \times 100 \times 133$ мм
- Масса антенны АЛ/4 без комплекта монтажных частей и упаковки – не более 1,6 кг.

Конструкция антенны выдерживает воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости ветра до 90 м/с.

Внешний вид антенны АЛ/4 показан на рисунке 86.



Рисунок 86 – Внешний вид локомотивной антенны АЛ/4

Диско-конусная антенна АЛ/23

Локомотивная антенна АЛ/23 (ШИ2.091.302) разработана для работы на подвижных объектах (железнодорожных локомотивов) с железнодорожными радиостанциями в диапазоне частот 15–156 МГц и 307–344 МГц.

Гальваническое соединение элементов антенны с основанием (корпусом объекта) обеспечивает безопасную работу оператора и защиту аппаратуры от высокого напряжения в случае аварийной ситуации.

Антенна АЛ/23 сверхнизкая предназначена для установки на металлических крышах железнодорожных электровозов и путевых машинах тяжёлого типа.

Локомотивная антенна АЛ/23 создана для работы в условиях:

- изменения температуры окружающей среды от -50° до $+55^{\circ}$;
- воздействия атмосферных осадков (иней, росы, дождя);
- воздействия пыли;
- воздействия вибрации до 100 Гц;
- воздействия ударов многократного действия с ускорением 25 g.

Локомотивная антенна АЛ/23 представляет собой широкодиапазонную дисконусную антенну. В нижней пластине сварной конструкции имеются отверстия диаметром для крепления антенн к корпусу тепловозов. Питание антенны через коаксиальный разъем СР 50-165 ФВ. По заказу антенна может быть укомплектована другим высокочастотным разъемом (например, N-типа), а также кабелем с разъемами.

К функциональным особенностям следует отнести:

- Локомотивная антенна АЛ/23, имеет грозозащиту и 50-омный вход.
- Поляризация – вертикальная. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости близкая к круговой.
- Антенна выдерживает воздействие электрического разряда в течении 0,1 с при напряжении 25 кВ и токе 1000 А.
- Гальваническое соединение элементов антенны с основанием (корпусом объекта) обеспечивает безопасную работу оператора и защиту аппаратуры от высокого напряжения (в случае аварийной ситуации).
- Подводимая к антенне мощность – не более 50 Вт.
- Габаритные размеры антенна АЛ/23 – не более $350 \times 350 \times 692$ мм.
- Масса антенны АЛ/23 без комплекта монтажных частей и упаковки – не более 4 кг.
- Конструкция антенны выдерживает воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости ветра до 80 м/с.

Антенна (рис. 87) представляет собой сварную конструкцию, состоящую из центральной трубы 1, диска 3 и конуса 2, образованного восемью прутками диаметром 10 мм. Излучающими элементами являются соосные вертикальные четвертьволновые трубы разного диаметра, расположенные внутри центральной трубы и закороченные на нее внизу. Питание антенны осуществляется по коаксиальному кабелю, проходящему внутри трубы. Центральная жила кабеля распаяна на внешний цилиндр 1, а оплетка – на диск 3. Поскольку высота антенны около 70 см и антенна запитана в верхней части, то основная часть энергии излучается на высоте, превышающей экранирующие элементы, расположенные на крыше. Этим свойством определяется область применения антенны АЛ/23 на подвижных объектах, на крышах которых размещено различное оборудование. Благодаря своей конструкции антенна может эффективно работать как в диапазоне МВ, так и в диапазоне ДМВ (330 МГц).



Рисунок 87 – Диско-конусная антенна АЛ/23

12.6. Современные локомотивные антенны и их характеристики

Антенны локомотивные должны эксплуатироваться в соответствии Руководством по эксплуатации (РЭ), разработанным в соответствии с ГОСТ Р 55814 «Нормы и правила оснащения железнодорожного подвижного состава средствами радиосвязи и помехоподавляющими устройствами» и представляет собой универсальный документ, содержащий необходимую техническую информацию, описание конструкций и принципа работы, а также методики установки на подвижной состав и рекомендации по текущему техническому обслуживанию, ремонту, хранению и транспортированию семейства локомотивных антенн производства ООО «Лаборатория радиосвязи».

Неукоснительное выполнение требований и рекомендаций РЭ необходимо для обеспечения правильной и безопасной эксплуатации изделий в течение всего срока службы. Локомотивные антенны используются для приёма и передачи сигналов приёмопередатчиков и предназначены для работы в сетях поездной, ремонтно-оперативной и станционной радиосвязи на железнодорожном транспорте. Антенны, в наименовании которых указана буква «Н», содержат навигационный модуль. Данные антенны могут быть использованы в системах определения местоположения стандартов ГЛОНАСС и GPS.

К работам по установке и техническому обслуживанию антенн допускается персонал, прошедший инструктаж и изучивший РЭ по эксплуатации, а также аттестованный по «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утверждённым Госэнергонадзором для электроустановок свыше 1000 В и имеющий квалификационную группу по технике безопасности не ниже III.

В руководстве по эксплуатации рассмотрены модификации антенн АЛ1/160, АЛ1/160/Н, АЛ2/160, АЛ2/160/Н, АЛ2/460/900, АЛ2/460/900/Н, АЛ3/800-3400, АЛ3/800-3400/Н.

Рассматриваемые антенны предназначены для работы на подвижных объектах железнодорожного транспорта в рабочих диапазонах радиочастот согласно технической документации, совместно с локомотивными радиостанциями передачи речи и данных в сетях поездной, ремонтнооперативной и станционной радиосвязи на железнодорожном транспорте. Они предназначены для работы с радиооборудованием, имеющим входное сопротивление 50 Ом, и могут быть установлены на всех подвижных объектах железнодорожного транспорта при условии соблюдения габарита подвижного состава в соответствии с Инструкцией по применению габаритов подвижного состава ЦВ-4422.

По степени защиты (в эксплуатационном положении) от проникновения внутрь оболочки внешних твердых частиц и от вредного воздействия в результате проникновения воды изделия соответствует коду IP66 согласно ГОСТ 14254. 1.

По климатическому исполнению – изделия предназначены для эксплуатации в условиях макроклиматического района с умеренным климатом исполнение УХЛ категория 1 согласно ГОСТ 15150.

Изделия соответствуют ГОСТ 16019 по устойчивости к механическим и климатическим воздействиям для аппаратуры группы В5 второй степени жесткости. Диапазон рабочих температур от –50 до +60 °С.

Изделия соответствуют ОСТ 32.146-2000 по устойчивости и прочности к воздействиям механических нагрузок и климатических факторов для аппаратуры класса ММ1 и класса К4.1 соответственно. Антенны выдерживают воздействие ветровых нагрузок при максимальной скорости воздушного потока от 120 до 150 м/с в соответствии с требованиями технических условий на конкретную антенну.

Встроенные навигационные модули для приема сигналов от систем спутниковой навигации представляют собой микрополосковую антенну (патч-антенна), соединенную с маломощным усилителем (МШУ). Поляризация патч-антенн – правосторонняя круговая (RHCP). Потребляемый ток не более 30 мА.

В составе МШУ, используются фильтры для подавления внеполосных помех и предотвращения выхода из строя модуля навигации.

Таблица 17 – Модификации современных локомотивных антенн

Наименование изделия	Обозначение	Назначение
Антенна локомотивная	АЛ1/160 ТУ 65 7700 5-001-62837180-11	Для работы в сетях ПРС, РОРС и СРС в метровом радиочастотном диапазоне
Антенна локомотивная	АЛ1/160/Н ТУ 65 7700 5-001-62837180-11-01	Для работы в сетях ПРС, РОРС и СРС в метровом радиочастотном диапазоне, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС /GPS
Антенна локомотивная	АЛ2/160 ТУ 65 7700 5-001-62837180-11-02	Для работы в сетях ПРС, РОРС и СРС в метровом радиочастотном диапазоне

Окончание таблицы 17

Наименование изделия	Обозначение	Назначение
Антенна локомотивная	АЛ2/160/Н ТУ 65 7700 5-001-62837180-11-03	Для работы в сетях ПРС, РОРС и СРС в метровом радиочастотном диапазоне, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS
Антенна локомотивная	АЛ2/460/900 ТУ 65 7700 5-009-62837180-10	Для передачи речи и данных в дециметровом радиочастотном диапазоне, в том числе, в стандартах TETRA и GSM-R /GSM900
Антенна локомотивная	АЛ2/460/900/Н ТУ 65 7700 5-011-62837180-10	Для передачи речи и данных в дециметровом радиочастотном диапазоне, в том числе, в стандартах TETRA и GSM-R /GSM900, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS
Антенна локомотивная	АЛ3/800-3400 ТУ 65 7700 5-018-62837180-12	Для передачи речи и данных в дециметровом радиочастотном диапазоне, в том числе, в стандартах GSM-R/GSM900/GSM1800/UMTS/LTE/Wi-Fi/WiMAX
Антенна локомотивная	АЛ3/800-3400/Н ТУ 65 7700 5-018-62837180-12-01	Для передачи речи и данных в дециметровом радиочастотном диапазоне, в том числе, в стандартах GSM-R/GSM900/GSM1800/UMTS/LTE/Wi-Fi/WiMAX, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS

Антенны представляют собой собранные изделия, готовые к установке на подвижной состав. Конструктивно каждая антенна состоит из четвертьволнового излучателя, основания, радиопрозрачного кожуха, защищающего внутренние элементы антенны, разъёма для подключения к радиостанции. Антенны, оснащенные навигационным модулем, оборудованы разъёмом на кабеле для подключения к системе определения местоположения.

Излучатель (вибратор) размещен на металлическом основании и закрыт стеклопластиковым кожухом. Антенны с индексом «Н» (например, АЛ1/160/Н, АЛ2/160/Н) содержат в себе антенну для приема сигналов от систем спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS) со встроенным малошумящим усилителем (МШУ). Антенны оборудованы фланцевым разъёмом N-типа (розетка) для подключения к локомотивной радиостанции, а также кабелем с разъёмом TNC-типа (вилка) для подключения к оборудованию систем определения местоположения ГЛОНАСС/GPS.

Каждая антенна имеет базовый и дополнительный вариант комплектации. При дополнительном варианте комплектации – дополнительные опции оговариваются с поставщиком.

Рассмотрим некоторые модификации локомотивных антенн.

Антенна локомотивная АЛ1/160/Н предназначена для работы с локомотивными радиостанциями в сетях поездной, ремонтно-оперативной и станционной радиосвязи на железнодорожном транспорте в метровом диапазоне

волн, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS.

Антенна имеет встроенный малошумящий усилитель (МШУ) для предварительного усиления принимаемых со спутников сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Антенна может быть установлена на всех подвижных объектах железнодорожного транспорта при условии соблюдения габарита подвижного состава.

Антенна является низкопрофильной и представляет собой несимметричный четвертьволновый петлевой вибратор, помещенный в защитный стеклопластиковый радиопрозрачный кожух.

Применение защитного кожуха и гальваническое соединение всех элементов антенны с корпусом обеспечивает защиту оборудования и персонала при прямом контакте антенн и токоведущих цепей с напряжением не менее 27 кВ.

Антенна оборудована фланцевым разъемом N-типа (розетка), также кабелем с разъемом TNC-типа (вилка) для подключения к оборудованию систем определения местоположения ГЛОНАСС/GPS. На рисунке 88 показан внешний вид антенны АЛ1/160/Н, а в таблице 18 ее технические параметры.



Рисунок 88 – Внешний вид антенны АЛ1/160/Н

Таблица 18 – Технические характеристики АЛ1/160/Н

Рабочий диапазон частот, МГц*	151,7...156
Поляризация	вертикальная
КСВ, не более	1,5
Усиление по отношению к четвертьволновому излучателю, дБ	0
Сектор излучения в вертикальной плоскости по уровню -3дБ	55°
Входное сопротивление, Ом	50
Макс. допустимая подводимая мощность, не используя встроенную навигационную антенну, Вт	100
Макс. допустимая подводимая мощность, используя встроенную навигационную антенну, Вт	50
Рабочий диапазон температур, °С	-50... +60
Радиопрозрачность кожуха	до 99 %
Допустимая скорость ветра, м/с	120
Разъем	розетка N-типа
Высота, мм	371
Площадь основания, мм	185×110
Масса, не более, кг	1,7

Параметры встроенной активной антенны ГЛОНАСС/GPS	
Рабочий диапазон частот, МГц	1571...1614
Усиление МШУ, дБ	27 ... 29
Выходное сопротивление, Ом	50
Напряжение питания, В	+3,3 ... +13,2
Рабочий диапазон температур, °С	-50 ... +60
Разъем	вилка TNC-типа

* Может быть изменен в пределах 148–174 МГц с шириной полосы до 7 МГц по уровню КСВ = 1,5

12.7. Антенна локомотивная АЛ2/460/900/Н

Антенна локомотивная АЛ2/460/900/Н предназначена для работы на подвижных объектах железнодорожного транспорта в дециметровом диапазоне волн совместно с локомотивными радиостанциями для передачи речи и данных в стандартах TETRA и GSM-R/GSM900, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS.

Антенна имеет, встроенный малошумящий усилитель МШУ для предварительного усиления принимаемых со спутников сигналов систем ГЛОНАСС/GPS.

Антенна является низкопрофильной и представляет собой составной вертикальный штыревой вибратор, помещенный в защитный стеклопластиковый радиопрозрачный кожух.

Антенна оборудована фланцевым разъемом N типа (розетка) для подключения к локомотивной радиостанции и кабельным разъемом TNC-типа (вилка) для подключения к оборудованию систем определения местоположения ГЛОНАСС/GPS.

Применение защитного кожуха и гальваническое соединение всех элементов антенны с корпусом обеспечивает защиту оборудования и персонала при прямом контакте антенн и токоведущих цепей с напряжением не менее 27 кВ.

По степени защиты оболочки, антенна соответствует требованиям кода IP66.

На рисунке 89 показан внешний вид антенны АЛ1/160/Н, а в таблице 19 ее технические параметры.



Рисунок 89 – Внешний вид антенны АЛ2/460/900/Н

Таблица 19 – Технические характеристики АЛ2/460/900/Н

Рабочий диапазон частот, МГц	457 ... 469 / 876 ... 960
КСВ, не более	1,5
Поляризация	вертикальная
Усиление по отношению к четвертьволновому излучателю, дБ	0
Входное сопротивление, Ом	50
Макс. допустимая подводимая мощность, не используя встроенную навигационную антенну, Вт	100
Макс. допустимая подводимая мощность, используя встроенную навигационную антенну, Вт	15
Рабочий диапазон температур, °С	-50... +60
Допустимая скорость ветра, м/с	150
Разъем	розетка N-типа
Высота, мм	181
Площадь основания, мм	185×110
Масса, не более, кг	1,2
Параметры встроенной активной антенны ГЛОНАСС/GPS	
Рабочий диапазон частот, МГц	1571...1614
Усиление МШУ, дБ	27 ... 29
Выходное сопротивление, Ом	50
Напряжение питания, В	+3,3 ... +13,2
Рабочий диапазон температур, °С	-50...+60
Разъем	вилка TNC-типа

12.8. Антенна локомотивная АЛ3/800-3400/Н

Антенна локомотивная АЛ3/800-3400/Н предназначена для работы на подвижных объектах железнодорожного транспорта совместно с локомотивными радиостанциями для передачи речи и/или данных в стандартах GSM-R/GSM900/GSM1800/UMTS/LTE/WLAN/ WIMAX, а также в составе систем определения местоположения стандартов ГЛОНАСС/GPS.

Антенна изготовлена в соответствии с требованиями ТУ 65 7700-018-62837180-12.

Антенна может быть установлена на всех подвижных объектах железнодорожного транспорта при условии соблюдения габарита подвижного состава.

Антенна является низкопрофильной и представляет собой несимметричный вертикальный вибратор гильзового типа с симметричным подводом питания, помещенный в защитный стеклопластиковый радиопрозрачный кожух. Антенна имеет встроенный малошумящий усилитель (МШУ) для предварительного усиления принимаемых со спутников сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Антенна оборудована фланцевым разъемом N типа (розетка) для подключения к локомотивной радиостанции, а также кабелем с разъемом TNC типа (вилка) для подключения к оборудованию систем определения местоположения ГЛОНАСС/GPS.

Применение защитного кожуха и гальваническое соединение всех элементов антенны с корпусом обеспечивает защиту оборудования и персонала при прямом контакте антенн и токоведущих цепей с напряжением не менее 27 кВ.

По степени защиты оболочки, антенна соответствует требованиям кода **IP66**.

На рисунке 90 показан внешний вид антенны АЛЗ/800-3400/Н, а в таблице 20 ее технические параметры.



Рисунок 90 – Внешний вид антенны АЛЗ/800-3400/Н

Таблица 20 – Технические характеристики АЛЗ/800-3400/Н

Рабочий диапазон частот, МГц	760–3400
КСВН в соответствующих диапазонах частот, не хуже:	
760–800	2,0
800–990	1,5
990–1350	2,0
1350–3200	1,5
3200–3400	2,0
Усиление по отношению к четвертьволновому излучателю, дБ:	
760–800	0
800–990	0
990–1350	0
1350–1600	1,0
1600–2100	1,8
2100–2600	2,8
2600–3200	1,5
3200–3400	1,0
Входное сопротивление, Ом	50
Макс. допустимая подводимая мощность, не используя навигационную антенну, Вт	100
Макс. допустимая подводимая мощность, используя навигационную антенну, Вт	25
Рабочий диапазон температур, °С	от -50 до +60
Допустимая скорость ветра, м/с	120
Разъем	розетка N-типа
Высота, мм	87
Площадь основания, мм	155*90
Масса, кг	0,68
Параметры встроенной активной антенны ГЛОНАСС/GPS	
Рабочие диапазоны частот, МГц	1571–1614
Усиление МШУ, дБ,	27...29
Выходное сопротивление, Ом	50
Напряжение питания, В	+3,3...13,2
Рабочий диапазон температуры, °С	от -50 до +60
Разъем	вилка TNC-типа

Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение и основные характеристики стационарных антенн.
2. Назначение и основные характеристики возимых антенн.
3. Назначение и основные характеристики антенн, применяемых для работы в диапазоне МВ.
4. Назначение и основные характеристики дипольных стационарных антенн.
5. Назначение и основные характеристики направленных антенн типа «Волновой канал».
6. Назначение и основные характеристики локомотивных антенн.
7. Разновидности локомотивных антенн и их особенности.
8. Современные локомотивные антенны и их характеристики.
9. Основные характеристики локомотивной антенны АЛ2/460/900/Н.
10. Основные характеристики локомотивной антенны АЛ3/800-3400/Н.

Глава 13. МОНТАЖ И УСТАНОВКА ЛОКОМОТИВНЫХ АНТЕНН

13.1. Общие правила установки и монтажа локомотивных антенн

Перед монтажом антенн, для работников выполняющих их установку и настройку, следует провести инструктаж на рабочем месте. При инструктаже следует особо подчеркнуть что – **ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ С АНТЕННАМИ ПРИ НАХОЖДЕНИИ ЛОКОМОТИВА ПОД КОНТАКТНОЙ СЕТЬЮ!**

Монтаж, настройка и эксплуатация локомотивных антенн на железнодорожном транспорте это ответственная работа, связанная с определенными рисками для работника. В связи с тем, что железные дороги в настоящее время электрифицированы, то в первую очередь опасность представляет поражение электрическим током. Второе – это работа монтажника на крыше локомотива, которая составляет в среднем 5,5 метров. Поэтому перед выполнением работ следует провести инструктаж «на рабочем месте».

Установка и демонтаж антенны должны проводиться двумя лицами с целью исключения передавливания или обрыва кабелей при проведении монтажных работ, а также во время эксплуатации.

Перед монтажом следует произвести внешний осмотр упаковки, распаковать антенну. После извлечения антенны из коробки проверить:

- комплектность согласно техническому паспорту на антенну;
- механическую целостность антенны, отсутствие механических повреждений и очагов коррозии.

Перед установкой антенны внимательно изучить и в точности выполнять рекомендации РЭ. Неверное исполнение или невыполнение рекомендаций может привести к некорректной работе или выходу из строя локомотивной антенны.

Способ установки антенны должен обеспечивать надёжную и качественную работу антенны в течение всего срока службы, а также технологичность установки на конкретном подвижном составе и возможность обслуживания в процессе эксплуатации.

Рекомендуются три способа крепления антенн:

- 1) непосредственно на крышу подвижного состава;
- 2) на одну из соответствующих антенне подставок АЛВР.741134.001, АЛВР.741134.002 или АЛВР.741134.003, приваренную к крыше подвижного состава;
- 3) на конструкцию иного типа, при невозможности крепления способами 1 или 2.

Установка антенн должна осуществляться в строгом соответствии с монтажным чертежом устанавливаемого изделия. Независимо от способа установ-

ки, производитель гарантирует технические характеристики антенны, заявленные в РЭ, при соблюдении следующих условий:

- антенна устанавливается непосредственно на ровную горизонтально расположенную металлическую плоскость (крыши, дополнительного оборудования, подставки и т. п.) подвижного состава. Размеры поверхности (Рп), не должны быть менее указанных в РЭ.

Антенна устанавливается в геометрическом центре поверхности соответствующих размеров;

- расстояние от антенны до крышевого оборудования, в любом направлении должно быть не менее 0,6 метра;
- основание антенны по всей плоскости поверхности должно иметь гальванический контакт с металлическим корпусом локомотива или подставкой;
- перед установкой антенны место крепления антенны должно быть очищено от всех видов загрязнения, лакокрасочных и других покрытий. В случае установки антенны непосредственно на крышу без использования токопроводящей смазки «УВС Суперконт» (или аналогичной), место установки необходимо дополнительно облудить для предотвращения процессов коррозии и обеспечения достаточного электрического контакта между антенной и крышей подвижного состава;
- плоскостность места крепления антенны должна проверяться перед установкой и отклонение не должно превышать 0,4 мм размеров места установки в соответствии с монтажным чертежом конкретной антенны.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- устанавливать антенну на диэлектрическую (неметаллическую) поверхность;
- устанавливать антенну на металлическую поверхность, не защищенную от краски, герметика, клея, набрызгов металла и окалины после сварки, металлической стружки после сверления или и др.;
- устанавливать антенну под углом более 15° относительно вертикальной оси;
- наносить на защитный стеклопластиковый радиопрозрачный кожух антенны лакокрасочных и других покрытий;
- устанавливать антенну в поперечном положении или под углом относительно направления движения подвижного состава;
- установка антенны без использования подставки установка и демонтаж антенн должны проводиться двумя лицами с целью исключения передавливания или обрыва кабелей при проведении монтажных работ, а также во время эксплуатации;
- при установке антенн использовать крепёжные элементы, а также кабели и разъёмы, не указанные в Руководстве по эксплуатации.

13.2. Порядок установки антенны непосредственно на крышу локомотива

Установка антенны может быть выполнена, как непосредственно на крышу локомотива, так и на поверхность другого крышевого оборудования, удовлетворяющего требованиям установки антенн, изложенным в прилагаемой к изданию инструкции. С помощью рулетки убедиться в том, что расстояние во всех направлениях от предполагаемого места установки антенны до близкорасположенного крышевого оборудования не менее 0,6 м. В предполагаемом месте установки антенны при помощи поверочной лекальной линейки с внутренним откосом и набора специальных щупов проверьте плоскостность поверхности, при необходимости удалите неровности. Начертите контур основания антенны согласно габаритам основания, указанным в соответствующем антенне монтажном чертеже.

При помощи щётки или дрели с насадкой для зачистки металлических поверхностей зачистите поверхность крыши до металла по размеру основания антенны. В случае установки антенны непосредственно на крышу без использования токопроводящей смазки «УВС Суперконт» (или аналогичной), подготовьте очищенную поверхность к последующему лужению и облудите при помощи паяльной лампы и молоткового паяльника с использованием припоя ПОС61. При установке антенны на поверхность крыши из алюминиевого сплава после зачистки от лакокрасочного покрытия место установки обезжирьте, но не облуживайте.

Согласно соответствующему антенне монтажному чертежу, разметьте центр отверстия для кабелей с разъемами, подключаемыми к антенне (учитывая, что отверстие смещено в сторону фронтальной линии основания антенны). Керном обозначьте центр антенны и при помощи электрической дрели и коронки по металлу просверлите в крыше сквозное отверстие диаметром 41–44 мм для подключения к антенне кабельных сборок. Обработайте край отверстия напильником и наждачной бумагой. Убедитесь в том, что края отверстия не имеют острых кромок, зазубрин и заусенцев.

Установите антенну на место установки и проверьте правильность её расположения относительно движения подвижного состава. В месте будущего крепления, согласно соответствующему антенне монтажному чертежу, при помощи керна разметьте центры четырёх отверстий для крепления основания антенны. С помощью электрической дрели просверлите четыре сквозных отверстия диаметром 9 мм соответствующим сверлом. Очистите поверхность от металлической стружки, при необходимости удалите заусенцы.

Подготовьте кабельные сборки необходимой длины для подключения антенны. Для подключения антенны к радиостанции используйте коаксиальный кабель РК 50-7-316нг(С)-HF (класс пожарной опасности кабелей по ГОСТ 31565-01.8.1.2.1. В зависимости от разъёма на радиостанции установите с противоположной стороны кабельной сборки разъём вилку N3100- GE08 или CP50-164ФВ.

Для подключения антенны к системе определения местоположения ГЛОНАСС/GPS используйте коаксиальные кабели РК 50-7-316нг(С)-HF, РК 50-4,8-33нг(С)-HF или РК 50-3-38 (Класс пожарной опасности кабелей по ГОСТ 31565 – О1.8.1.2.1).

Для подключения к разъёму навигационного модуля антенны примените в кабельной сборке разъём розетку TNC8100-L400 для кабеля РК 50-7-316 нг(С)-HF, TNC8100-L300 для кабеля РК 50-4,8-33 нг(С)-HF или TNC8100-L200 для кабеля РК 50-3-38, с противоположной стороны коаксиального кабеля установите необходимый разъём для подключения к системе определения местоположения ГЛОНАСС/GPS.

Кабельные сборки внутри локомотива должны быть проложены в соответствии с требованиями инструкции по установке антенны и при необходимости поправьте положение уплотнительного резинового кольца в канавке узла разъёмов основания антенны. Нанесите на поверхность основания антенны в соответствии с инструкцией по применению электропроводящую смазку «УВС Суперконт» (или аналогичную). Смазка должна быть нанесена слоем 0,5–0,7 мм равномерно по всей поверхности основания с внешней стороны уплотнительного резинового кольца.

Протяните кабель с разъёмом (или кабели с разъёмами для антенн с навигационным модулем) через отверстие в крыше для подключения к антенне кабельных сборок. Подсоедините разъём вилку N3100-GE08 к разъёму розетки N-P245 на антенне. Для антенн с навигационным модулем, произведите подключение разъёма розетки TNC8100-L400 (TNC8100-L300, TNC8100-L200) к разъёму вилке TNC 56S107-803N5 фидера навигационного модуля антенны.

Проверьте надёжность соединений. Убедитесь, что при подключении не был нарушен нанесённый ранее слой электропроводящей смазки.

Установите антенну на подготовленную поверхность до совпадения отверстий крепления. До закрепления антенн, убедитесь в отсутствии петель и скрученных участков кабеля, которые могут привести к передавливанию или обрыву кабеля и отказу антенны во время эксплуатации.

Установите шайбы на болты (по 4 шт. каждого наименования из комплекта КМАЛ-2). Нанесите электропроводящую смазку «УВС Суперконт» (или аналогичную) на поверхности шайб по внутреннему диаметру и резьбы болтов непрерывным швом толщиной 3–4 мм.

Со стороны антенны вставьте в отверстия основания антенны крепёжные болты с шайбами. С внутренней стороны крыши наденьте на болты шайбы, гровера, накрутите гайки (по 4 шт. каждого наименования из комплекта КМАЛ-2) и произведите поочередную и равномерную затяжку гаек по периметру в соответствии с монтажным чертежом на антенну. После затяжки гаек удалите ветошью излишки электропроводящей смазки «УВС Суперконт».

По окончании работ заполните герметиком Пентэласт® -1101 (или аналогичным) стык крыши с основанием антенны по периметру непрерывным швом толщиной 4–5 мм.

13.3. Установка антенны на подставку, привариваемую к крыше подвижного объекта

Установка и крепление антенн с помощью соответствующих подставок АЛВР.741134.001, АЛВР.741134.002 и АЛВР.741134.003, которые поставляются по заказу, производится путём приваривания последних по периметру к горизонтально расположенной металлической крыше подвижного состава (или другой поверхности, предназначенной для ее установки) по технологии в соответствии с материалом поверхности, на которую выполняется установка.

Технология установки антенны отличается от установки на крышу только тем, что подставка предварительно должна быть приварена в нужном месте подвижного объекта. При этом выполните следующие операции – установите подставку на крышу и отцентрируйте отверстия в крыше и подставке. Произведите точечное приваривание подставки к крыше (крест-накрест) начиная с центра длинной стороны подставки. Аналогично произведите точечное приваривание подставки к крыше (по диагонали) по углам, затем полностью приварите подставку по периметру в соответствии с требованиями ГОСТ 5264. При проведении сварочных работ поверхность подставки и резьба шпилек должны быть защищены от набрызга металла. По окончании сварочных работ удалите окалину, убедитесь, что рабочая поверхность подставки ровная и чистая.

Далее порядок установки антенны выполняется в той же последовательности, что и в предыдущем случае.

При установке антенн на специальные конструкции необходимо соблюдать следующие правила:

- при высоте конструкции (h) не более 40 мм, антенну необходимо установить на металлическую конструкцию, проваренную по периметру со всех сторон, с минимальными размерами основания 260 мм × 200 мм. При невозможности приваривания подставки по всему периметру, минимальные размеры площадки должны быть увеличены до размеров 300 мм × 400 мм.

Площадка должна быть приварена с двух или трёх сторон, а разъёмное соединение надёжно загерметизировано. При наличии в подставке внутренней полости, необходимо предусмотреть дренажные отверстия для вывода конденсата;

- при высоте конструкции (h) не более 400 мм относительно горизонтальной поверхности крыши, с минимальными размерами поверхности основания R_p , указанными для соответствующей антенны, необходимо проверить плоскостность места установки антенны и окружающей его поверхности металлического листа. Измеренное значение плоскостности не должно превышать 0,4 и 10 мм соответственно. В нижней точке вогнутости металлического листа, необходимо просверлить дренажное отверстие для отвода воды;
- при установке антенны на высоте более 400 мм относительно поверхности крыши необходимо обеспечить контроль КСВ, значение, которое должно быть не более 1,5;

- при установке антенны на скатах крыши, максимальное отклонением от вертикальной оси антенны в любом направлении не должно превышать 15°.

Для уменьшения потерь в антенно-фидерных трактах (АФТ), расстояния между антенной и радиостанцией/навигационным оборудованием, а также длины соединяющих их кабельных сборок должны быть минимально возможными. Прокладываемые коаксиальные кабели не должны иметь натяжения по всей длине. Подключаемые к антенне коаксиальные кабели от радиостанции и навигационного оборудования, должны быть проложены и закреплены в соответствии с требованиями ГОСТ 55814. Не допускается соприкосновение коаксиального кабеля с кромкой отверстия в крыше подвижного состава или кромкой отверстия в подставке, с целью исключения повреждения кабеля в процессе эксплуатации. Для антенн, имеющих в своём составе навигационный модуль, не допускается соприкосновение защитной трубки антенны ввода кабеля для подключения к системе навигации с кромкой отверстия в крыше подвижного состава или кромкой отверстия в подставке, с целью исключения повреждения кабеля в процессе эксплуатации. Тип и длина кабеля для подключения антенн, имеющих в своём составе навигационный модуль, к системе определения местоположения выбираются исходя из потерь в соответствующей кабельной сборке не более 12 дБ.

Техническое обслуживание и ремонт локомотивных антенн

Для обеспечения безопасности труда при выполнении операций технического обслуживания следует руководствоваться положениями правил по охране труда. Одна из главных мер безопасности гласит: Запрещается проведение работ с антеннами при нахождении локомотива под контактной сетью.

При всех текущих видах ремонта подвижного объекта следует производить:

- визуальный осмотр целостности изделия;
- проверку надежности крепления изделия;
- проверку состояния кабелей и разъёмов;
- очистку защитного кожуха, используя ветошь, смоченную в мыльном растворе воды;
- проверку состояния маркировки.

При выявлении, каких бы то ни было отклонений от нормы, необходимо принять меры по их устранению.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие общие правила следует соблюдать при установке и монтаже локомотивных антенн?
2. Расскажите о последовательности операций при установке антенны непосредственно на крышу локомотива.
3. Расскажите о последовательности операций при установке антенны на подставку, привариваемую к крыше подвижного объекта.
4. Какие операции выполняет обслуживающий персонал при выполнении профилактических и ремонтных работ при эксплуатации локомотивных антенн?

Глава 14.

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОПЕРЕДАЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ (РПУ)

14.1. Основные параметры, характеризующие качество радиоприемного тракта

В предыдущих главах были рассмотрены основные вопросы теории и необходимые сопутствующие устройства для передачи сообщений с использованием электромагнитных радиоволн. В последующих главах будут рассмотрены аппаратура и системы передачи для организации радиоприемного тракта.

Основными параметрами, характеризующими качество работы радиоприемного тракта, являются:

- диапазоны принимаемых частот (волн);
- реальная чувствительность;
- селективность по соседнему и зеркальному каналам и на частоте, равной промежуточной;
- коэффициент гармоник;
- действие автоматической регулировки усиления (АРУ), уровень фона.

Кроме основных параметров к современным радиоприемникам предъявляется ряд технических требований, входящих в перечень параметров, обязательно устанавливаемых техническими условиями (ТУ) на каждый конкретный тип приемника. Наиболее важными из них являются:

- максимальная чувствительность;
- стабильность настройки приемника;
- действие автоматической подстройки частоты гетеродина (АПЧ);
- потребление электроэнергии;
- максимальная выходная мощность и др.

Диапазон принимаемых частот определяет границы перестройки приемника в диапазонах длинных, средних, коротких и ультракоротких волн. Эти границы определены ГОСТ 5651-76 и соответственно равны:

ДВ: 150–408 кГц (2000,0–735,3 м);

СВ: 525–1605 кГц (571,1–186,9 м);

КВ: 3,95–12,1 МГц (75,9–24,8 м);

УКВ: 65,8–73 МГц (4,56–4,11 м).

Чувствительность радиоприемника является параметром, который позволяет оценить возможность приемника принимать слабые сигналы радиостанций. Различают максимальную и реальную чувствительность приемника.

Реальная чувствительность определяет минимальный уровень входного сигнала, при котором обеспечивается стандартная (испытательная) выходная мощность при заданном соотношении напряжения входного сигнала к напряжению шумов. Для отечественных приемников испытательная выходная мощность принята равной 50 или 5 мВт, в зависимости от класса приемни-

ка. Заданное соотношение сигнал-шум при измерении реальной чувствительности приемника в диапазонах ДВ, СВ, КВ – не менее 20 дБ, на УКВ – не менее 26 дБ.

Максимальная чувствительность – это чувствительность, ограниченная усилением. Она определяет такой минимальный уровень сигнала, при котором обеспечивается стандартная (испытательная) выходная мощность при установке всех органов управления приемника в положения, соответствующие максимальному усилению.

Чувствительность радиоприемника зависит от многих факторов:

- усилительных свойств каждого из всех каскадов тракта приемника,
- уровня собственных шумов,
- ширины полосы пропускания и др.

Избирательность характеризует способность приемника выделять полезный сигнал из множества других сигналов, одновременно поступающих на его вход. При этом выделение сигнала осуществляется благодаря различию частот сигнала и помехи по частоте. Для радиовещательных приемников нормируются избирательности по соседнему и зеркальному каналам и относительно помехи, частота которой равна промежуточной. В диапазонах ДВ и СВ избирательность по соседнему каналу оценивается ухудшением чувствительности приемника на частоте, отличающейся от настройки приемника на ± 9 кГц. До введения ГОСТ 5651-76 избирательность по соседнему каналу измерялась при расстройке ± 10 кГц. Такая расстройка принята исходя из того, что в современной системе радиовещания в диапазонах ДВ и СВ несущие частоты соседних радиовещательных станций разнесены между собой на 9 кГц.

Избирательность по соседнему каналу определяется в основном трактом промежуточной частоты и в пределах диапазона изменяется незначительно.

Избирательность по зеркальному каналу определяет ослабление радиоприемником мешающего сигнала. Этот мешающий сигнал отстоит от принимаемого сигнала на удвоенное значение промежуточной частоты. Селективные (избирательные) свойства радиоприемника по зеркальному каналу определяются резонансными свойствами избирательных цепей до преобразователя частоты (входных цепей, УВЧ).

Избирательность по промежуточной частоте определяет ослабление приемником мешающего сигнала, частота которого равна промежуточной частоте приемника. Величины промежуточных частот приемников определены ГОСТ 5651-76. Работа радиостанций на этих частотах запрещена. Однако в ряде случаев гармоники радиостанций могут совпадать с промежуточной частотой приемника. При этом они могут быть сильными помехами при приеме других радиостанций.

В связи с этим возникает необходимость оценки канала передачи информации.

14.2. Канал передачи информации между абонентами радиосети и его качественные показатели

Каналом передачи называют совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщений от источника информации до потребителя.

Качество различных каналов передачи может оцениваться прямыми и косвенными методами.

Прямыми названы методы, позволяющие оценить принимаемые сообщения при сравнении их с исходными. К ним относятся метод определения эквивалента затухания по разборчивости, рекомендованный МККТТ для телефонной связи, метод сравнения эталонных таблиц для телевизионной и факсимильной связи и т. д.

Прямые методы наиболее полно определяют качество каналов передачи. Однако, пользуясь только этими методами, очень трудно определить необходимые мероприятия по улучшению качественных показателей каналов, поэтому их заменяют или дополняют косвенными.

Косвенные методы дают возможность характеризовать канал передачи шириной полосы пропускания, уровнями передачи, динамическим диапазоном, диаграммой уровней, АЧХ, ФЧХ, частотой ошибок за определенный интервал времени. Эти характеристики позволяют судить о состоянии канала и аппаратуры. По рассматриваемым характеристикам легко обнаружить ту составную часть аппаратуры или канала, которая нуждается в улучшении.

Качество речи – параметр, характеризующий субъективную оценку звучания речи в испытуемой системе низкоскоростной передачи речи, выраженную в баллах по пятибалльной шкале или в процентах предпочтения при сравнении с эталонным трактом

Эталонный тракт – это тракт, показатели качества, речи которого известны и с которым сравнивают оцениваемую систему низкоскоростной передачи речи.

К низкоскоростным системам относят системы передачи речи, в которых речевой сигнал в цифровой форме передается со скоростью от 0,6–0,8 до 16 кбит/с вместо стандартной скорости цифрового потока 64 или 32 кбит/с.

При этом, в зависимости от метода обработки речевого сигнала и скорости цифрового потока, обеспечивается большой диапазон градаций разборчивости и качества переданной речи в соответствии с ГОСТ Р 50840.

Данный стандарт распространяется на тракты (аппаратуру) телефонной проводной и радиосвязи, в которых используется аналоговый речевой сигнал, а также на устройства, содержащие преобразователи речевого сигнала в цифровую форму, синтезаторы речи, и устанавливает нормы качества передачи (воспроизведения) речи и методы измерений:

- разборчивости речи методом артикуляционных измерений;
- разборчивости речи методом артикуляционных измерений по таблицам неполных слогов (метод дописывания);
- качества речи методом парных сравнений испытуемого и контрольного трактов;

- качества речи методом оценки величины заметности искажений селективных признаков;
- разборчивости, качества речи и узнаваемости голоса диктора методом парных сравнений;
- фразовой разборчивости в испытуемом тракте при ускоренном в 1,4–1,6 раза по сравнению с нормальным темпом произнесения.

В настоящем стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Разборчивость речи – относительное количество правильно принятых элементов (слов, слов, фраз) из артикуляционных таблиц выраженное в процентах.

Качество речи – величина, характеризующая субъективную оценку звучания речи в испытуемом тракте:

- по сравнению со звучанием в контрольном тракте, по пятибалльной системе;
- по сравнению со звучанием речи в другом тракте (в процентах предпочтения).

Узнаваемость голоса диктора – величина, характеризующая степень сохранения субъективно воспринимаемых индивидуальных признаков голоса диктора в испытуемом тракте.

Селективные признаки – специфические субъективно воспринимаемые характеристики звучания речи:

- **картавость** – искажение сонорных «л», «р»;
- **плаксивость** – дрожание основного тона;
- **гнусавость** – звучание речи с излишней назализацией («произношение в нос»);
- **механический голос** – монотонность речи, потеря естественности звучания речи;
- **дребезжание, хрип** – неровный, резкий и прерывистый звук;
- **помеха** – шум и призвуки в речевых паузах.

Нормальный темп речи – чтение вслух печатного текста со скоростью около 4 слогов (8 звуков) в секунду.

Ускоренный темп речи – то же со скоростью около 6 слогов (12 звуков) в секунду.

При выполнении измерений должны быть применены измерительные системы, испытательное оборудование и специальные средства измерений, контрольный тракт – телефонный канал с эффективной полосой пропускания частот 300–3400 Гц, и оконечное оборудование с электроакустическими характеристиками, соответствующими телефонному аппарату класса 0. Также допускается использование дополнительного оборудования – ПЭВМ с устройством ввода-вывода речевой информации, пакет программ по оценке КАЧЕСТВА РЕЧЕВОЙ СВЯЗИ («КРЕС») или аналогичный для автоматизации методов измерений, обработки данных и оформления протоколов, набор носителей информации с речевыми тестами и слоговыми артикуляционными таблицами.

Измерения должны проводиться в нормальных климатических условиях. Уровень и форма спектра акустического шума в помещении для испытаний

должны быть указаны в технических условиях на испытуемый тракт (аппаратуру) конкретного типа. При отсутствии указаний испытания проводят при уровне шума не более 50 дБ.

Измерения проводит бригада операторов (дикторы и аудиторы), не имеющих явных дефектов речи и слуха.

Измерения разборчивости речи проводит бригада в возрасте от 18 до 30 лет, в составе которой должно быть не менее трех дикторов (двух мужчин и одной женщины) и трех аудиторов. Состав бригады аудиторов произвольный. Аудиторы могут быть дикторами.

Измерения качества речи и узнаваемости диктора по голосу проводит бригада, в которой должно быть не менее 5 дикторов (трех мужчин и двух женщин) и 15 аудиторов. Состав бригады аудиторов произвольный. Аудиторы могут быть дикторами.

Для проведения государственных испытаний тракта (аппаратуры) рекомендуется формировать новую бригаду аудиторов.

При подготовке к проведению измерений речевой тест (фразы или таблицы) подается на вход испытуемого тракта (аппаратуры) и записывается с выхода тракта на магнитофон или вводится в память ПЭВМ.

Чтение тестового материала осуществляется через штатное абонентское оконечное оборудование испытуемого тракта (аппаратуры) или при его отсутствии через оконечное телефонное оборудование с электроакустическими характеристиками, соответствующими телефонному аппарату класса 0.

Результаты измерений должны быть оформлены протоколом, в соответствии с таблицей 21.

Таблица 21 – Классы качества и нормы разборчивости речи

Класс качества	Характеристика класса качества	Норма слоговой разборчивости речи для трактов с параметрическим компандированием, %	Норма слоговой разборчивости речи для трактов с кодированием волны речевого сигнала, %
Высший	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	>93	>80
I	Понимание передаваемой речи без затруднений	86–93	56–80
II	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	76–85	41–55
III	Понимание передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, редкими переспросами и повторениями	61–75	25–40
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением, частыми переспросами и повторениями	45–60	<25

Примечание: Более полную информацию по проведению государственных испытаний тракта (аппаратуры) можно получить изучив ГОСТ Р 50840 воспользовавшись ссылкой <https://docs.cntd.ru/document/1200027288>

14.3. Общие понятия сети транкинговой связи

Сети транкинговой связи до некоторой степени близки к сотовым сетям, поскольку это также сети наземной подвижной связи, в первую очередь – радиотелефонной, обеспечивающие неограниченную мобильность абонентов в пределах достаточно большой зоны обслуживания. Основное отличие состоит в том, что СТС проще по принципам построения и предоставляют абонентам меньший набор услуг, но за счет этого они дешевле сотовых. СТС имеют значительно меньшую емкость, чем сотовые, и принципиально не могут стать системами массовой мобильной связи.

Название транкинговой связи происходит от английского trunk (ствол) и отражает то обстоятельство, что ствол связи в такой системе содержит несколько физических (как правило, частотных) каналов, каждый из которых может быть предоставлен любому из абонентов системы. Указанная особенность отличает СТС от предшествовавших ей систем двухсторонней радиосвязи, в которых каждый абонент имел возможность доступа лишь к одному каналу, но последний должен был поочередно обслуживать ряд абонентов. СТС в сравнении с такими системами обладают значительно более высокой емкостью (пропускной способностью) при тех же показателях качества обслуживания.

Если использовать аналогию с сотовой связью, то в простейшем случае СТС – это одна ячейка сотовой системы, но при несколько специфическом наборе услуг. Сотовая сеть всегда строится в виде множества ячеек, замыкающихся на общий центр коммутации (ЦК), с передачей обслуживания из ячейки в ячейку по мере перемещения абонента. При необходимости наращивания емкости сотовой сети производится дополнительное дробление ячеек с соответствующей модификацией частотного плана (распределения частот по ячейкам). В сети транкинговой связи рассчитанной на функционирование с ограниченной емкостью, обычно стремятся предельно увеличить зону действия. Практически радиус ячейки СТС может достигать 40–50 км и более. Отсюда вытекает большая по сравнению с сотовой связью мощность передатчика, больший расход энергии источника питания, большие габариты и масса абонентского терминала.

Даже, если СТС строится в виде нескольких ячеек (многозонавая система), это делается в первую очередь ради расширения зоны действия, а не ради повышения емкости, и размеры ячеек (зон) остаются достаточно большими. Централизованное управление совокупностью зон остается при этом ограниченным, как и передача обслуживания из зоны в зону, которая, если она вообще реализуется, приводит к кратковременному прерыванию связи.

Основное применение СТС – корпоративная (служебная, ведомственная) связь, например, оперативно-технологическая связь на железнодорожном транспорте, оперативная связь пожарной службы с числом выходов (каналов) «в город», значительно меньшим числа абонентов системы.

Основными требованиями, предъявляемыми абонентами и операторами к профессиональным СТС, являются:

- обеспечение связи в заданной зоне обслуживания независимо от местоположения мобильных (подвижных) абонентов (МА);
- возможность взаимодействия отдельных групп абонентов и организации циркулярной связи;
- оперативность управления связью, в том числе на различных уровнях; обеспечение связи через центры управления;
- возможность приоритетного установления каналов связи;
- низкие энергетические затраты подвижной станции (ПС);
- конфиденциальность разговоров.

Для повышения пропускной способности обычно накладываются ограничения на длительность разговора, а специфика корпоративной связи находит отражение в системе приоритетов пользователей, учитываемых при предоставлении канала связи в условиях очереди, и в объединении абонентов в группы с возможностью диспетчерского вызова одновременно всех абонентов группы. Та же специфика обуславливает более высокие в среднем по сравнению с сотовой связью требования к оперативности и надежности установления связи. Кроме информации речи в СТС возможна передача и некоторых других видов информации, в частности, цифровой – управления, телеметрии, охранной сигнализации и др.

Общей тенденцией развития профессиональных систем подвижной радиосвязи является переход от аналоговых стандартов к единым международным цифровым стандартам, обеспечивающим конфиденциальность и повышенное качество связи, более эффективное использование частотного диапазона, роуминг для всех абонентов и возможность передачи данных с высокой скоростью.

14.4. Классификация сетей транкинговой связи

Транкинговые системы связи (ТСС) классифицируют по следующим признакам.

- *По методу передачи речевой информации:* аналоговые и цифровые. Передача речи в радиоканале аналоговых систем осуществляется с использованием частотной модуляции, шаг сетки частот обычно составляет 12,5 кГц или 25 кГц. Для передачи речи в цифровых системах используются различные типы вокодеров, преобразующих аналоговый речевой сигнал в цифровой поток со скоростью не более 4,8 кбит/с.
- *В зависимости от количества БС и общей архитектуры:* однозоновые или многозоновые системы. В системах первого типа имеется одна БС, в системах второго типа – несколько БС с возможностью роуминга.
- *По методу объединения БС в многозоновых системах.* БС могут объединяться с помощью единого коммутатора (системы с централизованной коммутацией), или соединяться друг с другом непосредственно, или через СОП (системы с распределенной коммутацией).
- *По типу многостанционного доступа:* FDMA, FDMA+TDMA. В большинстве ТСС используется многостанционный доступ с частотным разделением (FDMA), включая цифровые системы. Комбинация FDMA и

многостанционного доступа с временным разделением (ТОМА) используется в системах стандарта TETRA, а также является дополнительной возможностью системы EDACS ProtoCALL.

- *системы.* В СДУ процедуру поиска свободного канала выполняют абонентские радиостанции (АР). В этих системах ретрансляторы (РТ) БС обычно не связаны друг с другом и работают независимо. Особенностью СДУ является относительно большое время установления соединения между абонентами, растущее с увеличением числа РТ. Такая зависимость вызвана тем, что АР вынуждены непрерывно последовательно сканировать каналы в поисках вызывного сигнала (последний может поступить от любого РТ) или свободного канала (если абонент сам посылает вызов). Представителями данного класса являются системы стандарта SmartTrunk.

В СЦУ поиск и назначение свободного канала производится на БС. Для обеспечения нормального функционирования таких систем организуются каналы двух типов: рабочие (трафика) и управления. По этому каналу БС извещает абонентские устройства о назначении канала, отклонении запроса, или о постановке запроса в очередь.

- *По типу канала управления (КУ).* Во всех ТСП каналы управления являются цифровыми. По принципу действия КУ можно выделить три типа:
 - сканирующие протоколы управления передачей ТСП;
 - ТСП с распределенным управляющим каналом;
 - ТСП с выделенным управляющим каналом.

Рассмотрим подробнее каждый из типов КУ.

Сканирующие ТСП

Подобные системы несправедливо именуют псевдотранкинговыми. В таких системах радиостанция при вызове сама ищет незанятый канал и занимает его. В дежурном режиме радиостанция непрерывно перебирает (сканирует) все каналы системы, проверяя, не вызывают ли ее на одном из них. К таким ТСП относится система SmartTrunk II.

Сканирующие ТСП просты и дешевы. В этих системах возможна полная независимость каналов друг от друга. Это обусловлено тем, что их объединение в общую ТСП происходит на уровне абонентской радиостанции, что обеспечивает высокую надежность и живучесть сканирующих ТСП.

Однако таким ТСП присущ ряд принципиальных недостатков. С ростом количества каналов быстро возрастает длительность установления соединения в такой системе, так как она не может быть меньше длительности полного цикла сканирования. Реально к этому добавляется еще и длительность поиска свободного канала вызывающей радиостанции. Кроме того, в сканирующих ТСП затруднительна реализация многих современных требований, в числе которых многозоновость, гибкая и надежная система приоритетов, постановка на очередь при занятости системы или вызываемого абонента и т. д.

Таким образом, сканирующие транкинговые системы связи идеально подходит в качестве небольшой (1-8 каналов, до 200 абонентов) однозоновой си-

стемы связи, к которой предъявляются минимальные требования. Это и обусловило в последние годы широкое распространение систем SmartTrunk II по России и странам СНГ.

ТСР с распределенным управляющим каналом

Представителем транкинговой системы радиосвязи с распределенным управляющим каналом, являются распространенная в США система LTR. Данная система была разработана еще в конце семидесятых годов фирмой E.F. Johnson, и ее современная модификация ESAS (фирма UNIDEN). В этих ТСР управляющая информация передается непрерывно по всем каналам, в том числе и занятым. Это достигается использованием для ее передачи частот ниже 300 Гц. Каждый канал является управляющим для радиостанций, закрепленных за ним. В дежурном режиме радиостанция прослушивает свой управляющий канал. В этом канале БС непрерывно передает номер свободного канала, который радиостанция может использовать для передачи. Если же на каком-либо канале начинается передача, адресованная одной из радиостанций, то информация об этом передается на ее управляющем канале, в результате чего эта радиостанция переключается на канал, где происходит вызов.

Такие ТСР обладают рядом достоинств, присущих ТСР с управляющим каналом, не требуя в то же время выделения частот для него. В системе LTR установление соединения происходит настолько быстро, что оно осуществляется каждый раз при включении передатчика станции, т. е. в паузах разговора канал не занят.

Однако при выходе из строя какого-либо канала в системе LTR происходит отказ всех радиостанций, для которых он является управляющим. Кроме того, скорость передачи управляющей информации в данных ТСР крайне ограничена.

Это затрудняет реализацию многих требований, предъявляемых к современным требованиям к ТСР, в том числе и многозоновости. Передача информации на частотах ниже 300 Гц одновременно с речью делает такие системы весьма критичными к точности регулировки. Все это привело к тому, что ТСР с распределенным управляющим каналом в настоящее время не разрабатываются. Исключение составляет лишь ESAS, в котором используется данный принцип ради совместимости с LTR.

ТСР с выделенным управляющим каналом

Для аналоговых систем речь идет о частотном канале, для цифровых – о временном разделении каналов – о временном слоте. В таких ТСР радиостанция непрерывно прослушивает управляющий канал ближайшей к ней БС. При поступлении вызова БС передает информацию об этом по управляющему каналу, вызываемая радиостанция подтверждает прием вызова, после чего БС выделяет один из разговорных каналов для соединения и информирует об этом по управляющему каналу все участвующие в соединении радиостанции. Далее – БС переключаются на указанный канал и остаются на нем до окончания соеди-

нения. В то время, когда управляющий канал свободен, радиостанции могут передавать свои запросы на установление соединения. Некоторые типы вызовов (например, передача коротких пакетов данных между радиостанциями) могут осуществляться вообще без занятия разговорного канала.

ТСР с выделенным управляющим каналом в наибольшей степени отвечает современным требованиям. В них легко реализуются многозоновость (радиостанция выбирает БС с лучше всего принимаемым управляющим каналом) и другие функции (в т. ч. постановка вызовов на очередь при занятости системы или вызываемого абонента), что переводит такие ТСР из класса систем с отказом при занятости в класс систем с ожиданием. Тем самым не только повышается комфортность работы пользователя, но и, главное, увеличивается пропускная способность системы. В системах с отказом при занятости, для обеспечения приемлемого качества сервиса в любой момент времени должен простаивать хотя бы один канал, чтобы абонент мог произвести вызов. В системе с ожиданием могут быть загружены все каналы – вызываемому абоненту придется немного подождать в очереди.

Однако выделение отдельного управляющего канала имеет свои недостатки. Во-первых, это худшее использование частотного ресурса. В большинстве систем этот недостаток смягчается возможностью перевода управляющего канала в разговорный режим при перегрузке системы. Во-вторых, выделенный управляющий канал является уязвимым местом ТСР – при отсутствии специальных мер отказ оборудования БС для этого канала означает отказ всей БС. К тому же результату приводит и появление помехи на частоте приемника управляющего канала БС. По этой причине при разработке ТСР с выделенным управляющим каналом автоматическому контролю работы оборудования БС уделяется особое внимание. При обнаружении отказа или длительной помехи на частоте приема БС делает управляющим другой, исправный канал.

Выделенный управляющий канал предусматривается большинством современных стандартов на ТСР – как закрытых, так и открытых (МРТ1327), а также перспективным стандартом TETRA.

По способу удержания канала ТСР позволяют абонентам удерживать канал связи на протяжении всего разговора или только на время передачи.

Первый способ, называемый также *транкингом сообщений*, наиболее традиционен для систем связи и обязательно используется во всех случаях применения дуплексной связи или соединения с ТфОП.

Второй способ может быть реализован только при использовании полудуплексных радиостанций (РС), в которых передатчик включается только на время произнесения абонентом фраз разговора. В паузах между окончанием фраз одного абонента и началом ответных фраз другого передатчики РС выключены. Значительная часть ТСС эффективно использует такие паузы, освобождая канал немедленно после окончания работы передатчика АР. Реплики одного и того же разговора могут передаваться по разным каналам. Такой метод обслуживания, предусматривающий удержание канала только на время передачи, называется *транкингом передачи*. Платой за высокую эффективность

данного метода служит снижение комфортности переговоров – в состоянии высокой нагрузки канал предоставляется с некоторой задержкой, что приводит к фрагментарности и раздробленности разговора.

14.5. Разновидности транкинговых систем

Существует несколько базовых разновидностей транкинговых систем.

Без канала управления. В этом случае свободный канал «помечается» специальным сигналом – маркером. Центральная станция такой системы периодически передает определенную последовательность, автоматически распознаваемую станцией абоненты. В случае вызова радиостанция занимает любой из свободных каналов. Все это происходит незаметно для пользователя – не нужно беспорядочно нажимать клавиши и прислушиваться к шумам эфира.

К таким системам относятся SmarTrunk II фирмы «SmarTrunk System inc.» и Larcet фирмы «CES».

Достоинства таких систем – это дешевое базовое и периферийное оборудование, простота установки и эксплуатации.

Недостатки этих систем:

- при увеличении количества каналов и загрузки системы существенно увеличивается время поиска свободного радиоканала для установления связи;
- время установления связи больше, чем у других систем;
- невозможность создания многозоновых систем;
- сокращенный набор функций и сервиса.

Вторая разновидность транкинговых систем имеет канал управления. Присутствие его сводит к минимуму время ожидания соединения. В этом случае система сама определяет наличие незанятых каналов и переключает на них станцию абонента.

Многие крупнейшие компании используют при построении сети управление на основе выделенного канала. В этом случае микропроцессорный блок управления контролирует все базовые станции в зоне обслуживания. Один из каналов выделяется для использования исключительно в целях управления и представляет собой своеобразное «руководящее звено» данной системы. Его основная функция – установления соединения между двумя абонентами сети.

Работа этой системы осуществляется следующим образом. Предположим, что диспетчер хочет выйти на связь со всеми пользователями какой-то группы, например, транспортного отдела. Он нажимает кнопку, после чего передатчик центральной станции посылает короткую последовательность цифровых данных. Эти данные однозначно определяют вызываемое устройство и вводят в центральный системный контроллер заявку на использование канала. По ее получении определяется свободный канал и посылает всем пользователям интересующей диспетчера группы соответствующее сообщение. Пользователи автоматически переключаются на выбранный контроллером канал. Пользователи

других групп при этом продолжают сканирование выделенного контрольного канала.

К системам с выделенным каналом управления относятся SmartNet, Smart-Zone фирмы Motorola и все системы, построенные на основе протокола MPT 1327 – ACCESSNET, ActioNet, TaitNet.

У таких систем наличие выделенного канала управления увеличивает общее количество радиоканалов системы.

При использовании выделенного канала управления все запросы на доступ к системе осуществляются через этот канал. При этом максимальное использование ресурсов, обеспечиваемое методом АЛОНА, применяемом в системах с выделенным каналом управления, составляет около 37 %. В результате ресурсы системы ограничены даже при передаче по управляющему каналу коротких пакетов.

Система обрабатывает все поступающие запросы только последовательно. При увеличении загрузки и уменьшении числа свободных каналов время ожидания увеличивается экспоненциально.

Транкинговые системы без выделенного контрольного канала. В системах такого рода в место специально выделенного канала используется один из приемопередатчиков центральной станции. За той или иной группой жестко закрепляется один из каналов, который он не занял. В противном случае блок управления (контроллер), распределяющий каналы системы, переключает пользователя на любой свободный. Если заняты все каналы, аппарат сообщает об этом при попытке начать сеанс связи.

Постоянное обновление информации достигается посредством того, что не занятый в сеансе связи приемопередатчик с определенной частотой передает короткие пакеты данных закрепленным за ним мобильным устройствам и центральным станциям. Таким образом, постоянно имеется информация о свободных на данный момент каналах. Эти данные используются при автоматическом переключении устройств.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите об основных параметрах, характеризующих качество радиоприемного тракта.
2. Расскажите о каналах передачи информации между абонентами радиосети и их качественных показателях.
3. Расскажите об общих понятиях сети транкинговой связи.
4. Расскажите о классификации сетей транкинговой связи.
5. Охарактеризуйте сканирующие транкинговые сети радиосвязи.
6. Охарактеризуйте ТСП с распределенным управляющим каналом.
7. Охарактеризуйте ТСП с выделенным управляющим каналом
8. Охарактеризуйте способы удержания канала ТСС, позволяющие абонентам удерживать канал связи на протяжении всего разговора или только на время передачи.
9. Охарактеризуйте разновидности транкинговых систем.

Глава 15.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНКИНГОВЫХ СЕТЕЙ

15.1. Принципы организации и схемные решения построения транкинговых сетей

На рис. 92 представлена обобщенная структурная схема однозоновой транкинговой системы связи (ТСС). В состав базовой станции (БС), кроме радиочастотного оборудования (ретрансляторы, устройство объединения радиосигналов, антенны) входят также коммутатор, устройство управления (УУ) и интерфейсы к различным внешним сетям.

Ретранслятор (РТ) – набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот. До последнего времени в подавляющем большинстве ТСС одна пара несущих означала один канал трафика (КТ). В настоящее время, с появлением систем стандарта TETRA и системы EDACS ProtoCALL, предусматривающих временное уплотнение, один РТ может обеспечить два или четыре КТ.

Антенны БС, как правило, имеют круговую диаграмму направленности. При расположении БС на краю зоны применяются направленные антенны. БС может располагать как единой приемопередающей антенной, так и отдельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте может размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков на нескольких частотных каналах. РТ работают только в дуплексном режиме, разнос частот приема и передачи составляет от 45 МГц до 3 МГц.

Коммутатор в однозоновой ТСС обслуживает весь ее трафик, включая соединение мобильного абонента (МА) с телефонной сетью общего пользования (ТфОП) и все вызовы, связанные с ПД.

Устройство управления обеспечивает взаимодействие всех узлов БС. Оно также обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию вызывающих абонентов, ведение очередей вызовов, внесение записей в БД повременной оплаты. В некоторых системах УУ регулирует максимально допустимую продолжительность соединения с ТСС. Как правило, используются два варианта регулировки: уменьшение продолжительности соединения в заранее заданные часы наибольшей нагрузки, или адаптивное изменение в зависимости от текущей нагрузки.

Интерфейс к ТфОП реализуется ТСС различными способами. В недорогих системах (например, SmartTrunk) подключение производится по двухпроводной коммутируемой линии. Более современные ТСС имеют в составе интерфейса к ТфОП аппаратуру прямого набора номера DID (Direct Inward Dialing), обеспечивающую доступ к абонентам транкинговой сети с использованием стандартной нумерации АТС. Ряд систем использует ИКМ-соединение с аппаратурой АТС.

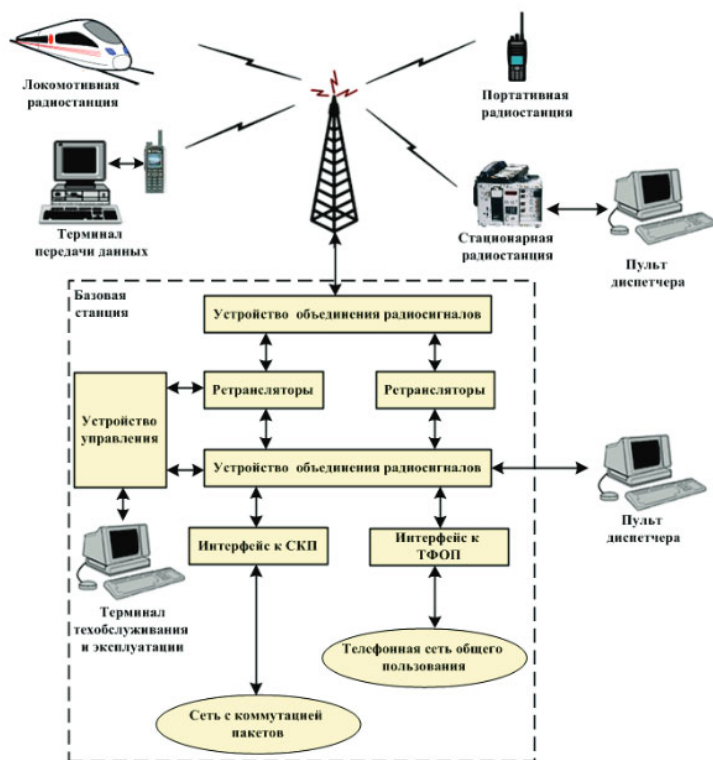


Рисунок 91 – Структурная схема однозоновой транкинговой системы

Одной из основных проблем при регистрации и использовании транкинговых систем в России является проблема их сопряжения с ТФОП. При исходящих вызовах транкинговых абонентов в телефонную сеть сложность заключается в том, что некоторые транкинговые системы не могут набирать номер в декадном режиме по абонентским линиям в электромеханических АТС. Таким образом, необходимо использовать дополнительное устройство преобразования тонального набора в декадный набор.

Входящая связь от абонентов ТФОП к радиоабонентам оказывается также проблематичной по ряду причин. Большинство транкинговых сетей сопрягаются с телефонной сетью по двухпроводным абонентским линиям или линиям типа Е&М. В этом случае после набора номера ТФОП требуется донабор номера радиоабонента. Однако после полного набора номера абонентской линии и замыкания шлейфа управляющим устройством транкинговой системы телефонное соединение считается установленным, и дальнейший набор номера в импульсном режиме затруднен, а в некоторых случаях невозможен. Применяемый

в системе SmarTrunk II детектор «щелчков» не гарантирует правильности импульсного донатора, так как качество приходящих из абонентской линии «импульсов-щелчков» зависит от ее электрических характеристик, длины и т. д.

Для выхода из сложившейся ситуации в лаборатории фирмы ИВП вместе со специалистами компании ELTA-R был разработан телефонный интерфейс (ТИ) ELTA 200 для сопряжения транкинговых систем связи разных типов с ТфОП. Такой интерфейс позволяет сопрягать транкинговые системы связи и ТфОП по цифровым каналам (2,048 Мбит/с), трехпроводным соединительным линиям с декадным набором номера, а также по четырехпроводным каналам ТЧ с системами сигнализации различных типов при сопряжении с ведомственными телефонными сетями.

Соединение с ТфОП является традиционным для ТСС, но в последнее время все более возрастает число приложений, предполагающих передачу данных (ПД), в связи, с чем наличие интерфейса к сети коммутации пакетов (СКП) также становится обязательным.

Терминал ТОЭ располагается, как правило, на БС. Терминал предназначен для контроля состояния системы, проведения диагностики неисправностей, тарификации, внесения изменений в БД абонентов. Большинство ТСС имеют возможность удаленного подключения терминала ТОЭ через ТфОП или СКП.

Необязательными, но характерными элементами ТСС являются диспетчерские пульта (ДП). ТСС используются в первую очередь потребителями, работа которых требует наличия диспетчера – службы охраны, скорая медицинская помощь, пожарная охрана, транспортные компании, муниципальные службы. ДП могут включаться в систему по абонентским радиоканалам, или подключаться по выделенным линиям непосредственно к коммутатору БС. В рамках одной ТСС может быть организовано несколько независимых сетей связи. Пользователи каждой из таких сетей не будут замечать работу соседей и не смогут вмешиваться в работу других сетей. Поэтому в одной ТСС могут работать несколько ДП, различным образом подключенных к ней.

Абонентское оборудование ТСС, включает в себя широкий набор устройств. Как правило, наиболее многочисленными являются полудуплексные РС, так как они в наибольшей степени подходят для работы в замкнутых группах. В основном это функционально ограниченные устройства, не имеющие цифровой клавиатуры. Их пользователи имеют возможность связываться лишь с абонентами внутри своей рабочей группы, а также посылать экстренные вызовы диспетчеру. Как правило, этого вполне достаточно для большинства потребителей услуг связи ТСС. Существуют и полудуплексные РС с широким набором функций и цифровой клавиатурой, но они, будучи существенно дороже, предназначены для более узкого круга абонентов.

В ТСС постепенно находит применение новый класс абонентских устройств – дуплексные РС, напоминающие сотовые телефоны, но обладающие значительно большей функциональностью по сравнению с последними. Дуплексные радиостанции ТСС обеспечивают пользователям не только соединение с ТфОП, но и возможность групповой работы в полудуплексном режиме.

Как полудуплексные, так и дуплексные транкинговые радиостанции (РС) выпускаются не только в портативном, но и в возимом исполнении. Как правило, выходная мощность передатчиков возимых РС выше.

Относительно новым классом устройств ТСС являются терминалы ПД. В аналоговых транкинговых системах связи терминалы ПД – это специализированные радиомодемы, поддерживающие соответствующий протокол радиointерфейса. Для цифровых систем более характерно встраивание интерфейса ПД в АР различных классов. В состав возимого терминала ПД часто включают спутниковый навигационный приемник системы Global Position System (GPS), предназначенный для определения текущих координат и последующей передачи их диспетчеру на пульт.

В ТСС используются также стационарные РС, преимущественно для подключения ДП. Выходная мощность передатчиков стационарных РС приблизительно такая же, как у возимых.

Архитектура многозоновых ТСС может строиться по двум принципам. Если определяющим фактором является стоимость оборудования, используется распределенная межзональная коммутация, показанная на рисунке 92.

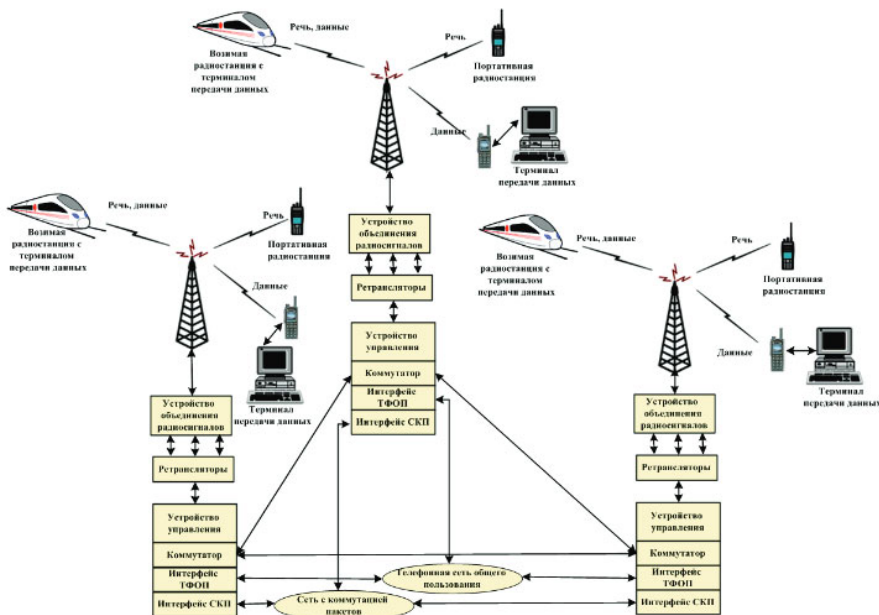


Рисунок 92 – Структурная схема транкинговой сети с распределенной межзональной коммутацией

Каждая БС в такой системе имеет свое собственное подключение к ТФОП. При необходимости вызова из одной зоны в другую он производится через интерфейс ТФОП, включая процедуру набора телефонного номера. Кроме того,

БС могут быть непосредственно соединены с помощью физических выделенных линий связи.

Использование распределенной межзональной коммутации целесообразно лишь для систем с небольшим количеством зон и с невысокими требованиями к оперативности межзональных вызовов, особенно в случае соединения через коммутируемые каналы ТфОП. В системах с высоким качеством обслуживания используется архитектура с ЦК. Структура многозоновой ТСС с ЦК изображена на рис. 93.

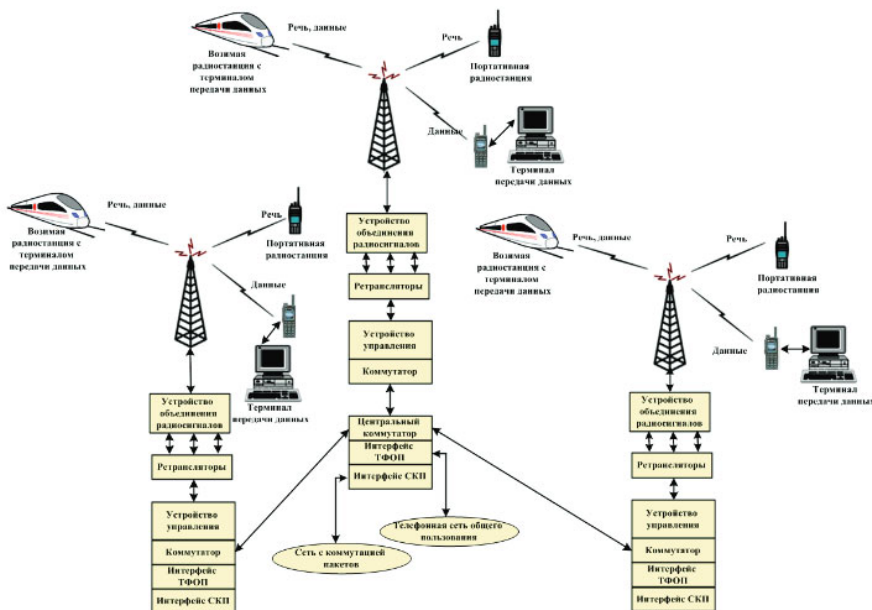


Рисунок 93 – Структурная схема многозоновой ТСС с ЦК

Основной элемент этой схемы – центральный или межзональный коммутатор. Он обрабатывает все виды межзональных вызовов, т. е. весь межзональный трафик проходит через один коммутатор, соединенный с БС по выделенным линиям. Это обеспечивает быструю обработку вызовов, возможность подключения централизованных ДП. Информация о местонахождении абонентов системы с ЦК хранится в единственном месте, поэтому ее легче защитить. Кроме того, межзональный коммутатор осуществляет также функции централизованного интерфейса к ТфОП и СКП, что позволяет при необходимости полностью контролировать как речевой трафик ТС, так и трафик всех приложений ПД, связанный с внешними сетями с коммутацией пакетов (СКП), например, Интернет. Таким образом, система с ЦК обладает более высокой управляемостью.

15.2. Услуги сетей транкинговой связи

Транкинговые сети связи характеризуются широким спектром услуг, обеспечивающих работу различного оборудования, а также поддержку сетей связи внутри этих систем. Наиболее важной и наиболее часто используемой услугой ТСС является услуга внутренних вызовов.

Внутренние вызовы

ТСС предоставляют абонентам возможность производить внутри системы индивидуальный (персональный) и групповой (диспетчерский) вызовы (ГВ). В первом случае вызов направляется только одному абоненту, во втором – нескольким абонентам одновременно.

Основным типом вызова в ТСС является ГВ в рамках одной группы (рис. 95). ГВ может быть произведен только в полудуплексном режиме – пока вызывающий абонент говорит и его радиостанция находится в режиме передачи, все остальные члены группы принимают речь вызывающего абонента. Данный тип вызова обеспечивают все известные ТСС.



Рисунок 94 – Групповой вызов в рамках одной группы

В большинстве ТСС предусмотрена возможность одновременного вызова абонентов нескольких групп. К числу таких вызовов относятся общий вызов, экстренный вызов (от диспетчера). В некоторых системах используется иерархическое вложение групп, и предусматриваются соответствующие типы вызовов: многоуровневый, многогрупповой и т. д. Как правило, право производить такие вызовы предоставляется только диспетчеру. Некоторые системы обеспечивают возможность соединения с произвольно выбранной группой, причем не только для абонента ТСС (рис. 95), но и для абонента ТфОП (рис. 96).

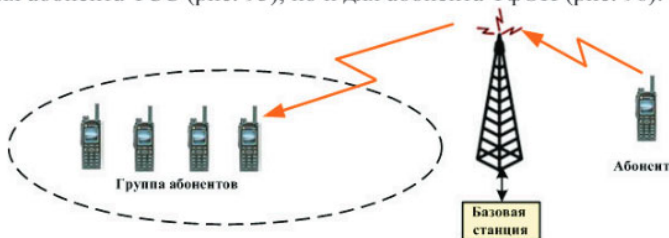


Рисунок 95 – Вызов произвольно выбранной группы

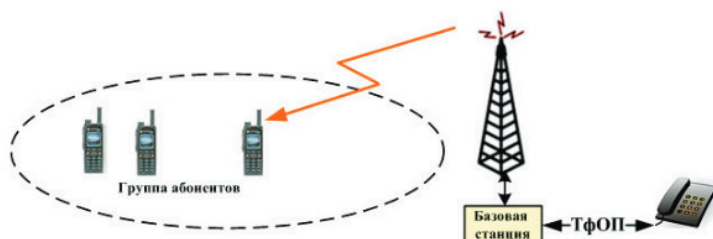


Рисунок 96 – Вызов группы из ТФОП

Персональный внутренний вызов (ВВ) (рис. 97) – является более привилегированным типом вызова. Для его отправки пользователь должен использовать РС с цифровой клавиатурой. Персональный ВВ может быть произведен не только в полудуплексном, но и в дуплексном режиме (если АР также являются дуплексными).

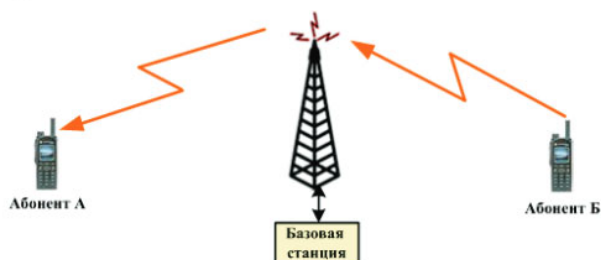


Рисунок 97 – Персональный вызов

Существует еще одна разновидность ВВ – *статусные вызовы*. Они служат заменой тривиальным репликам (таким как «вас понял», «повторите» и т. п.). Вместо речевого ответа абонент может нажать соответствующую функциональную кнопку, что вызовет передачу короткого цифрового сообщения. Применение статусных вызовов позволяет существенно уменьшить нагрузку системы.

Приоритетные вызовы

Многие ТСС предусматривают обработку вызовов с несколькими уровнями приоритета. Например, в системе DigiStar предусмотрено 10 уровней приоритета, в системе EDACS – 8 уровней. Разграничение приоритетов может использоваться в различных целях: предоставление привилегий отдельным абонентам или группам, а также оптимизация обработки трафика. В любом случае, влияние приоритетной обработки вызовов начинает сказываться только при высокой загрузке системы.

Оптимизация обработки трафика заключается в том, что вызовам абонентов, уже начавших и продолжающих разговор, присваивается более высокий приоритет, чем вызовам абонентов, только устанавливающих соединение. Таким образом, ценой некоторого увеличения времени на первое установление

соединения минимизируется продолжительность пауз в разговоре абонентов, что, в конечном счете, ведет к улучшению комфортности радиопереговоров.

Некоторые системы предусматривают наделение ряда абонентов правом вызова *сверхвысокого приоритета* или так называемого *вытесняющего вызова*. При поступлении такого вызова в ситуации, когда все ретрансляционные ресурсы заняты (т. е. в ситуации блокирования), одно из текущих соединений прерывается, а освободившийся ресурс отводится для обслуживания поступившего вызова со сверхвысоким приоритетом.

Существует еще один тип приоритетной обработки вызовов – предоставление так называемого *открытого канала*, заключающееся во временном переключении одного из каналов в монопольное владение одной группы абонентов. Это позволяет группе получить гарантированный и быстрый доступ к ретранслятору. Предоставление открытого канала является средством, используемым лишь в исключительных ситуациях и доступным для ограниченного круга пользователей.

Доступ к ТфОП

Как правило, доступ к ТфОП имеют лишь немногие абоненты ТСС. Вызов абонента ТфОП может быть произведен только с радиостанции (РС), имеющей цифровую клавиатуру. Для доступа к ТфОП лучше всего использовать дуплексную радиостанцию, поскольку сама ТфОП работает в дуплексном режиме. Практически все известные ТСС предоставляют возможность доступа к ТфОП с помощью полудуплексных радиостанций.

Абонент ТфОП может вызывать не только отдельного абонента ТСС, но и группу абонентов. Процедура вызова для абонентов ТфОП может быть двухступенчатой, если интерфейс ТфОП подключен к ТС с помощью двухпроводной коммутируемой линии. Также она может быть и одноступенчатой, при подключении интерфейса ТфОП по методу Direct ID. При двухступенчатой процедуре абонент ТфОП должен сначала набрать номер телефона, к которому подключен интерфейс ТфОП, а затем – номер абонента внутри ТСС.

Роуминг

В многозоновых ТСС осуществляется отслеживание текущего местоположения абонентов. При перемещении абонента из одной зоны в другую обеспечивается регистрация и назначение новых каналов доступа. В системах с распределенной коммутацией каждая БС самостоятельно осуществляет коммутацию поступающих вызовов. В системах с ЦК роуминг более надежен, а скорость обработки межзональных вызовов выше.

Для большинства ТСС характерно прерывание связи при перемещении абонента из одной зоны обслуживания в другую, связанное с отсутствием механизма эстафетной передачи (ЭП). Для продолжения разговора абонент вынужден повторять вызов. При полудуплексном режиме работы, когда каждая новая реплика передается с помощью отдельного вызова, межзональный переход практически незаметен. Так как требования пользователей ТСС растут, в новейших цифровых системах TETRA и EDACS ProtoCALL обеспечивается эстафетная передача.

Особенностью роуминга в ТСС является обслуживание многозональных групповых вызовов (ГВ). Отслеживая перемещения абонентов, система при поступлении ГВ обеспечивает его доведение до всех членов группы, в какой бы зоне они не находились.

Передача данных

В транкинговой системе связи передача данных является дополнительной службой, поэтому до последнего времени не получила развитых средств поддержки. Скорость ПД во всех аналоговых системах лежит в пределах 0,6–4,8 кбит/с. Как правило, аналоговые ТСС лишь предоставляют каналы для ПД, не обеспечивая сетевую маршрутизацию. Цифровые транкинговые системы связи предоставляют сервис не только канального, но и сетевого уровня, а в ряде случаев – и транспортного. Возможна поддержка наложенных сетей (например, IP-сетей). Пользовательская скорость ПД для цифровых систем может варьироваться в широких пределах. Например, стандарт TETRA предусматривает скорость до 28,8 кбит/с.

Оборудование БС или ЦК цифровых ТСС осуществляет также функции шлюза с внешними СПД, т. е. СКП. В функции шлюза входит конвертирование протоколов, включая взаимное преобразование адресов внутренней и внешней сетей, а также поддержание наложенной сети.

Режим непосредственной связи

В некоторых ТСС предусмотрена возможность непосредственной связи абонентов без участия ретранслятора. Этот режим используется в том случае, если один или несколько абонентов вышли из зоны действия всех ретрансляторов системы, как показано на рис. 98.

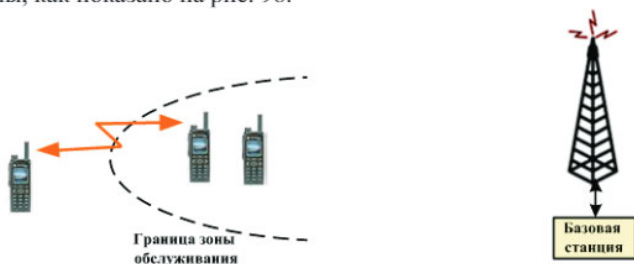


Рисунок 98 – Режим непосредственной связи

Тарификация

Оборудование ТСС позволяет вести учет и тарификацию (биллинг) соединений с получением подробной информации по каждому соединению. Происходит отображение следующих параметров:

- идентификаторы вызывающего и вызываемого абонентов,
- время и дата начала установления соединения,
- длительность соединения,
- тип вызова (индивидуальный, групповой и др.),
- категория приоритета (обычный приоритет, высокий и др.).

В ТСС могут задаваться несколько тарифных периодов для разных дней недели и времени суток.

Данные биллинга могут использоваться для документирования связи и предоставления счетов абонентам, а также для выявления попыток несанкционированного доступа (НСД).

Удаленное управление абонентскими радиостанциями

Ряд транкинговых систем предоставляет оператору возможность оперативного изменения параметров доступа абонентских радиостанций. Например, в системе EDACS можно дистанционно перепрограммировать сетевой идентификатор (ID), частоты каналов, а также переконфигурировать группы абонентов. Удаленное управление используется также в целях борьбы с попытками несанкционированного доступа.

Системы профессиональной радиосвязи характеризуются большим радиусом действия, поскольку, даже в простейшей ТСР, связь радиостанций между собой осуществляется через ретрансляторы базовой станции (БС). Кроме того, многозоновые ТСР имеют в своем составе несколько, от единиц до сотен, БС, каждая из которых обслуживает свою зону. При этом система установит соединение между радиостанциями независимо от их местоположения и, как правило, совершенно прозрачно для пользователей вызываемой и вызывающей радиостанций.

Кроме вызова группы радиостанций, имеется во всех современных протоколах управления передачей (ТСР), почти все системы обеспечивают индивидуальный вызов конкретной радиостанции. При этом многие ТСР обеспечивают разделение всего парка радиостанций на отдельные отряды.

Отряд – это совокупность радиостанций, принадлежащих определенной организации. Внутри отряда может осуществляться индивидуальный и групповой вызов. Предполагается, что вызовы между отрядами в большинстве случаев запрещены. Таким образом, каждая из организаций, пользующихся ТСР, может иметь как бы свою изолированную систему связи.

Как правило, ТСР обеспечивают связь радиостанции с абонентами городской и нескольких учрежденческих телефонных сетей, причем их подключение к таким сетям может осуществляться как простейшим способом по абонентским линиям (аналогично офисным АТС), так и по соединительным линиям. В последнем случае, с точки зрения нумерации абонентов, ТСР становится частью телефонной сети города или учреждения.

Доступ к каждому виду услуг, предоставляемых системой, обычно программируется индивидуально для каждого абонента. Кроме того, программируется предельное время разговора и приоритет абонента. ТСР имеют также защиту от несанкционированного доступа в систему. Все радиостанции, рассчитанные на работу в ТСР, имеют возможность переключения в режим обычной радиостанции.

В таблице 22 приведены характеристики некоторых ТСР, заложенные в стандарты. Оборудование ТСР зачастую позволяет расширить эти возможности (несколько банков каналов в SmartTrunkII, многозонавая работа в LTR и т. п.).

Таблица 22 – Основные характеристики ТСП

Характеристика	Стандарт ТСП			
	SmorTrunk II	LTR	MPT1327	TETRA
Способ передачи речи	Аналоговый	Аналоговый	Аналоговый	Цифровой
Структура системы	Однозоновая	Однозоновая	Многозоновая	Многозоновая
Принцип действия	Сканирующий	Распределенный управляющий канал	Выделенный управляющий канал	Выделенный управляющий канал
Скорость обмена управляющей информацией, бит/с	560	300	1200	7200
Время установления соединения, с	$0,8 + 0,2 \times N$ где N – число каналов	0,3	0,4	0,3
Количество каналов	16	300	1024	Нет данных
Количество абонентов или групп	10000	7500	1 000 000	Нет данных
Ширина полосы в эфире, кГц/канал	12,5; 25	12,5; 25	12,5; 25	25 кГц на 4 канала
Постановка на очередь	Нет	Нет	Да	Да
Индивидуальный вызов	Да	Нет	Да	Да
Передача коротких данных	Нет	Нет	Да	Да
Передача данных по разговорным каналам	С дополнительным оборудованием	С дополнительным оборудованием	1200 б/с, с дополнительным оборудованием	7,2–28,8 кб/с при занятии 1–4 каналов

Как следует из таблицы, наиболее впечатляющими возможностями обладает стандарт TETRA, что и неудивительно – он разработан с учетом опыта эксплуатации существующих стандартов ТСП.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте принципы организации и схемные решения построения транкинговых сетей.
2. Объясните построение архитектуры многозоновых ТСС.
3. Объясните понятие внутренние вызовы, и как они осуществляются.
4. Объясните понятие приоритетные вызовы, и как они осуществляются.
5. Расскажите, как осуществляется доступ к ТфОП.
6. Объясните понятие роуминг, и как осуществляется в ТСС.
7. Расскажите о режим непосредственной связи в ТСС.
8. Объясните понятие удаленное управление абонентскими радиостанциями.

Глава 16. ТРАНКИНГОВЫЕ СЕТИ СТАНДАРТА TETRA

16.1. Общая характеристика сетей стандарта TETRA

Система стандарта TETRA (трансевропейская система транкинговой связи) представляет собой совокупность спецификаций, разработанных ETSI и определяющих цифровую ТСС. Стандарт TETRA базируется на технической идеологии GSM.

Стандарт TETRA включает в себя две спецификации: TETRA Voice + Data (TETRA V+D) и TETRA Packet Data Optimized (TETRA PDO).

TETRA V+D – это стандарт на интегрированную систему передачи речи и данных.

TETRA PDO – стандарт, описывающий специальный вариант ТСС, ориентированный только на ПД.

Радиоинтерфейс стандарта TETRA предполагает работу в стандартной сетке частот с шагом 25 кГц. Для систем стандарта TETRA могут использоваться диапазоны от 150 МГц до 900 МГц, однако реально в странах Европы и России выделяются частоты в диапазонах частот 410–430 МГц, 870–876/915–921 МГц, или в диапазонах частот 450–470 МГц, 385–390/395–399,9 МГц. Дуплексный разнос для систем стандарта TETRA должен составлять 10 МГц.

В радиоканале используется относительная фазовая модуляция типа $\pi/4$ -DQPSK. Таким образом, каждому символу модуляции соответствует передача двух бит информации. Для преобразования речи в стандарте TETRA V+D используется кодек с алгоритмом CELP. Скорость цифрового речевого потока на выходе кодека составляет 4,8 кбит/с. До поступления на вход модулятора, к речевому потоку добавляется корректирующий код, после чего производится межблочное перемещение.

Полная пропускная способность одного канала в системе стандарта TETRA V+D составляет 7200 бит/с. Стандарт TETRA PDO обеспечивает передачу данных (ПД) со скоростью 28,8 кбит/с. ПД может производиться по схемам «точка – точка» и «точка – много точек». Кроме того, стандарт TETRA предусматривает поддержку протокола X.25 для пользовательских приложений. Наличие в стандарте спецификаций на шлюз с ISDN и PDN обеспечивает возможность взаимодействия с внешними системами передачи данных (СПД).

Спецификация стандарта TETRA не накладывает ограничений на архитектуру сети связи. Благодаря модульному принципу построения могут быть реализованы разнообразные конфигурации сетей с различной географической протяженностью.

Сети стандарта TETRA предполагают распределенную инфраструктуру управления и коммутации, обеспечивающую быструю передачу вызовов и сохранение локальной работоспособности системы при отказе ее отдельных эле-

ментов. Основными элементами сетей TETRA являются базовые и мобильные станции, устройства управления БС, контроллеры БС, ДП, терминалы ТОЭ.

Функции сетевого обслуживания и межсистемного взаимодействия определяются следующими специфицированными интерфейсами:

- Air Interface – радиоинтерфейс между БС и АР;
- Direct Mode Operation – интерфейс прямого соединения между двумя АР;
- Terminal Equipment Interface – интерфейс между АР и терминалом ПД;
- Inter System Interface – межсистемный интерфейс для объединения нескольких систем (возможно, разных фирм-изготовителей) в единую сеть;
- Line-connected Station Interface – интерфейс для подключения ДП к базовому оборудованию;
- Network Management Centre Interface – интерфейс для подключения ТОЭ;
- Gateways to PABX, PSTN, ISDN, PDN – интерфейс для подключения к УАТС, ТФОП, ЦСИС, СКП.

В стандарте TETRA предусматривается не только прямая связь между абонентскими радиостанциями (АР), но и использование АР в качестве ретранслятора (РТ) для расширения зоны обслуживания.

Как ранее уже отмечалось, в стандарте TETRA используется временное разделение каналов связи с временными информационными каналами, что позволяет обеспечить одновременную передачу четырех временных каналов на одной несущей частоте, т. е. во временной области на каждом частотном канале располагаются 4 временных интервала, которые являются физическими каналами связи.

В частотной области выделенный диапазон частот разделен на канальные полосы шириной 25 или 12,5 кГц.

Таким образом, система связи TETRA по эффективности использования частотного спектра в 4 раза превосходит узкополосные системы с частотным разделением каналов. Общая структура временных кадров показана на рис. 99.



Рисунок 99 – Временная структура физического канала

Передача сообщений осуществляется мультикадрами. Один мультикадр содержит 18 простых TDMA кадров и имеет длительность 1,02 с. Один TDMA кадр в мультикадре – контрольный. TDMA кадр содержит четыре пакета (слота), его продолжительность составляет 56,67 мс. Один пакет занимает временной интервал, равный 14,167 мс, и содержит 510 бит, 432 из них (два блока по 216 бит) относятся к информационному сообщению. В середине каждого пакета содержится синхропоследовательность SYNCH, которая применяется для временной синхронизации пакета как тестирующая, или обучающая последовательность для адаптивного канального эквалайзера в приемнике. В начале временного интервала передается пакет РА (управление излучаемой мощностью, 36 бит, 1 мс), за ним следует первый информационный блок (216 бит, 6 мс), далее – синхропоследовательность SYNCH (36 бит, 1 мс) и второй информационный блок (216 бит, 6 мс). Соседние временные интервалы разделяются защитными интервалами (GP) длительностью 0,167 мс, что соответствует 6 битам.

16.2. Состав оборудования сетей связи стандарта TETRA на железнодорожном транспорте

Функциональная схема построения транкинговой системы связи стандарта TETRA на железнодорожном транспорте представляется как совокупность элементов сети, соединенных определенными специфическими интерфейсами (рис. 100).

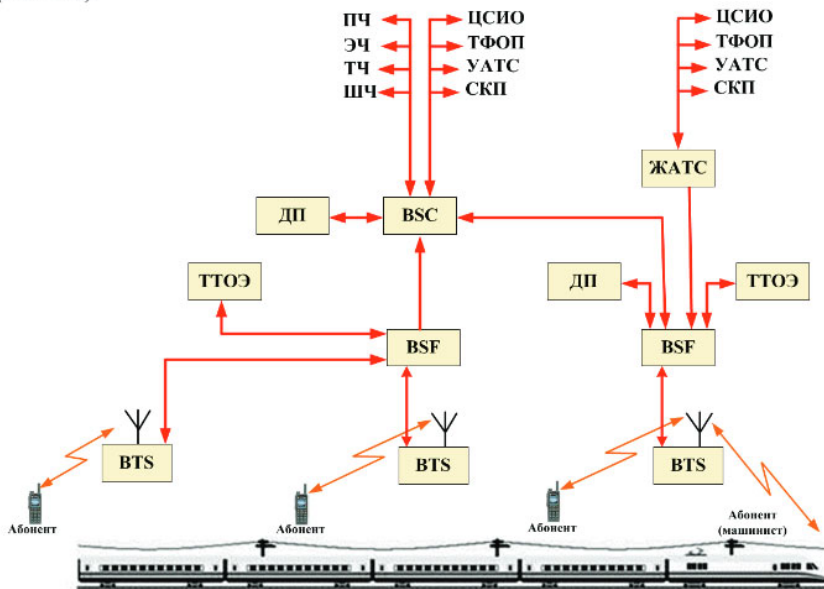


Рисунок 100 – Структурная схема цифрового стандарта TETRA

Сети стандарта TETRA содержат следующие основные элементы:

- базовая приемопередающая станция (BTS), обеспечивающая связь в определенной зоне. Базовая станция выполняет основные функции, связанные с передачей радиосигналов – сопряжение с мобильными станциями, шифрование линии связи, пространственно-разнесенный прием, управление выходной мощностью мобильных радиостанций, управление радиоканалами;
- устройство управления базовой станцией (BCF) – элемент сети с возможностями коммутации, который управляет несколькими базовыми станциями и обеспечивает доступ к внешним сетям:
- ISDN (ЦСИО) – цифровая сеть с интеграцией обслуживания,
- PSTN (ТФОП) – телефонная сеть общего пользования,
- PABX (УАТС) – для подключения к учрежденческому АТС,
- PDN (СКП) – сети с коммутацией пакетов, а также используются для подключения диспетчерских пультов и терминалов для эксплуатационного и технического обслуживания (ТОЭ);
- контроллер базовой станции (BSC) – элемент сети с большими по сравнению с устройством BCF коммутационными возможностями, позволяющий обмениваться данными между несколькими BCF. Так же, как и BCF обеспечивает доступ к внешним сетям. BSC имеет гибкую модульную структуру, позволяющую использовать большое число интерфейсов разного типа. В сетях TETRA, контроллеры базовых станций, могут выполнять функции сопряжения с другими сетями TETRA, и функции управления централизованными базовыми станциями;
- диспетчерский пульт – устройство, подключаемое к контроллеру базовой станции по проводной линии и обеспечивающее обмен информацией между оператором (диспетчером сети) и другими пользователями сети;
- мобильная станция (MS) – радиостанция, используемая подвижными абонентами;
- стационарная радиостанция (FRS) – радиостанция, используемая абонентом в определенном месте;
- терминал технического обслуживания и эксплуатации (ТОЭ) – терминал, подключаемый к устройству управления базовой станцией BCF и предназначенный для контроля состояния системы, проведением диагностики неисправностей, учета тарификационной информации, внесения изменений в базу данных абонентов и т. п. С помощью таких терминалов реализуется функция управления локальной сетью.

Система стандарта TETRA может функционировать в следующих режимах транкинговой связи с открытым каналом и непосредственной связи.

В режиме *транкинговой связи* обслуживаемая территория перекрывается зонами действия БС. Стандарт TETRA позволяет строить как системы с выделенным частотным каналом управления (КУ), так и с распределенным. При работе сети связи с выделенным каналом управления, приемопередающие станции предоставляют абонентам несколько частотных каналов, один из которых специ-

ально предназначается для обмена служебной информацией. При работе сети с распределенным каналом управления служебная информация передается либо в специально выделенном временном канале, одном из 4-х каналов, организуемых на одной частоте, либо в контрольном кадре мульти-кадра (одном из 18).

Каналы передачи сообщений могут выделяться в соответствии со следующими способами.

- *Транкинг сообщений.* Канал присваивается в начале сеанса связи и освобождается по его окончанию.
- *Транкинг передач.* Канал присваивается только на время одной транзакции (периода передача/прием), после чего он освобождается. Для следующей транзакции может быть выделен новый канал.
- *Квазитранкинг передач.* Канал так же, как и в транкинге передач освобождается после транзакции, однако с некоторой задержкой, что позволяет снизить количество сигналов управления.

В режиме с открытым каналом группа пользователей имеет возможность устанавливать соединение «точка – много точек» без установочной процедуры. Любой абонент, присоединившись к группе, может в любой момент использовать этот канал. В этом режиме РС работают в двухчастотном симплексе.

В режиме *непосредственной (прямой) связи* между терминалами устанавливаются двух- и многоточечные соединения по радиоканалам, не связанным с КУ сетью, без передачи сигналов через БС.

В системах стандарта TETRA мобильные станции могут работать в режиме «двойного наблюдения» (Dual Watch), при котором обеспечивается прием сообщений от абонентов, работающих как в режиме транкинговой, так и прямой связи.

В системах стандарта TETRA поддерживаются передача речи и данных. При этом речь и данные могут передаваться одновременно с одного терминала по различным логическим каналам.

Для передачи речи используются службы речевой связи, обеспечивающие следующие режимы:

- *речевая связь с индивидуальным вызовом абонентов* – это коммутируемое двухточечное соединение между двумя МА или между МА и стационарным терминалом для обеспечения прямой двухсторонней связи в режиме дуплекса или двухчастотного симплекса;
- *многосторонняя речевая связь*, предполагающая групповой вызов абонентов (коммутируемые многоточечные двунаправленные соединения между вызывающей стороной и несколькими вызываемыми абонентами при использовании симплексного режима связи);
- *циркулярная связь с широковещательным вызовом* – односторонняя передача речевой информации от вызывающей стороны нескольким вызываемым абонентам.

Все режимы речевой связи предусматривают возможность передачи, как открытой речевой информации, так и речи, защищенной с помощью определенных алгоритмов шифрования. В стандарте описываются следующие виды передачи данных (ПД):

- *ПД с коммутацией цепей*. Данный вид имеет режимы передачи, аналогичные речевому обмену, двухточечное и многоточечное соединение, широковещательная передача. Скорость обмена определяется числом временных интервалов, выделенных для связи, и классом защиты от ошибок;
- *коммутируемые пакеты данных* – транслируются по виртуальным цепям или в виде дейтаграмм. В первом случае возможны только двухточечные соединения, во втором – многоточечные соединения и широковещательная передача;
- *короткие сообщения* (до 2048 бит) – передаются оперативно независимо от передачи речи и данных.

Также TETRA предоставляет пользователям ряд дополнительных услуг:

- *вызов, санкционированный диспетчером* – режим, при котором вызовы поступают только с санкции диспетчера;
- *приоритетный доступ* используется, в случае перегруженности сети доступные ресурсы присваиваются, в соответствии со схемой приоритетов;
- *приоритетный вызов* – присвоение статуса вызовам в соответствии со схемой приоритетов;
- *избирательное прослушивание* – перехват поступающего вызова без влияния на работу других абонентов;
- *дистанционное прослушивание* – дистанционное включение АР на передачу для прослушивания обстановки у абонента;
- *динамическая перегруппировка* – динамическое создание, модификация и удаление групп пользователей;
- *идентификация вызывающей стороны* – возможность получения информации о персональном идентификаторе вызывающего абонента) и др.

Стандарт TETRA обеспечивает два уровня безопасности передаваемой информации:

- *стандартный уровень*, использующий шифрование радиointерфейса обеспечивается уровень защиты информации, аналогичный системе сотовой связи GSM;
- *высокий уровень*, использующий сквозное шифрование от источника до получателя.

Средства защиты радиointерфейса стандарта TETRA включают механизмы аутентификации абонента и инфраструктуры, обеспечения конфиденциальности трафика за счет потока псевдоимен и специфицированного шифрования информации. Определенная дополнительная защита информации обеспечивается возможностью переключения информационных каналов и КУ в процессе ведения сеанса связи.

16.3. Архитектура сети стандарта TETRA

Функциональные схемы построения различных ТСС стандарта TETRA представляются как совокупность элементов сети, соединенных определенными специфицированными интерфейсами. Сети стандарта TETRA содержат следующие основные элементы.

- *базовая приемопередающая станция (BTS)* – обеспечивает связь в определенной зоне (ячейке). Базовая станция выполняет основные функции, связанные с передачей радиосигналов – сопряжение с мобильной станцией (МС), шифрование линий связи, пространственно-разнесенный прием, управление выходной мощностью мобильных станций, управление радиоканалами;
- *устройство управления БС (BCF)* – элемент сети с возможностями коммутации, который управляет несколькими БС и обеспечивает доступ к внешним сетям ISDN, PSTN.PDN, PABX, а также используется для подключения ДП и терминалов ТОО;
- *контроллер БС (BSC)* – элемент сети с большими по сравнению с устройством BCF коммутационными возможностями, позволяющий обмениваться данными между несколькими BCF. Так же, как и BCF обеспечивает доступ к внешним сетям. BSC имеет гибкую модульную структуру, позволяющую использовать большое число интерфейсов разного типа. В сетях TETRA контроллеры БС могут выполнять функции сопряжения с другими сетями TETRA и управления централизованными БД;
- *ДП* – устройство, подключаемое к контроллеру БС по проводной линии и обеспечивающее обмен информацией между оператором (диспетчером сети) и другими пользователями сети;
- *мобильная станция (MS)*;
- *стационарная радиостанция (FRS – Fixed Radio Station)* – РС, используемая абонентом в определенном месте;
- *терминал ТОО* – терминал, подключаемый к УУ базовой станцией BCF и предназначенный для контроля состояния системы, проведения диагностики неисправностей, учета тарификационной информации и т. п. С помощью таких терминалов реализуется функция управления ЛС (LNM – Local Network Management).

Благодаря модульному принципу разработки оборудования, ТСС стандарта TETRA могут быть реализованы с разными иерархическими уровнями и различной географической протяженностью, включая локальные, и национальные сети. Функции управления БД и коммутации распределяются по всей сети, что обеспечивает быструю передачу вызовов и сохранение ограниченной работоспособности сети даже при потере связи с ее отдельными элементами, рис. 102.

На национальном или региональном уровне структура сети может быть реализована на основе сравнительно небольших подсетей TETRA, соединенных

друг с другом с помощью межсистемного интерфейса ISI для создания общей сети. Под подсетью обычно понимают автономную и самосогласующуюся сеть. При этом возможно централизованное управление сетью.

Каждая подсеть TETRA выполняет свои функции управления и коммутации, а также предоставляет возможность для централизованного управления сетью более высокого уровня. Структура подсети зависит от трафика, а также от требований к эффективности установления связи. Вариант сложной конфигурации подсети стандарта TETRA показан на рис. 101.

ТСС стандарта TETRA предусматриваются различные способы обеспечения отказоустойчивости, позволяющие в случае отказа отдельных элементов сети сохранять полную или частичную работоспособность, возможно, с ухудшением ряда параметров, таких как время установления соединения и т. д. Для сетей национального уровня, как правило, используется несколько альтернативных маршрутов соединения сетей регионального уровня, путем соединения контроллеров БС. Кроме этого, для региональных сетей предусматривается взаимное копирование БД в контроллерах БС.

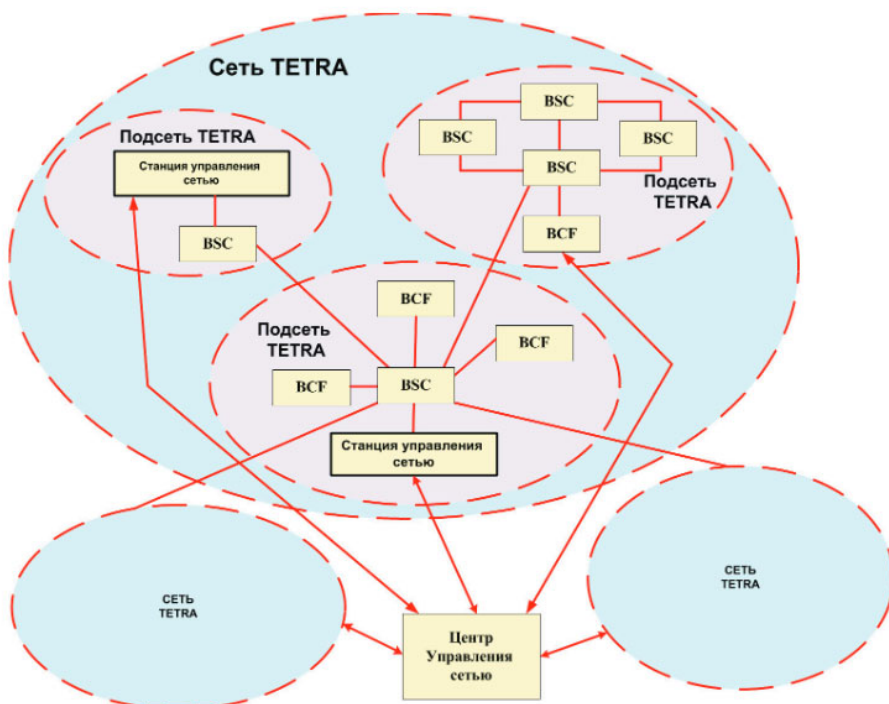


Рисунок 101 – Структура сети национального или регионального уровня

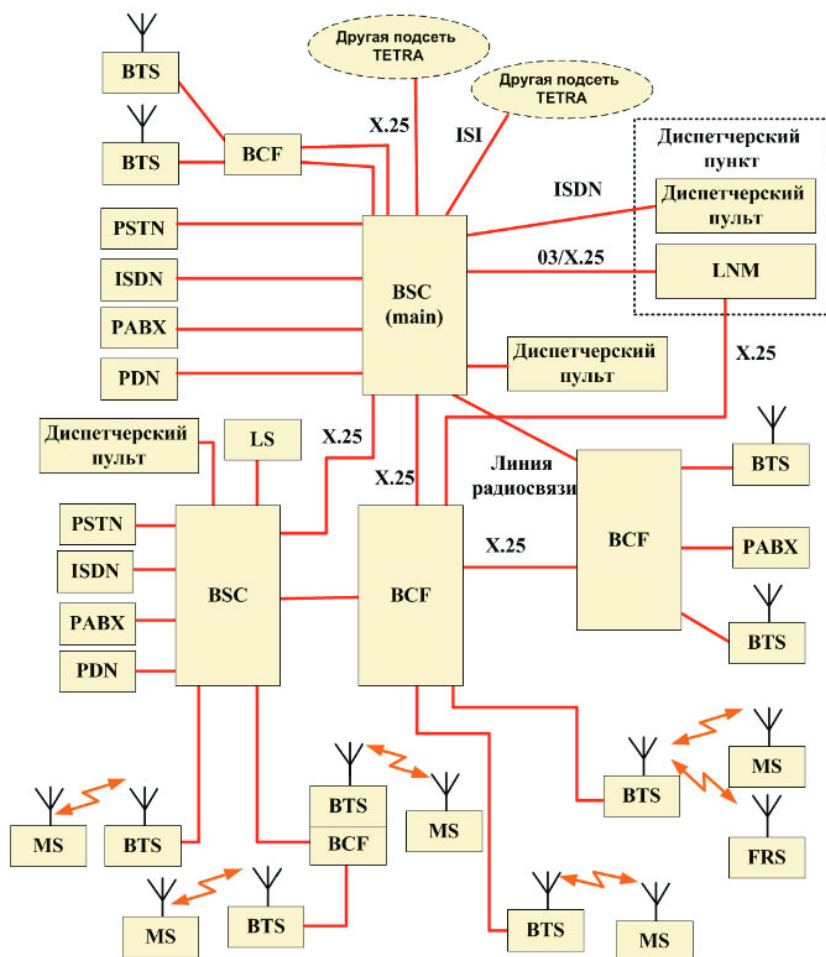


Рисунок 102 – Вариант сложной конфигурации подсети стандарта TETRA

В случае, если не требуется резервирование каналов, возможно и достаточно создание подсети по конфигурации звезды (рис. 103).

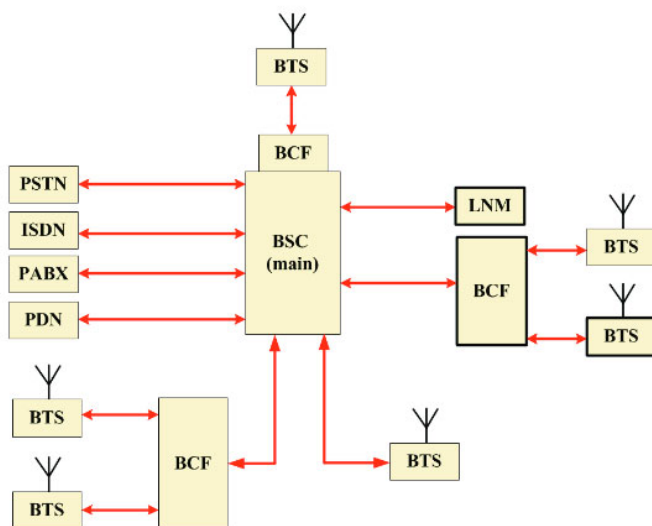


Рисунок 103 – Подсеть TETRA, построенная по конфигурации звезды

При использовании линейных трактов (например, конвейеров) подсеть TETRA может быть реализована в виде длинной линии (цепи). В этом случае каждый модуль УУ базовой станции BCF (Base Station Control Function) наряду с требуемой дальностью связи обеспечивает локальный доступ к внешним сетям (рис. 104).

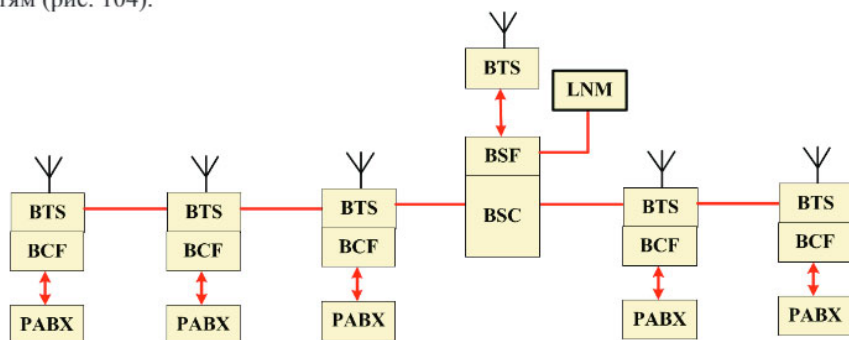


Рисунок 104 – Конфигурация подсети стандарта TETRA в виде цепи

Простейшая конфигурация подсети TETRA (рис. 105) включает только один модуль BCF.

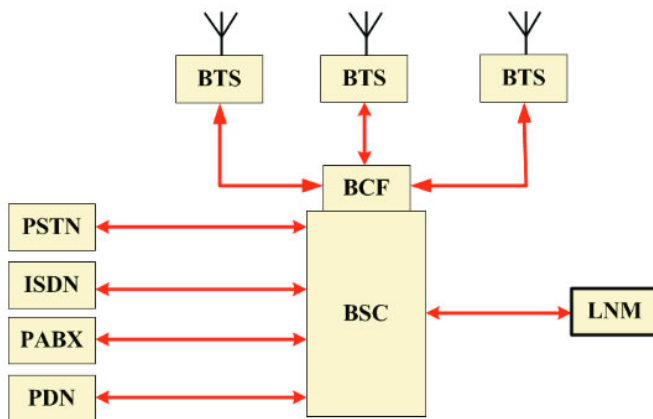


Рисунок 105 – Конфигурация TETRA с одним модулем BCF

16.4. Услуги, предоставляемые сетями стандарта TETRA

Сети стандарта TETRA обладают большими возможностями при предоставлении услуг связи. Рассмотрим их.

Режимы передачи речевой информации. В системах стандарта TETRA информационный обмен обеспечивается с помощью телесервисных служб. Поддерживаются передача речи и данных. При этом речь и данные могут передаваться одновременно с одного терминала по различным логическим каналам.

Службы речевой связи обеспечивают следующие режимы:

- широковещательная передача речи;
- многосторонняя речевая связь, предполагающая групповой вызов (ГВ) абонентов;
- речевая связь с индивидуальным вызовом (ИВ) абонентов.

Все режимы речевой связи предусматривают возможность передачи, как открытой речевой информации, так и речи, защищенной с помощью определенных алгоритмов шифрования.

Широковещательный вызов (ШВ) предназначен для организации односторонней передачи речевой информации от вызывающей стороны нескольким вызываемым абонентам. ШВ и последующая передача речевой информации производится в симплексном режиме. Он может быть инициирован либо мобильным абонентом (МА), либо диспетчером сети с линейного терминала (ЛТ).

Вызываемые абоненты называются широковещательной группой. Такая группа может включать как МА, так и ЛТ. Члены группы имеют один общий широковещательный номер, который может совпадать с групповым номером. Если МА зарегистрированы в зонах действия нескольких БС, вызов может быть послан на все базовые станции. При этом диспетчер сети может выбрать режим стандартного широковещательного вызова (ШВ) или ШВ с подтверждением.

Широковещательное соединение может быть прервано только инициатором вызова.

Групповой вызов предполагает установление коммутируемого многоточечного двунаправленного соединения между вызывающей стороной и несколькими вызываемыми абонентами. Обмен речевой информацией после ГВ производится только в режиме двухчастотного симплекса. При этом обмен сообщениями между членами группы осуществляется в режиме «каждый слышит каждого». Групповой вызов (ГВ) может быть инициирован либо МА, либо диспетчером сети с помощью линейного терминала (ЛТ). Инициатор группового соединения (ГС) отвечает за все аспекты соединения, такие как – начисление оплаты, возможности использования вспомогательных служб и т. д.

В определенных ситуациях вызывающий абонент может передавать свои полномочия по установлению ГС другому члену группы с помощью вспомогательной службы «передачи управления».

Для установления ГС используется групповой номер, который присваивается каждому из членов группы. Групповой номер МА может быть присвоен оператором сети статически при конфигурации системы; динамически по радиоинтерфейсу при модификации групп абонентов.

Групповой вызов может быть передан всеми БС, в зонах, действия которых зарегистрированы МА данной группы.

Существуют 2 модификации ГВ: стандартный групповой вызов и групповой вызов с подтверждением.

Стандартный групповой вызов, предназначен для быстрого установления соединения. Прерывание соединения может производиться только инициатором ГС. ГВ с подтверждением требует большего времени на организацию ГС, однако он обеспечивает проверку присутствия всех абонентов группы.

При ГВ с подтверждением обеспечивается следующий порядок работы. Вызывающий абонент посылает в инфраструктуру сети ГВ с подтверждением, после чего инфраструктура начинает осуществлять вызов членов группы. Если инфраструктура не имеет списка членов группы, об этом сообщается инициатору сообщения. Каждый член группы, получивший сигнал вызова, посылает в инфраструктуру сигнал подтверждения вызова и переходит в режим речевой связи в выделенном канале. Сообщения об отсутствии абонентов или их занятости передаются на терминал инициатора сообщения. Вызывающий абонент может начать передачу сообщений по окончании установления соединения или прервать соединение, если примет решение о недостаточности состава абонентов, установивших ГС.

Стандарт TETRA при использовании одной из своих вспомогательных служб предусматривает возможность более позднего подключения к группе абонента, который был занят в момент установления соединения. Выход из ГС при вызове с подтверждением может быть произведен любым абонентом.

Индивидуальный вызов предполагает установление коммутируемого двухточечного соединения между двумя МА или между МА и стационарным терминалом для обеспечения прямой двухсторонней связи. ИВ и последующий

обмен речевой информацией может производиться либо в дуплексном режиме, либо в режиме двухчастотного симплекса. Индивидуальный вызов может быть инициирован любым пользователем TETRA и направлен любому абоненту, зарегистрированному в данной системе с определенным адресом, включая абонентов ТфОП, внешних УАТС и т. п. Соединение, установленное с помощью ИВ, может быть прервано как вызывающим, так и вызываемым абонентом.

16.5. Сетевые процедуры системы TETRA

Сетевые процедуры представляют собой реализуемые с помощью инфраструктуры сети функции, которые предоставляют абонентам основные услуги при работе в сети, а оператору – возможность эффективного управления, и обеспечиваются стандартизированными службами TETRA. Набор используемых сетевых процедур для конкретной сети определяется оператором. К основным сетевым процедурам относятся:

- регистрация МА и роуминг;
- повторное установление связи;
- аутентификация абонентов;
- автоматическое отключение/подключение абонента при отсутствии связи;
- отключение абонента оператором сети;
- управление потоком данных.

Процедура регистрации МА предназначена для прикрепления абонента к одной или нескольким зонам обслуживания БС. Под **роумингом** понимается процедура регистрации и выделения новых каналов доступа при перемещении абонента из одной зоны в другую. Все пользователи сети регистрируются в соответствии с принадлежностью к определенной территории, обслуживаемой несколькими БС. В пределах данной территории абоненты могут свободно перемещаться и устанавливать связь друг с другом. В зависимости от потребностей и статуса абонента эта территория может быть ограничена зоной действия одной БС или распространяться на всю сеть. Если АС зарегистрирована только в одной зоне, то при перемещении ее в другую зону по инициативе абонента может быть проведена новая регистрация, в результате чего будет изменено или скорректировано состояние регистра положения АС. Если АС зарегистрирована в нескольких зонах, то обеспечивается автоматический роуминг, т. е. возможность пользователя перемещаться из зоны в зону без необходимости повторной регистрации.

Процедура повторного установления связи означает возможность сети менять используемую абонентом БС в случае ухудшения условий связи. Если в процессе соединения МС регистрирует ухудшение условий связи, она проверяет возможность установления связи в соседних зонах (ячейках) и посылает в сеть запрос на новый радиоканал.

Основной целью **процедуры аутентификации** является исключение несанкционированного доступа (НСД) в систему. В стандарте TETRA в текст пе-

редаваемого сообщения включается пароль, который знают отправитель и получатель. Получатель передает шифрованное с помощью пароля сообщение и получает ответ. Затем расшифровывает сообщение, сравнивает принятый пароль с переданным паролем, и получает удостоверение в подлинности абонента. При обнаружении НСД оператор сети может применить процедуру отключения данного АТ.

Отключение/подключение АТ от/к сети может быть выполнено по инициативе абонента. При отключении абонента данная процедура обеспечивает запись содержимого буфера состояния АТ в БД инфраструктуры сети, после чего инфраструктура меняет статус абонентского терминала с включенный, на статус отключенный. Все вызовы, поступающие к отключившемуся абоненту, буферизируются в инфраструктуре. При очередном подключении данная процедура реализует возможность быстрого вхождения в систему без проведения полной процедуры регистрации. Абоненту может быть предоставлена информация о вызовах, полученных в течение времени отключения.

Процедура отключения абонента оператором сети предполагает блокирование АТ. Данная процедура может применяться оператором в случаях: обнаружения НСД в систему путем аутентификации абонента; обнаружения терминала с невнесенной абонентской платой; необходимости деактивизации неисправного терминала.

Блокирование АТ осуществляется передачей специальной команды и изменением статуса абонента в БД инфраструктуры сети.

Процедура *управления потоком данных* предназначена для реализации возможности сети переключать на себя поток данных, направленный к определенному терминалу. При перегрузке АТ, т. е. невозможности терминала принять всю поступающую информацию, по определенной команде от абонента инфраструктура сети может временно приостановить поток данных к абоненту. Дальнейшая информация буферизируется в инфраструктуре. Поток данных возобновляется также по команде, поступающей от АТ.

Дополнительные услуги. Обеспечиваются вспомогательными службами стандарта TETRA и предоставляются абонентам при включении список доступных услуг, хранящихся в его терминале и сети.

Дополнительные услуги можно разделить на классы:

- специализированные, то есть введенные в стандарт по заявке служб общественной безопасности и правоохранительных органов;
- стандартные услуги, предназначенные для всех пользователей, включая коммерческих операторов сетей.

Данное деление носит достаточно условный характер, так как услуги, введенные в стандарт по заявкам служб общественной безопасности, могут использоваться и коммерческими организациями по соглашению между ними и операторами сетей стандарта TETRA.

К специализированным услугам относятся:

- вызов, санкционированный диспетчером;
- приоритетный вызов;

- приоритетный доступ;
- избирательное прослушивание;
- дистанционное прослушивание;
- динамическая перегруппировка;
- идентификация вызывающей стороны.

Вызов, санкционированный диспетчером. Реализует возможность осуществления прямых соединений между определенными категориями абонентов (например, связь подвижных абонентов с ТфОП, УАТС и т. п.) только с санкции диспетчера сети. Если производится вызов, требующий санкционированного соединения, он направляется диспетчеру, который либо переадресует его вызываемому абоненту, либо прерывает вызов.

Приоритетный вызов. Обеспечивает возможность предпочтительного обслуживания вызовов некоторых абонентов, имеющих более высокий статус по сравнению с другими. В системе может быть несколько уровней приоритетов. Приоритетный вызов может быть передан на любой АТ. Уровень приоритета определяется инфраструктурой сети на основе анализа статуса вызывающего абонента и не изменяется в течение всего времени соединения.

Приоритетный доступ. Позволяет в случае перегруженности сети перераспределить доступные ресурсы в соответствии со схемой приоритетов. Это означает, что при отсутствии ресурсов сети служба будет прекращать соединения с более низким приоритетом, предоставляя высвобождающиеся ресурсы более приоритетному вызову.

Избирательное прослушивание. Данная услуга позволяет несанкционированному для данного вызова пользователю прослушивать разговор. Как правило, такая возможность предоставляется диспетчеру сети, хотя допускается организация прослушивания переговоров любым абонентом сети. При прослушивании диспетчер может либо вступить в разговор, либо прекратить ведение разговора. Стандарт допускает возможность одновременного прослушивания нескольких переговоров. Выбор абонентов, пользующихся данной службой, является прерогативой оператора сети. В случае использования одной сети TETRA несколькими группами абонентов диспетчерам разрешается прослушивание переговоров только своей группы.

Дистанционное прослушивание. Обеспечивает возможность включения по определенной команде абонентской сети (АС) в режим передачи без разрешения на это ее пользователя. Данный режим может применяться для акустического прослушивания обстановки у конкретного абонента.

Динамическая перегруппировка. Обеспечивает возможность создания, модификации и удаления групп пользователей в процессе работы в сети связи, т. е. возможность удаленного управления АС. Абонент, имеющий право на проведение динамической перегруппировки, направляет соответствующий запрос в инфраструктуру, в котором указывает новый присваиваемый номер группы и список индивидуальных идентификаторов, которым должен быть присвоен этот групповой номер (ГН). После этого инфраструктура рассылает всем указанным абонентам новый ГН.

Идентификация вызывающей стороны. Предоставляет пользователям сети возможность получения информации о персональном идентификаторе вызывающего абонента (фактически произвести аутентификацию абонента). При этом вызывающая сторона не может запретить данный режим.

К стандартным услугам относятся:

- выбор зоны;
- идентификация номера абонента;
- сообщение о вызове; изменение маршрута прохождения вызова;
- вызов с использованием списка абонентов;
- адресация с использованием коротких номеров;
- ожидание вызова;
- удержание вызова;
- завершение вызова для занятого абонента;
- передача управления групповым соединением;
- подключение вызова; ограничение установления вызова;
- сохранение вызова;
- подключение к соединению в течение сеанса связи;
- информация об оплате.

Выбор зоны. Позволяет абоненту задавать зону, в которой должно быть установлено соединение. При этом к абонентам, находящимся вне пределов выбранной зоны, вызов не поступает. Выбираемые зоны маршрутизации вызова могут ограничиваться одной ячейкой или включать несколько ячеек.

Идентификация номера (ИН) абонента. В стандарте определены следующие 4 независимые службы ИН:

- ИН вызывающего абонента;
- ограничения ИН вызывающего абонента;
- ИН вызываемого абонента;
- ограничения ИН вызываемого абонента.

ИН вызывающего абонента позволяет вызываемому абоненту определять идентификационный номер пользователя сети, от которого получен вызов. Возможность определения ИН вызывающего абонента может быть заблокирована с помощью службы ограничения ИН вызывающего абонента, которая назначается вызываемым абонентом.

Служба ИН вызываемого абонента предоставляет вызывающему абоненту возможность получения дополнительных сведений о точном адресе вызываемого абонента. Возможность определения номера абонента, которому посылается вызов, может быть заблокирована службой ограничения ИН вызываемого абонента, которая назначается вызываемым абонентом.

Сообщение о вызове. Предоставляет вызывающему абоненту возможность информировать другого абонента о своем вызове и оставить ему свой номер для осуществления обратного соединения.

Изменение маршрута прохождения вызова. В стандарте определены следующие 4 вспомогательные службы переадресации:

- безусловной переадресации вызова;

- при занятости абонента;
- при отсутствии ответа от абонента;
- при нахождении абонента вне зоны связи.

Все службы переадресации позволяют МА перенаправить поступающие вызовы (все или от определенной группы абонентов) к другому пользователю сети (по другому номеру). Переадресация может производиться как при любой ситуации (1 служба), так и в зависимости от определенных условий (2...4 службы). Активизация данных служб не запрещает вызываемому абоненту самому инициировать вызовы.

Вызов с использованием списка абонентов. Позволяет пользователю определить список номеров, которые могут быть вызваны последовательно. Этот список может включать в себя индивидуальные или групповые номера. При инициализации процедуры вызова по списку вызов направляется к первому абоненту в списке. Если вызов проходит, производится соединение с ним и процедура прекращается. В случае занятости первого абонента или его недоступности вызов перенаправляется второму абоненту в списке и т. д. до тех пор, пока не будет установлено соединение или не окончится список. При окончании списка процесс поиска не возобновляется. В службе сохраняется приоритетность вызовов. Если вызов по списку направляется группе абонентов, занятой ведением переговоров, то вызывающий абонент может быть присоединен к этой группе.

Адресация с использованием коротких номеров. Обеспечивает пользователям сетей стандарта TETRA возможность осуществлять вызов путем передачи сокращенного номера без использования полного, осуществляемой инфраструктурой. При этом пользователи не имеют возможности изменять короткие номера, т. е. назначение этого номера является функцией оператора сети.

Ожидание вызова. Обеспечивает оповещение пользователя, ведущего переговоры, о поступлении другого вызова. Определяется и отображается на индикаторе тип вызова и идентификационный номер вызывающего абонента. Вызываемый абонент может либо ответить, либо игнорировать вызов. Число ожидающих вызовов не может превышать 1.

Удержание вызова. Позволяет пользователю прервать текущее соединение, подключиться к ожидающему вызову, а затем повторно установить прерванное соединение. Служба назначается только при наличии в АС индикации режима удержания вызова.

Завершение вызова для занятого абонента. Позволяет пользователю автоматически завершить вызов в случае занятости абонента на момент первоначальной попытки установления соединения. При занятости абонента и получении запроса на автоматическое завершение вызова инфраструктура сети ставит данный вызов в очередь, анализирует состояние вызываемого абонента, а после прекращения его соединения направляет ему задержанный вызов.

Передача управления групповым вызовом. Определяется как разрешение на отключение соединения. В любое время инициатор ГС (вызывающий абонент) имеет возможность отключиться от соединения и передать функцию управле-

ния им другому абоненту в пределах группы. После этого данный абонент становится контролером группы и получает право на отключение ГС.

Подключение вызова. Возможно включение режима, при котором один пользователь, взаимодействующий с другим, может сделать участником вызова третьего абонента. При этом местонахождение подключаемого к соединению абонента не ограничивается пределами тех зон, в которых находятся абоненты, ведущие переговоры. Возможное число подключаемых в течение соединения абонентов определяется оператором сети.

Ограничение установления вызова. Позволяет пользователю блокировать определенные категории входящих или исходящих вызовов. При блокировке входящих вызовов вызываемому абоненту передается сообщение о наложенных на данный вызов ограничениях.

Сохранение группового соединения при приоритетном вызове. Предоставляет возможность сохранения группового соединения при поступлении приоритетного вызова к одному из членов группы. Для индивидуального соединения поступление приоритетного вызова автоматически прерывает сеанс связи. В случае ГС и при наличии доступных ресурсов сети, приоритетный вызов не прекращает сеанс связи в целом, а только отключает вызываемого абонента от ГС. Если вызываемый абонент является инициатором (контролером) ГС его функции по завершению сеанса связи передаются другому абоненту.

Подключение к соединению в течение сеанса связи. С помощью службы абонент имеет возможность присоединиться к ГС после момента первоначального установления связи, в процессе ведения переговоров в группе. В случае ГВ с подтверждением вызываемому абоненту предоставляется информация о номере нового абонента и времени его присоединения.

Информация об оплате. Предоставляет пользователю сведения о стоимости разговора в начале, в течение или по окончании разговора.

Большинство дополнительных услуг, обеспечиваемых вспомогательными службами, доступны пользователям сетей стандарта TETRA во всех режимах передачи речевой информации, однако некоторые из них имеют ограничения по использованию в определенных режимах. Доступность использования вспомогательных служб показана в табл. 23.

Таблица 23 – Доступность использования вспомогательных служб

Вспомогательная служба	Речевая связь с индивидуальным вызовом	Многосторонняя речевая связь с групповым вызовом	Широковещательная передача речи
Вызов, санкционированный диспетчером	+	+	+
Приоритетный вызов	+	+	+
Приоритетный доступ	+	+	-
Избирательное прослушивание	+	-	+
Дистанционное прослушивание	+	+	-
Идентификация вызывающей стороны	+	+	+
Выбор зоны	+	+	+
Идентификация номера абонента	+	+	+

Окончание таблицы 23

Вспомогательная служба	Речевая связь с индивидуальным вызовом	Многосторонняя речевая связь с групповым вызовом	Широко-вещательная передача речи
Сообщение о вызове	+	+	+
Изменение маршрута прохождения вызова	+	+	-
Вызов с использованием списка абонентов	+	-	+
Адресация с использованием коротких номеров	+	+	+
Ожидание вызова	+	+	-
Удержание вызова	+	+	-
Завершение вызова для занятого абонента	+	-	-
Передача управления групповым соединением	-	+	-
Подключение вызова	+	+	+
Ограничение установления вызова	+	+	+
Сохранение вызова	+	+	+
Подключение к соединению в течение сеанса связи	-	+	+
Информация об оплате	+	+	

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте общие характеристики сетей стандарта TETRA
2. Охарактеризуйте состав оборудования сетей связи стандарта TETRA на железнодорожном транспорте.
3. Расскажите о временной структуре физического канала в системе TETRA.
4. Расскажите о структурной схеме цифрового стандарта TETRA.
5. Охарактеризуйте архитектуру сети стандарта TETRA.
6. Используя схему сложной конфигурации подсети стандарта TETRA, объясните ее назначение и работу.
7. Перечислите и охарактеризуйте услуги, предоставляемые сетями стандарта TETRA.
8. Перечислите и охарактеризуйте сетевые процедуры системы TETRA.

Глава 17.

ТРАНКИНГОВАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВОГО СТАНДАРТА GSM-R

17.1. Базовый стандарт GSM-R, используемый в связи на ЖДТ

Стандарт GSM был принят в качестве базового стандарта Международным советом железных дорог (МСЖД) в 1993 г. для железнодорожной системы цифровой связи. Однако данный стандарт не обладал сервисом, необходимым для профессиональных систем, поэтому в 1993 г. МСЖД сделал запрос в ETSI на реализацию дополнительных свойств ASCII. Они включают расширенные многоуровневые приоритеты, резервирование, услуги широкополосного речевого оповещения и речевого группового вызова. Наряду с ASCII для удовлетворения требований железных дорог на услуги поездной, маневровой радиосвязи, передачи данных для управления движением поездов, телеуправления и т. д. должна быть реализована функциональная адресация, адресация в зависимости от текущего местоположения и обработка вызовов с высоким приоритетом.

В Европе была разработана концепция, предусматривающая создание системы радиосвязи, способной удовлетворить потребности железных дорог в обмене информацией с подвижными объектами и создать условия для реализации систем управления движением с использованием радиоканалов.

За счет применения полос шириной 4 МГц в диапазонах 876–880 МГц для исходящей и 921–925 МГц для входящей связи на европейском уровне удастся удовлетворить потребности железнодорожных служб и освободить занятые ими ранее диапазоны. Система радиосвязи GSM-Rail (GSM-R) разработана на основе сотового стандарта GSM (рис. 106).



Рисунок 106 – Система радиосвязи GSM-Rail (GSM-R) разработана на основе сотового стандарта GSM

Стандартизацию GSM-R выполнила проектная группа EIRENE, созданием прототипов (сетей и окончных устройств) – консорциум MORANE (Mobile Radio for Railway Networks in Europe), в который входят железные дороги, промышленные фирмы и исследовательские институты. Создание системы GSM-R во многом обусловлено результатами работ в рамках МСЖД над проектом создания ERTMS/ETCS – европейской системы управления движением поездов и обеспечением его безопасности. В системе ERTMS/ETCS предусмотрены четыре уровня, позволяющие реализовывать различные эксплуатационные программы в зависимости от степени оснащенности линии напольным оборудованием.

- **Уровень 1** обеспечивает регулирование скорости поезда в зависимости от передаваемых с пути на поезд данных, сформированных на основе показаний напольных сигналов.

- **Уровень 2** представляет собой законченную систему управления движением поездов и обеспечения безопасности движения без использования напольных сигналов, но с сохранением жесткого разделения линии на блок-участки. Напольные устройства определяют местоположение поездов и контролируют их полносоставность.

- **Уровни 3 и 4** системы предусматривают использование сети радиосвязи на основе GSM-R и соответствуют законченной системе управления движением поездов и обеспечения безопасности движения без использования напольных сигналов средств автоматики и телемеханики. Определение местоположения поезда и контроль его полносоставности осуществляется бортовыми устройствами.

Все уровни совместимы друг с другом, как в функциональном, так и в техническом отношении, т. е. поезд, оборудованный системой более низкого уровня, может обращаться на линии, оборудованной системой более высокого уровня. Система уровней 1 и 2 может быть доведена до уровней 3 и 4 путем добавления модулей расширения.

Систему GSM-R можно разделить на подсистемы:

- центр управления;
- стационарная;
- бортовая.

Задачи, решаемые подсистемами:

- центр управления берет на себя управление маршрутами и обеспечивает поездам бесконфликтное назначение участков пути (регулирование порядка следования поездов);
- бортовые устройства выдают задания стационарным устройствам в соответствии с назначенными им маршрутами и контролируют движение поездов;
- стационарные устройства выполняют в свою очередь функции управления и контроля стрелок, подходов к пассажирским платформам и переездам.

Каждая из подсистем имеет свой доступ к сети радиосвязи и способна взаимодействовать с другими подсистемами. Распределение функций обеспечения безопасности между несколькими подсистемами потребовало формирования

единой базы данных. Подсистемы работают с данными единого атласа линии, содержащего всю описывающую эту линию информацию. К ней относятся наряду с топологическими сведениями (модель линии, местоположение стрелок и переездов) данные о максимально допустимых скоростях и адресации в системе радиосвязи.

Оборудование стандарта GSM-R выпускают фирмы: Siemens, Nortel, Ericsson, Alcatel.

Сеть GSM-R состоит из сот, расположенных вдоль железной дороги или на территории станции. Каждая сота оборудуется одним или несколькими (в зависимости от нагрузки) приемопередатчиками. Каждый контроллер базовой станции прикреплен к определенным номерам сот. Контроллеры базовых станций соединены с центром управления MSC, который устанавливает внешние соединения и обеспечивает интерфейс с другими сетями. На рис. 107 приведены следующие сокращения:

GCR – Group Call Register – регистр группировки вызовов;

SMS – Short Message Service – служба коротких сообщений;

VMS – Visitor Management Server – сервер управления перемещениями;

OSS – Operation System Server – сервер центра управления;

SCP – пункт управления услугами связи;

IN – Intelligent Networks – интеллектуальная сеть;

PABX – Private Automatic Branch Exchange – автоматический коммутатор выделенных каналов.

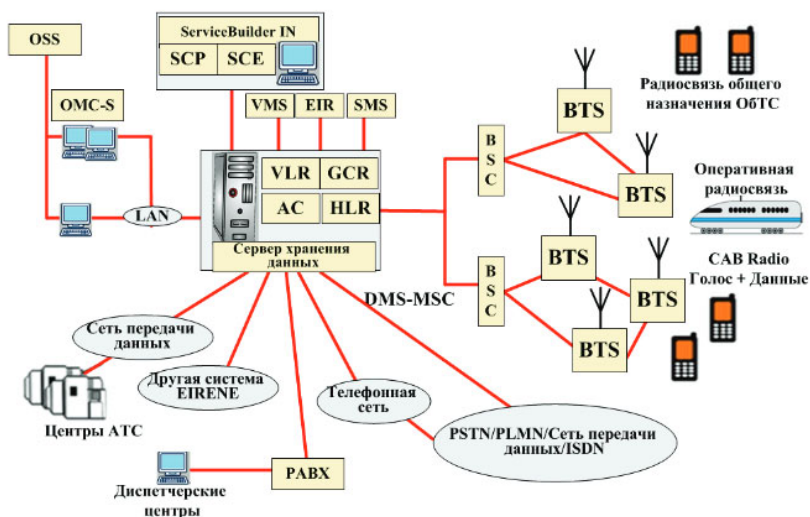


Рисунок 107 – Состав оборудования системы GSM-R

Все сетевые компоненты в стандарте GSM-R взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации ITU-T SS № (CCITT SS № 7). Центр коммута-

ции обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений подвижной станции. MSC аналогичен ISDN коммутационной станции и представляет собой интерфейс между фиксированными сетями (PSTN PDN, ISDN и т. д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функций управления вызовами. Кроме функций ISDN коммутационной станции на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов: «эстафетная передача», в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту, переключение каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

На железнодорожном транспорте распространение радиосигналов происходит в особых условиях, в частности при переменной скорости движения поездов, которые следуют между опорами контактной сети, по неровному ландшафту, сквозь тоннели и по мостам. Это может приводить к потере связи, вызванной эффектом Доплера, многолучевым распространением радиоволн, теневым эффектом. В результате отражения от близких преград, что особенно часто встречается в условиях железнодорожного транспорта, радиосигнал, поступающий на приемную антенну подвижной станции, представляет собой сумму многих сигналов, различающихся по амплитуде и фазе. Эффект наложения может быть различным от взаимного гашения до резонанса. При значительных скоростях движения поезда также возможна кратковременная потеря связи. При низких скоростях поезда длительность потерь может быть очень большой. Например, при скорости поезда 30 км/ч время потерь может составить 8 мс, что для стандартной скорости передачи в GSM означает прием около 70 ошибочных бит. Чтобы нивелировать эти явления, в GSM принято перемежение и блочное кодирование.

Стандартизацией GSM-R занимается в рамках МСЖД проектная группа EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network), созданием прототипов (сети и оконечных устройств) – консорциум MORANE, в который входят железные дороги, промышленные фирмы и исследовательские институты. Результаты этих работ используются в проекте ERTMS, ориентированном на повышении конкурентно способности железных дорог по сравнению с другими видами транспорта за счет следующих целей:

- обеспечение эксплуатационной совместимости в национальных и международных системах железнодорожной связи;
- повышения эффективности, безопасности и надежности, железных дорог;
- совершенствование технологических операций;
- повышения уровня обслуживания пассажиров;
- введения дополнительных услуг для клиентуры;
- создания новых источников доходов для железнодорожных компаний.

Внедрение системы GSM-R позволит удовлетворить потребности железнодорожных служб при помощи единой системы радиосвязи. Дополнительные по отношению к исходному стандарту GSM свойства ASCII (стандартный код для обмена информацией) необходимы для реализации функций автоматиче-

Базовая приемо-передающая станция БПС (BTS) – обеспечивающая радиосвязь в определенной зоне.

Контроллер базовой станции КБС (BSC) – выполняет следующие функции:

- управление распределением каналов;
- контроль соединения и регулировка их очередности;
- одуляция и демодуляция сигналов;
- кодирование и декодирование сообщений;
- кодирование речи;
- адаптацию скорости передачи речи, данных и сигналов вызова;
- управление очередностью передачи сообщений персонального вызова.

Центральный коммутатор подвижной связи ЦКП (MSC) – обслуживает группу зон и обеспечивает все виды соединений с мобильными станциями. Он представляет собой интерфейс между сетью подвижной связи и внешними сетями ЦСИО (ISDN) – цифровая сеть интегрального обслуживания, ТФОП (PSTN) – телефонная сеть общего пользования, СКП (PDN) – сеть с коммутацией пакетов, УАТС (PABX) – учрежденческая АТС и обеспечивает маршрутизацию вызовов и функцию управления вызовами.

Кроме этого, MSC выполняет функции:

- коммутации радиоканалов, которым относятся эстафетная передача, обеспечивающая непрерывность связи при перемещении мобильных станций из зоны в зону;
- переключение рабочих каналов в зоне при появлении помех и неисправностей;
- формирует данные для тарификации разговоров;
- составляет статистические данные;
- поддерживает процедуры безопасности при доступе к радиоканалу.

MSC осуществляет постоянное слежение за мобильными станциями, используя регистры.

Регистр положения РМП (HLR), в котором хранится та часть информации о местоположении какой-либо мобильной станцией, которая позволяет центральному коммутатору доставить вызов. Фактически HLR является справочной базовой станцией о постоянно зарегистрированных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные адреса и номера, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, информация о маршрутизации, данные о роуминге абонента.

Регистр перемещения РП (VLR) – это второе основное устройство, обеспечивающее контроль передвижения мобильных станций из зоны в зону. С его помощью достигается функционирование мобильных станций за пределами контролируемой регистром положения зоны. Когда в процессе перемещения мобильная станция переходит из зоны одного контроллера базовой станции в зону действия другого, то она регистрируется и в регистр перемещения заносится новая информация. Для исключения несанкционированного использования ресурсов в систему введен механизм аутентификации.

Центр аутентификации ЦА (AUC) – состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента, и осуществляется его доступ к сети. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования на основе базы данных, находящейся в регистре идентификации оборудования (EIR). Регистр идентификации оборудования РИО (EIR) содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования мобильной станции.

Регистр идентификации сети РИС (IN) – содержит идентификаторы всех сетей, с которыми обеспечивается роуминг в данной системе.

Центр управления и обслуживания ЦУО (ОМС) – обеспечивает управление элементами сети и качеством его работы. В функции ОМС входит:

- регистрация и обработка аварийных сигналов;
- устранение неисправностей (автоматически или посредством обслуживающего персонала);
- проверка состояния оборудования сети и прохождения вызова мобильной станции; управление трафиком;
- сбор статистических данных;
- управление передачей обслуживания и базой данных.

17.2. Основные функции, выполняемые железнодорожной системой радиосвязи стандарта GSM-R

Индивидуальный вызов. Двухточечное соединение между мобильными и/или стационарными абонентами. Обеспечивает дуплексную связь между машинистами локомотивов одного поезда, между машинистом и диспетчером, между любым абонентом и ТфОП или УАТС и в других случаях. Одновременно с передачей речи возможна передача только коротких сообщений – до 160 байт.

Групповой вызов. Вызов членов группы (например, участников маневровой работы) для двусторонней полудуплексной связи по групповому номеру с автоматическим подтверждением или без него.

Вызов может быть с автоматическим подтверждением или без него; невозможно более позднее подключение абонента, который на момент вызова был занят; возможна передача коротких сообщений – до 160 байт.

Широковещательный вызов. Вызов членов широковещательной группы для односторонней связи по широковещательному номеру с автоматическим подтверждением или без него.

Возможна передача коротких сообщений – до 160 байт.

Передача данных с коммутацией каналов связи. Передача больших компьютерных файлов, изображений, видеопотоков от ТВ-камер в реальном масштабе времени на скорости 2,4; 4,8 и 6 кбит/с

Время установления соединения. Время, в течении которого система сообщает вызываемому абоненту о поступившем вызове – более 1,5 с. Сравни-

тельно большое время установления определяется необходимостью синхронизации всех компонентов цифрового канала связи, что связано с повышенными временными затратами в системах со сложной иерархией, к которым относится GSM-R.

Время соединения передачи. Время, в течении которого соединение передается другой базовой станции или частотному каналу при перемещении мобильного абонента.

При синхронизации приемопередатчиков базовых станций возможно снижение времени передачи соединения до 0,15 с, это дополнительная возможность, которую может выбрать администратор сети.

Вероятность успешной передачи соединения. Вероятность того, что при переходе мобильного абонента, находящегося на связи, из одной базовой станции в зону другой его связь сохранится.

Вероятность успешной передачи соединения не ниже 0,995 обеспечивается при соединении не чаще чем 1 раз в 10 с.

Помехозащита связи. Помехи связи характеризуются интенсивностью потоков ошибочных битов. Помехозащита обеспечивается кодированием речи и данных и разнесенным приемом и составляет 10^{-2} – 10^{-3} при отсутствии помехозащиты в зоне, где потери распространения не превышают 3 дБ на 95 % площади этой зоны.

Защита передаваемой информации. Защита передаваемой информации обеспечивается мерами, направленными на предотвращение несанкционированного доступа к каналам связи системы. Обеспечивается шифрованием (несколько десятков криптоключей), аутентификацией оборудования, прыганием по частоте.

Роуминг. Обеспечение адресации мобильных абонентов при переходе из одной сети связи в национальную или международную сеть.

Передача соединения. Соединение с мобильным абонентом при его передвижении передается из одной базовой станции в зону другой базовой станции или из одного частотного канала в другой и составляет менее чем за 0,5 с.

Интеграция с системами определения местоположения. Данная функция необходима для диспетчерского управления мобильными объектами, например, локомотивным, вагонным или контейнерным парком.

Интеграция с сетями ISDN. ISDN – ЦСИО, Цифровые Сети с Интеграцией Обслуживания.

Интеграция с ТФОП. ТФОП – телефонные сети общего пользования.

Интеграция с УАТС. УАТС – учрежденческие АТС.

Исключительный приоритет. Исключительный приоритет позволяет диспетчеру срочно прервать любое соединение и вызвать любого абонента.

Приоритетный доступ. Выделение канала связи в соответствии со схемой приоритетов вызывающих абонентов.

Дистанционное присвоение индивидуальных и групповых абонентских идентификационных номеров. Функция, позволяющая, например, диспетчеру адресовываться к абонентам поезда (машинисты, поездная бригада) с использо-

ванием номера поезда в расписании, этот номер сохраняется при замене локомотива или локомотивной бригады.

Вызов, санкционированный диспетчером. Эта функция позволяет диспетчеру разрешить или запретить установление связи между некоторыми абонентами (например, между участниками маневровой работы – машинистом поезда, дежурным по станции, сцепщиками, с одной стороны и вызовами из ТФОП с другой).

Предотвращение входных вызовов. Блокировка системой определенных категорий вызовов, поступающих данному абоненту.

Быстрый набор номера. Присвоение некоторым абонентам коротких номеров для быстрой адресации внутри данной сети связи.

Идентификация вызывающего абонента. Данная функция позволяет вызываемому абоненту определить номер вызывающего абонента.

Ограничение на выдачу идентификационной информации. Данная функция позволяет вызываемому абоненту блокировать идентификацию номера вызывающего абонента, а вызывающему – блокировать идентификацию номера вызываемого абонента.

Идентификация вызываемого абонента. Данная функция позволяет вызывающему абоненту определить номер и зону нахождения вызываемого абонента, а также абонента, через которого осуществляется переадресация вызова (если вызов был переадресован).

Вызов занятого абонента. Вызов занятого абонента по завершении им текущего сеанса, все это время удерживается.

Сообщение о вызове. Функция, позволяющая вызывающему абоненту информировать вызываемого абонента о своем вызове и оставить ему свой номер связи. При этом на дисплее занятого абонента отображается тип вызова и идентификационный номер вызывающего абонента.

Оповещение занятого абонента о поступлении вызова. На дисплее занятого абонента отображается оповещение о поступающем вызове.

Информация об оплате. Данная функция позволяет вывести на дисплей абонента данные от стоимости текущего соединения.

17.3. Сравнительный анализ стандартов GSM-R и TETRA

Стандарты – GSM-R и TETRA, являются европейскими стандартами цифровой транкинговой радиосвязи, их распространение развитие поддерживается европейскими организациями по стандартизации, сообществами пользователей и производителями. Стандарт GSM-R предназначен для использования на железных дорогах Европы. Стандарт TETRA предназначен для использования транспортными, в том числе – и железнодорожными, предприятиями, силами охраны порядка, безопасности, полицией и другими подобными организациями европейских стран.

В настоящее время стандарт GSM-R уступает стандарту TETRA в части обеспечения функций железнодорожной технологической связи. В стан-

дарте GSM-R отсутствует возможность обеспечения связи вне сетевой инфраструктуры (прямой режим), что возможно в стандарте TETRA.

Прямой режим (DMO) в стандарте TETRA предусматривает возможность установления радиосвязи между двумя или более мобильными радиостанциями без использования сетевой транкинговой инфраструктуры, прямой режим, (рис. 109). Дальность связи в этом случае определяется расстоянием прямой радиовидимости и для мобильных абонентов обычно находится в диапазоне 0,4÷3 км.

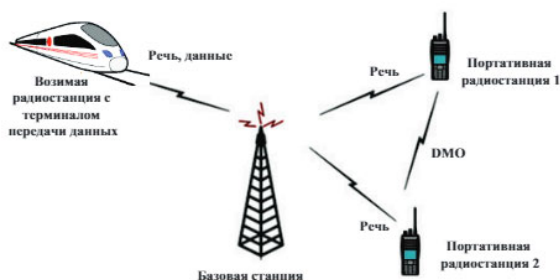


Рисунок 109 – Прямой режим

Для увеличения дальности связи предусмотрены ретрансляторы, в качестве которых могут использоваться те же мобильные радиостанции. Кроме того, сохраняется возможность принимать вызовы, поступающие из транкинговой сети, и, тем самым, гибко и оперативно изменять зону радиопокрытия единой системы связи.

В прямом режиме радиостанции стандарта TETRA автоматически синхронизируются и, как следствие, на одной частоте можно организовать до двух полудуплексных каналов связи с временным разделением. В прямом режиме стандарта TETRA абоненту предоставляются следующие услуги:

- индивидуальный и групповой вызов;
- экстренный вызов;
- более позднее подключение абонента к уже установившемуся соединению при более позднем включении радиостанции, при переключении с другого канала прямого режима, при возвращении в зону радиовидимости, при переключении из транкингового режима в прямой режим;
- использование шифрования для защиты информации;
- дистанционное установление криптоключей;
- передача данных по коммутируемым каналам со скоростью 7,2 кбит/сек;
- передача коротких и статусных сообщений.

Прямой режим в стандарте TETRA позволяет сохранить наиболее важные каналы технологической железнодорожной радиосвязи (поездная, станционная, маневровая) при возможных нарушениях в работе сетевой инфраструктуры, например, при выходе из строя приемопередатчика базовой станции, при этом абоненты используют те же самые мобильные средства радиосвязи. Такая воз-

возможность отсутствует в стандарте GSM-R, технические средства которого не поддерживают прямой режим и который не содержит требований по типам радиооборудования, применяемого для связи в прямом режиме, оставляя решение этого вопроса на усмотрение железнодорожных администраций. При выходе из строя базовой станции системы GSM-R все железнодорожные абоненты в зоне этой базовой станции должны срочно отбросить сотовые радиотелефоны и предпринять попытки для восстановления связи с использованием, например, радиосредств системы «Транспорт».

Главное достоинство прямого режима заключается в том, что он, в отличие от GSM-R, позволяет внедрять новую технологию цифровой радиосвязи в практику повседневной работы железнодорожных служб, без предварительного создания сетевой зонной инфраструктуры. В этом случае закупку наиболее дорогого приемопередающего, антенного и коммутационного оборудования базовых станций и наиболее трудоемкие монтажные работы можно будет осуществлять тогда, когда возможности мобильных радиостанций по передаче и приему речи и данных будут уже освоены персоналом этих служб.

Следует добавить следующие плюсы в пользу стандарта TETRA:

1. Радиус дальности связи для систем TETRA (400 МГц) ≈ 24 км в плотно застроенной городской местности, превышает это показатель для систем GSM-R ≈ 7 км примерно в три раза.

2. Скорость передачи данных стандарта TETRA (28,8 кбит/с) в три раза выше, чем в стандарте GSM-R (9,6 кбит/с).

3. В системах GSM-R, по сравнению с TETRA, практически отсутствует возможность:

- по динамической перестройке границ зоны связи – использование прямого режима связи;
- расширить границы зоны, путем дополнительной зоны вокруг ретранслятора (возимой радиостанции);
- по перенаправлению вызова, когда вызов переадресовывается другому абоненту на заранее заданный номер.

4. В системах TETRA по сравнению с системами GSM-R, более совершенный механизм обеспечения безопасности. Это объясняется более широким спектром возможностей стандарта TETRA.

5. Внедрение GSM-R требует создания сетей инфраструктуры, закупка и монтаж приемопередающего, антенного, коммутационного оборудования, кабельных линий связи, соединяющих базовые станции, что связано со значительными капитальными затратами. В отличие от GSM-R внедрение транкинговых сетей стандарта TETRA может быть произведено поэтапно, а до готовности базовых станций связь будет, осуществляется в прямом режиме на закрепленных каналах.

6. Стандарт TETRA способен решать не только задачи железнодорожной технологической связи, но задачи обеспечения радиосвязью транспортной милиции и других сил охраны порядка и обеспечения безопасности.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте общие положения базового стандарта GSM-R, используемого в связи на ЖДТ.
2. Расскажите, какие подсистемы включает в себя система GSM-R.
3. Используя схему, расскажите о составе и назначении элементов оборудования системы GSM-R.
4. Охарактеризуйте цифровой стандарт GSM-R с частотно-временным разделением каналов.
5. Перечислите и охарактеризуйте основные функции, выполняемые железнодорожной системой радиосвязи стандарта GSM-R.
6. Проведите сравнительный анализ стандартов GSM-R и TETRA.

Глава 18. СОВРЕМЕННЫЙ СТАНДАРТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ DMR

18.1. Новый современный стандарт двухсторонней радиосвязи DMR

Стандарт DMR (Digital Mobile Radio) – это новое слово в истории создания и эксплуатации технологий профессиональной двусторонней радиосвязи.

Стандарт ETSI DMR предоставляет пользователям профессиональных систем связи ряд привлекательных преимуществ. Повышенная эффективность использования частотного ресурса и сокращение количества необходимого оборудования позволяют сэкономить значительные средства, а расширенная зона действия, более долгий срок автономной работы и дополнительные функции передачи «в обратном канале» помогают мобильным сотрудникам работать более эффективно и результативно.

С момента опубликования стандарта ETSI DMR в 2005 году производители систем радиосвязи переключили свое внимание на создание и выпуск продукции на основе этого стандарта. Компания Motorola, лидер рынка систем профессиональной двусторонней радиосвязи, в настоящее время выпустила на рынок семейство MOTOTRBO™.

Появление стандарта DMR (ETSI) – знаменательный этап развития профессиональной мобильной радиосвязи, укрепляющий позиции систем двусторонней радиосвязи как решения номер один для профессионалов, специфика деятельности, которых предусматривает мобильность и работу в сложных условиях.

Стандарт DMR (ETSITS102 361) предназначен в первую очередь для пользователей аналоговых систем профессиональной радиосвязи, работающих в лицензируемых диапазонах частот PMR. Как известно на смену аналоговым системам приходят цифровые системы, и поэтому существует множество причин, по которым этим пользователям имеет смысл перейти на стандарт DMR.

Рассмотрим некоторые из этих причин.

Повышенная эффективность использования частотного ресурса

Для многих пользователей систем двусторонней радиосвязи наиболее важное преимущество цифровых стандартов состоит в том, что они позволяют более эффективно использовать ресурс имеющихся лицензированных каналов. Эфир становится всё более и более загруженным, и прежние структуры лицензированных каналов, изначально разрабатывавшиеся для обслуживания небольшого числа пользователей, уже не способны справиться с возросшим уровнем трафика. Для повышения эффективности использования частотного ресурса протокол DMR (ETSI) использует доказавший свою эффективность метод TDMA в канале шириной 12,5 КГц, разделяемом на два временных слота. Это позволяет сохранить широко известные рабочие характеристики полосы

12,5 КГц и в то же время дает возможность универсальным образом, в зависимости от текущих потребностей, организовать связь заметно большего количества абонентов посредством имеющихся у организации лицензированных каналов. Например, два интервала в одном канале можно использовать для передачи двух отдельных вызовов. Можно также выделить один из интервалов для вызовов, а во втором одновременно осуществлять передачу данных или приоритетного трафика.

Наличие частот используемых в других стандартах

Средства Digital Mobile Radio (ETSI) выпускаются в том же частотном диапазоне, что и существующие лицензированные системы PMR. Пользователям не понадобится переходить на другие диапазоны или приобретать другие лицензии. Кроме того, отсутствует риск возникновения новых видов помех. Поэтому повышение эффективности использования частотного ресурса можно быстро и легко.

Более долгий срок работы аккумулятора

Одной из основных характеристик работы мобильных устройств всегда была продолжительность работы аккумулятора между подзарядками. Раньше существовало всего два способа увеличить время работы устройства от одного заряда аккумуляторов.

Первый – повысить емкость аккумулятора. Производители аккумуляторных батарей уже немало сделали для повышения емкости своей продукции, но дальнейшее улучшение характеристик в настоящее время возможно лишь за счет увеличения габаритов, а значит в ущерб портативности.

Другой способ – уменьшить мощность передатчика, самой энергопотребляющей части терминала двусторонней радиосвязи. Однако, это приведет к сужению зоны его действия и потенциальному возникновению помех от других устройств, что является неприемлемым компромиссом для профессиональной системы.

Стандарт DMR ETSI предлагает другой, весьма эффективный вариант. Так как один вызов занимает только один из двух интервалов TDMA, ему требуется только половина мощности передатчика. Половину времени – в неиспользуемый интервал – передатчик находится в режиме ожидания. При типичной рабочей нагрузке «5 % прием, 5 % передача, 90 % ожидание» примерно 80 % заряда аккумулятора расходуется во время передачи. Двухинтервальный протокол TDMA сокращает реальное время работы передатчика наполовину, тем самым экономит до 40 % электроэнергии, что способствует увеличению времени автономной работы в режиме разговора до 40 %. В результате общее потребление заряда аккумулятора во время вызовов значительно уменьшается, что позволяет дольше пользоваться терминалом от одной зарядки. Кроме того, ETSI DMR предусматривает применение технологий управления электропитанием и режима ожидания, которые способствуют еще большей экономии заряда аккумулятора.

Повышенное качество передачи речи, расширенная зона действия

Пользователям профессиональных систем двусторонней радиосвязи необходима четкая, непрерывная и надежная голосовая связь. Пропущенный вызов,

ошибка оператора, искаженное сообщение или севший аккумулятор могут привести к снижению производительности труда, напрасной трате времени и денег, недовольству заказчиков и потере бизнеса. В силу физических особенностей радиосвязи аналоговые системы могут страдать от ряда факторов, ограничивающих дальность их действия и четкость передачи речи. Любой сбой или искажение аналогового сигнала, вызванный внешними факторами, непосредственно влияет на качество речи, воспроизводимой приемником. Ослабленный сигнал можно усилить и ретранслировать, но изначальное качество речи восстановить невозможно. Наиболее часто встречающийся результат подобного ухудшения сигнала – повышение уровня шумов и дефектов передачи, из-за которых сигнал становится тем неразборчивее, чем ближе абонент подходит к границе реальной дальности действия терминала. Такое ухудшение качества связи может в лучшем случае просто действовать на нервы, а в худшем – ухудшаться и далее, пока речь не станет почти совершенно неразборчивой.

В системах же стандарта DMR ETSI используются средства исправления ошибок, позволяющие воспроизвести речь практически в оригинальном качестве, и вне зависимости от того, в какой точке зоны действия сети находится абонент. Хотя цифровой радиосигнал системы DMR подвержен тем же физическим воздействиям, что и сигнал аналоговой системы, при ухудшении силы передаваемого сигнала цифровой трафик может дойти до получателя неповрежденным, даже если мощность сигнала упадет экспоненциально.

Цифровые приемники стандарта DMR просто отбрасывают все данные, которые они считают ошибочными. Хотя «грязный» сигнал может привести к возникновению дефектов в звуке, воспроизводимом цифровым приемником, например, к краткому пропаданию звука или всплеску «механического» шума, однако, он никогда не приведет к постоянным помехам, которые возможны в аналоговых системах, при работе в сложных условиях. Если приемник стандарта DMR может «понять» цифровой речевой сигнал, то он может декодировать его и четко воспроизвести речь. Более того, в состав типового декодера Digital Mobile Radio (выбранного решением DMR MoU) входит система подавления фонового шума на уровне передатчика. Поэтому, например, шум толпы или проезжающих железнодорожных составов даже не передается, и поэтому принимающая сторона его не слышит.

18.2. Новизна и универсальность возможностей стандарта DMR

В традиционных системах двусторонней радиосвязи FDMA каждый вызов занимает целый канал. Поэтому в одном канале можно передавать только один полудуплексный вызов. Так как в стандарте DMR применяется протокол TDMA, эти технические ограничения на него не распространяются. Два временных слота можно использовать для передачи двух полудуплексных вызовов без необходимости подключения дополнительного оборудования и риска снижения качества связи. Можно также использовать второй слот для других це-

лей: например, для передачи сигналов по обратному каналу. Эту функцию можно использовать для управления приоритетными вызовами, дистанционно-го управления передающим терминалом, разъединения вызова с более низким приоритетом для осуществления экстренного вызова и так далее. Второй временной слот также можно использовать для передачи данных приложений – к примеру, текстовых сообщений или данных о местоположении – параллельно с речевым трафиком. Эта возможность будет полезна, например, диспетчерским системам, в которых сотрудникам передаются указания, как в речевой, так и визуальной форме.

Стандарт DMR также предоставляет свободу действий в случае появления новых приложений, использующих два временных слота каким-либо новым образом. Он не только защищает первоначальные инвестиции, но и открывает путь к внедрению новых способов использования цифровых систем двусторонней радиосвязи. Так, например, в стандарте DMR предусмотрена возможность временного объединения слотов для повышения скорости передачи данных, а также одновременное использование обоих слотов для осуществления полнодуплексных индивидуальных вызовов. В будущем появятся и другие возможности, обусловленные реальными потребностями пользователей профессиональных систем двусторонней радиосвязи. Средства связи стандарта DMR дают возможность уже сейчас воспользоваться такими преимуществами, как удвоенная емкость сети и передача сигналов по обратному каналу, а в будущем добавить к ним и другие функции по мере их появления.

Уменьшение стоимости оборудования

Оборудование стандарта DMR ETSI, по сути своей одноканальное, позволяет организовать два канала связи. Благодаря этому вдвое сокращается количество ретрансляторов и соединительного оборудования. А так как уменьшаются потери в соединительном оборудовании, увеличивается общая зона действия системы. Стандарт DMR Digital Mobile Radio (DMR) является стандартом цифровой радиосвязи, разработанным для пользователей профессиональной цифровой радиосвязи, разработанным для пользователей профессиональной мобильной радиосвязи («PMR» – «professional mobile radio») Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI).

Стандарт предназначен для работы в рамках существующих лицензируемых частотных диапазонов с разносом каналов 12,5 кГц, используемых в сухопутной подвижной радиосвязи. DMR обеспечивает передачу голоса, данных и других дополнительных услуг.

Гибкость, заложенная в рамках стандарта DMR, позволяет реализовывать решения не только в классических диапазонах 136–174 МГц и 403–470 МГц, но во всем спектре частот от 50 МГц до 999 МГц. Причем дуплексный разнос, для решений с применением точки ретрансляции допускается любым, в том числе классические 4,6 МГц для диапазона 160 МГц и 45 МГц для диапазона 900 МГц. Дуплексный разнос определяется 15 битной сигнальной последовательностью в структуре цифрового кода стандарта DMR.

На данный момент Motorola выпускает оборудование MotoTRBO для трех диапазонов частот: (VHF) 136–174 МГц, (UHF1) 403–470 МГц и (UHF2) 470–512 МГц. Длительность временного интервала, организующего один логический канал, составляет 30 мс. Из них 27,5 мс отведены под полезную нагрузку, составляющую: 216 бит и 48 сигнальных битов. Защитный межинтервальный разнос – 2,5 мс. Канальная скорость передачи данных составит около 2 кбит/с. В случае передачи пакетных данных следует учитывать, что в зависимости от длины IP-пакетов процент полезных данных будет снижаться за счет заголовков IP-пакетов, что показано на рисунке 110.

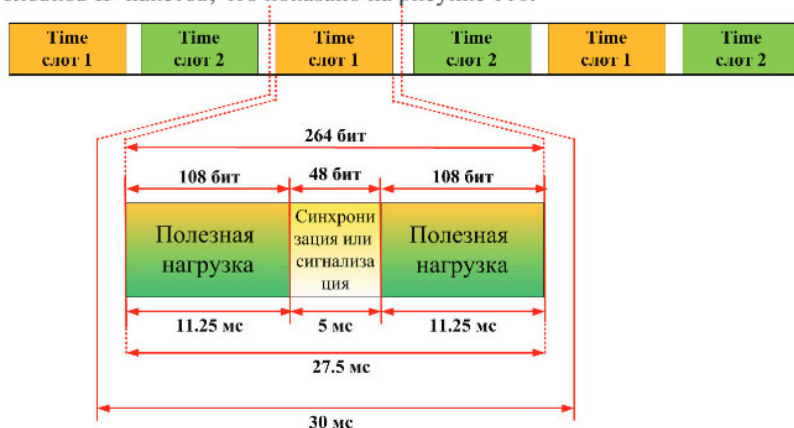


Рисунок 110 – Снижение полезной нагрузки за счет заголовков IP-пакетов

Каждая посылка имеет максимальную длительность 30 мс, 27,5 мс в которой содержится 264 бит информации. 216 бит полезной нагрузки позволяет передавать 60 мс сжатой речи

С самого начала компания Motorola принимала активное участие в разработке стандарта. Благодаря постоянным исследованиям и разработкам в области подвижной радиосвязи, Motorola имеет большое количество патентов. Некоторая часть этих патентов является неотъемлемой частью стандарта DMR, и используется всеми производителями оборудования DMR.

Огромным преимуществом стандарта DMR является увеличение эффективной зоны покрытия и при этом обеспечивается постоянное качество связи по всей зоне покрытия, гораздо более ощутимое подавление помех, возможность работать с различными видами сигналов. Подводя итоги можно выделить следующие преимущества DMR:

- Временное разделение канала на два тайм-слота ведет к двойной экономии частотного ресурса и заряда аккумуляторов.
- Двойная экономия средств, так как вдвое сокращается и количество ретрансляторов и соединительного оборудования.
- Передовые технологии обработки голоса, подавления помех.

- Возможность эффективного кодирования и защиты от несанкционированного доступа к передаваемой информации.
- Улучшенное качество связи по всей зоне покрытия.
- Большие возможности, заложенные в технологии, потенциал для реализации нестандартных решений.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите о новом, современном стандарте двусторонней радиосвязи DMR.
2. Охарактеризуйте, чем обуславливается повышенная эффективность использования частотного ресурса в стандарте DMR.
3. Расскажите о технологических решениях, в результате которых обеспечивается более долгий срок работы аккумулятора, повышенное качество передачи речи и расширенная зона действия.
4. Расскажите, в чем заключается универсальность и широта новых возможностей стандарта DMR.

Глава 19.

КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

19.1. Общие сведения о конвенциональных радиосетях обмена данными на железнодорожном транспорте

Рассматриваемые в данной главе радиосети являются составной и неотъемлемой частью единой взаимоувязанной технологической системы связи ОАО «РЖД», уже использующей средства связи стандартов GSM-R (GSM Railway – стандарт GSM для железной дороги) и TETRA (Terrestrial Trunked Radio).

Оперативно-технические характеристики рассматриваемых радиосетей позволяют существенно расширить возможности в части передачи информации о разрешенных параметрах движения поезда или локомотива, обеспечить надежность функционирования систем интервального регулирования с использованием радиоканала и аппаратуры спутниковой навигации, развернуть резервные каналы сбора данных и управления средствами железнодорожной автоматики и электроснабжения.

В данной главе будут рассмотрены вопросы применения конвенциональных радиомодемов ультракоротковолнового диапазона для построения подвижных технологических радиосетей обмена данными, обеспечивающих функционирование автоматизированных систем управления различного назначения на железнодорожном транспорте.

В настоящее время широкое распространение в системах связи, обеспечивающих работу железнодорожного транспорта, получили перспективные средства связи стандартов GSM-R и TETRA. Оба эти стандарта имеют свои неоспоримые преимущества и недостатки. Это является одной из причин того, что, например, на территории Европы в настоящее время в интересах обеспечения железнодорожных перевозок продолжают эксплуатироваться более 30 других систем связи, а процесс интеграции предусматривает поддержку действующих национальных систем.

С целью оценить технические возможности систем связи различных стандартов на железнодорожном транспорте в ОАО «РЖД» был создан опытный участок в районе Екатеринбург–Камышлов, протяженностью 153 км, на котором были развернуты две сети: GSM-R и TETRA. По результатам проведенных испытаний российские технические эксперты пришли к выводу о том, что обе системы имеют право на жизнь и у каждой есть свои преимущества и недостатки, поэтому каждая из систем должна использоваться в приложениях, в которых ее преимущества проявляются наиболее полно.

Средства связи этих стандартов должны интегрироваться с существующими системами аналоговой и цифроаналоговой радиосвязи, работающими в диапазонах частот 2 и 160 МГц, и иметь единую систему мониторинга и администрирования радиосетей, что накладывает дополнительные требования

к стандартизации аппаратуры связи и применению в их составе типовых интерфейсов.

По оценке ведущих специалистов отрасли, в вопросах, касающихся обеспечения безопасности движения поездов, необходимо в максимальной степени ориентироваться на частотные ресурсы, выделенные непосредственно для нужд ОАО «РЖД». Выбор частотных ресурсов для каждой из систем должен определяться с учетом ряда требований. Основные из них – электромагнитная совместимость (ЭМС) радиосвязи различных систем управления, высокий уровень надежности каналов передачи данных, а также требования систем управления по объемам и скорости передачи данных.

С учетом этих требований рекомендовано ориентироваться на следующее примерное распределение частотного ресурса для построения систем управления движением:

- 2 МГц – резервирующий радиоканал систем управления соединенных и тяжеловесных поездов;
- 160 МГц – радиоканалы систем управления соединенных и тяжеловесных поездов, станционных систем передачи данных на малодеятельных участках, резервирующий канал при использовании в системах управления радиосетей общего пользования;
- 460 МГц (система TETRA) – системы управления маневровыми локомотивами на станциях;
- 900/1800 МГц – система GSM-R, обеспечивающая поездную радиосвязь и системы интервального регулирования движения поездов на скоростных и высокоскоростных участках;
- 1800, 2400 МГц (системы DECT, Wi-Fi, WiMAX) – станционные высокоскоростные сети передачи данных для информационно-управляющих систем, организации видеонаблюдения.

Таким образом, в составе системы связи ОАО «РЖД» применяются и планируются к дальнейшему использованию средства связи и обмена данными, функционирующие практически во всем доступном диапазоне радиоволн, а наиболее актуальными являются технические решения, обеспечивающие надежный обмен данными между стационарными пунктами управления и подвижным составом.

19.2. Ограничения систем связи стандартов GSM-R и TETRA по обмену данными

Очень часто люди путают понятия *информация* и *данные* или считают их синонимами. Однако это не так.

Информация – факты, события, вещи, процессы, идеи, понятия или иные касающиеся объектов знания, которые имеет особое значение в определенном контексте.

Данными (data) называют формализованный способ представления информации в понятной для человека и / или машины форме (отформатированной

специальным образом), которую можно использовать для общения, траловки, сохранения или обработки.

Одно из наиболее актуальных требований к современной системе связи — возможность обеспечения эффективного обмена данными. Системы связи GSM-R и TETRA изначально создавались как многоканальные «голосовые», предусматривающие обмен речевыми сообщениями между значительным количеством абонентов в географических зонах с высокой плотностью населения. Для решения этой задачи они на сегодня подходят больше всего.

Однако обмен данными предъявляет несколько иные требования к средствам связи. Более того, эффективность адаптированной для передачи данных системы «голосовой» связи серьезно зависит от характера передаваемых данных.

Принципы работы, направленные на оптимизацию голосовой связи в транковой системе, во многом являются серьезным ограничением при обмене данными. Например, в ней отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период установления связи. С этой целью в такой системе используются один служебный и группа информационных каналов. Запрос на доступ к информационному каналу, по которому производится речевой обмен, принимается по служебному каналу связи. При получении запроса от абонента система автоматически находит свободный информационный канал и предоставляет доступ к нему. Если один канал в системе уже занят, а другая группа абонентов пытается установить связь, то система автоматически предоставит второй канал в их распоряжение. Относительно быстрая смена каналов связи для одних и тех же абонентов в процессе сеанса связи позволяет использовать паузы в переговорах одной группы абонентов для обеспечения связью другой. В результате при прочих равных пропускная способность у транковой системы при обмене голосовыми сообщениями оказывается в разы выше, чем у обычной (конвенциональной) системы «голосовой» связи.

В настройках транковых систем предусмотрена дополнительная задержка после завершения передачи очередного «голосового» сообщения, длительность которой может составлять до нескольких секунд. Это позволяет удерживать активных абонентов на одном канале и снизить нагрузку на служебный канал, связанную с переводом абонентов между информационными каналами.

Такие прекрасные технические решения для голосовой связи оказываются абсолютно неэффективными при обмене данными. «Голосовые» сообщения имеют достаточно большую длину (продолжительность при передаче) по сравнению с данными. Если возникающие при выделении абоненту информационного канала задержки являются практически незаметными при переговорах, то для системы обмена данными они оказываются неприемлемыми.

Например, в транковых системах задержка в предоставлении доступа к каналу связи составляет не менее 300 мс (это лучший показатель), а в GSM-R — до нескольких секунд. За это время в конвенциональной системе может быть передано до нескольких десятков коротких сообщений.

Серьезным ограничением является и пропускная способность служебного канала. В случае с «голосовыми» сообщениями интенсивность поступления запросов в служебный канал относительно невысока – активность работы абонентов учитывается при проектировании радиосети и реально поддерживается на низком уровне в повседневной обстановке. Возрастание интенсивности работы в аварийных ситуациях может компенсироваться за счет предоставления более высоких приоритетов отдельным группам абонентов за счет других. В случае с передачей данных интенсивность поступления запросов оказывается как минимум на порядок выше, и служебный канал объективно не в состоянии с ними справиться. Выделение дополнительного служебного канала за счет сокращения числа информационных каналов, оказывается также неэффективным. В аварийных ситуациях, как правило, отсутствует возможность предоставления приоритета одному элементу АСУ за счет другого, поскольку это приводит к срыву нормальной работы последнего. Таким образом, пропускная способность служебного канала в случае использования транковой системы для обмена данными оказывается критическим ограничением.

Существенный недостаток сетей GSM-R, как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS и EDGE – недетерминированная задержка в доставке данных. Работа значительной части АСУ настраивается с учетом времени, необходимого на передачу запросов и получение ответов на эти запросы. Чем меньше допустимые предельные значения параметров доставки сообщений, тем эффективнее работа АСУ. В случае использования для обмена данными радиосетей GSM-R параметры предельно допустимых задержек при доставке сообщений приходится увеличивать, снижая тем самым эффективность работы АСУ.

Возможность использования единой радиосети (а следовательно, и единого радиочастотного ресурса) для обмена «голосовыми» сообщениями и данными может рассматриваться как серьезное преимущество в радиосетях общего пользования. Действительно, многие на себе ощутили все удобства работы в информационной сети Интернет и одновременного общения по телефону в том же канале. Однако в технологических радиосетях такое решение оказывается принципиально неприемлемым. Работа АСУ требует строго детерминированного потока данных и задержек, а обеспечить выполнение этого требования при наличии «голосового» потока невозможно потому, что любой абонент будет говорить столько, сколько посчитает нужным, и тогда, когда ему это потребуется.

Практический опыт показывает, что относительно высокая надежность такой радиосети может быть достигнута, если для передачи данных требуется не более 15 % пропускной способности всей сети, и только при отсутствии резких «всплесков» в объеме «голосовых» сообщений, что в принципе невозможно в ответственных технологических радиосетях.

Таким образом, эффективные технические решения по оптимизации голосовой связи в современных радиосетях стандартов GSM-R и TETRA оказались серьезным ограничением для этих систем в части обмена данными.

Практический опыт показывает, что возможности обеих этих систем связи по обмену данными могут быть кардинально улучшены за счет интеграции в их состав специализированного конвенционального оборудования.

19.3. Возможности конвенциональных радиосетей по обмену данными

Перечисленные выше ограничения полностью отсутствуют в конвенциональных технологических радиосетях. Доступ к радиоканалу в таких радиосетях осуществляется напрямую, без использования промежуточного служебного канала, поэтому описанные выше задержки, полностью отсутствуют. Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях

Наименование параметра	Радиосеть GSM-R ¹			Радиосеть TETRA	Конвенциональная радиосеть ²
	CSD ³	GPRS real COM	GPRS «клиент-сервер»		
Средняя задержка в канале ⁴ , мс	600	500	1300	>300	25
Минимальная/максимальная задержка в канале, с	500/900	300/1500	100/3900	>500	22,5/27,5
Заявленная скорость обмена данными, кбит/с	9,6	171,2 ⁵	171,2	28,8 ⁶	64
Средняя пропускная способность канала, кбит/с	8,168	5,152	4,904	—	—
Минимальная/максимальная пропускная способность канала, кбит/с	7,520/ 8,960	1,520/ 14,296	0,336/ 9,520	2,4/ 4,8	23,46/ 114,27

Примечания:

1 – данные приведены для реального сегмента сети сотовой связи стандарта GSM (GSM/GPRS технологии в системах промышленной автоматики Control Engineering).

2 – здесь и далее рассматриваются подвижные конвенциональные радиосети на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 (www.calamp.com).

3 – Circuit Switched Data – технология передачи данных, разработанная для мобильных телефонов стандарта GSM. CSD использует один временной интервал для передачи данных на скорости 9,6 кбит/с в подсистему сети и коммутации, где они могут быть переданы через эквивалент нормальной модемной связи в телефонную сеть.

4 – время от передачи запроса до получения доступа к каналу связи и готовности к передаче сообщения.

5 – максимальная теоретическая скорость обмена данными при использовании всех восьми тайм-слотов в полосе 200 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).

6 – максимальная скорость обмена данными при использовании всех четырех тайм-слотов в полосе 25 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).

Для повышения объективности представленных в таблице 23 данных необходимо отметить, что замеры параметров работы радиосети GSM производились на конкретном сегменте сотовой сети связи конкретного оператора и в конкретный период времени. Эти данные могут отличаться в зависимости от текущей нагрузки на сеть сотовой связи. Стабильность параметров функционирования такой радиосети в части пропускной способности может быть обеспечена только за счет выделения для обмена данными отдельных канальных и частотных ресурсов.

Анализ представленных в таблице 23 данных показывает следующее:

- При работе в режиме CSD обеспечивается наиболее стабильный обмен данными, однако даже в этом случае разница между минимальным и максимальным значениями пропускной способности составляет около 12 %, а собственно скорость обмена данными относительно мала.
- Разница между минимальным и максимальным значением пропускной способности при работе с использованием GPRS составляет около 94 и 280 % для GPRS real COM и GPRS «клиент–сервер» соответственно. Низкая стабильность данных показателей связана с одновременным использованием радиосети для обмена речевыми сообщениями, поток которых не может быть детерминирован.
- Поскольку использование технологической радиосети связи стандарта TETRA предусматривается для подвижного приложения, в ней должны быть реализованы функции помехозащищенности. Номинальная скорость обмена данными в такой радиосети при обеспечении высокой помехозащищенности может составлять от 2,4 (один «тайм-слот») до 4,8 кбит/с (два «тайм-слота»). Использование для обмена данными большего количества «тайм-слотов» делает радиосеть неэффективной с точки зрения обмена «голосовыми» сообщениями, что является основной задачей такой радиосети.
- В конвенциональной технологической радиосети обмена данными предусматривается только высокая помехозащищенность. Пропускная способность такой радиосети будет в значительной степени зависеть от применяемого встроенного метода сжатия данных, однако для одинаковых потоков данных и выбранных методов сжатия параметры стабильности пропускной способности будут неизменными на протяжении всей эксплуатации.
- Даже при условии использования всех радиочастотных ресурсов («тайм-слотов») пропускная способность радиосетей GSM-R и TETRA в части обмена данными оказывается ниже по сравнению со специализированными конвенциональными радиосетями. Это отставание является системным и сохранится в перспективе.

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте включает в себя сеть базовых станций (БС), устанавливаемых вдоль железнодорожного пути и соединенных каналами магистральной проводной или беспроводной связи с пунктами сбора данных и управления.

Каждая БС обеспечивает связь с группой поездов, находящихся в ее оперативной зоне. В современной радиосети для железной дороги, зоны смежных базовых станций (БС) полностью перекрывают друг друга, в результате чего формируется единая оперативная зона с повышенной надежностью и живучестью. Переключение поездов на работу с соседней станцией («хэндовер») осуществляется автоматически. Учитывая, что рассматриваемое оборудование для конвенциональных радиосетей обмена данными использует открытый протокол ТСР/ІР, наращивание комплектов оборудования и создание многоканальных базовых станций в составе радиосети, равно как сопряжение с любой современной автоматизированной системой управления, не представляет трудностей. Типовые схемы конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте представлены на рис. 111 и 112.

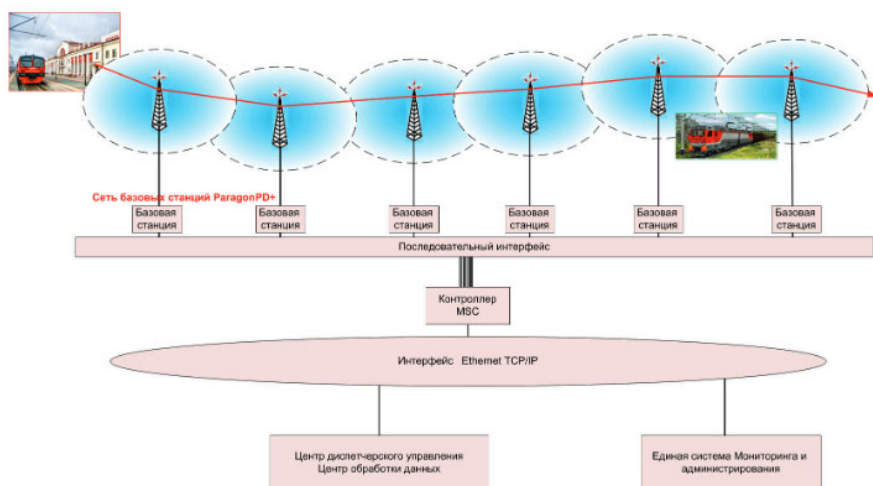


Рисунок 111 – Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования ParagonPD+

Принципиальным различием двух рассматриваемых схем является использование в первой из них последовательных интерфейсов, по которым каждая базовая станция ParagonPD+ подключается к многобазовому контроллеру MSC (Multi-site controller), выполняющему функции централизованного технического управления и сопряжения с взаимоувязанной сетью проводной связи и обмена данными ОАО «РЖД». Во втором случае применяется единый для всей конвенциональной технологической радиосети обмена данными интерфейс Ethernet и используется стандартное сетевое оборудование. Однако обе рассматриваемые схемы в полной мере удовлетворяют требованиям ОАО «РЖД» которые направлены на создание единого информационного пространства, ин-

тегрированного с информационными системами других видов транспорта и промышленности, а также иностранных железных дорог.

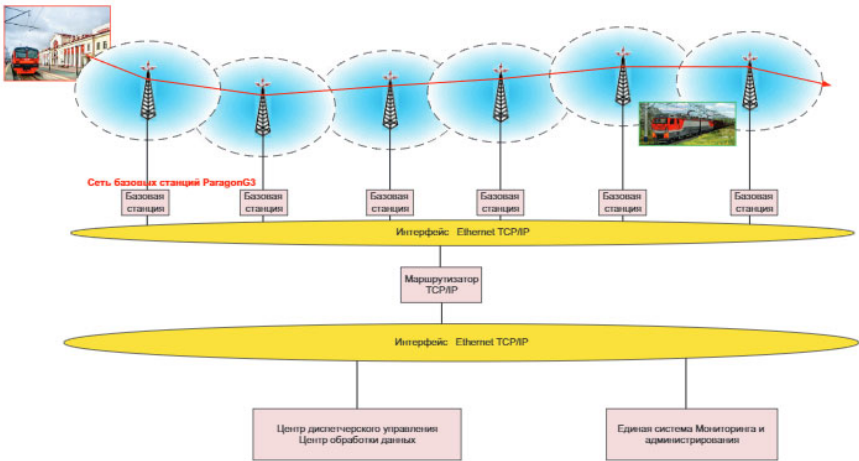


Рисунок 112 – Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования ParagonG3

Следует помнить, что надежность любой системы определяется, в том числе, количеством входящих в ее состав компонентов и отдельных узлов: чем меньше их количество, тем проще, при прочих равных, обеспечить необходимый уровень надежности и живучести системы в целом. Это в полной мере относится к количеству базовых станций в составе технологической радиосети обмена данными: чем их меньше, тем проще система управления и обеспечения их работоспособности.

В настоящее время серийно выпускается оборудование для создания конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными в диапазонах 132–174, 215–240, 403–512, 700, 800 и 900 МГц. Типовые технические характеристики радиомодемов для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными представлены в таблицах 25, 26 и 27.

Таблица 25 – Технические характеристики базовых радиомодемов DATARADIO PARAGONG3 для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными

Общие характеристики		ParagonG3	
Диапазон рабочих частот, МГц	403–512	Передача: 762–773	Передача: 851–869
		Прием: 792–803	Прием: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Габаритные размеры (Ш×В×Г), см	192,6×56,0×81,3		
Потребление тока в режиме передачи, В	20 А/13,8 (ном.)	24 А/13,8 (ном.)	28 А/13,8 (ном.)
Рабочая температура, °С	–30...+60		

Общие характеристики		ParagonG3		
Температура хранения, °C		-40...+70		
Режим работы		Дуплекс, 100 % цикл		
Избирательность, дБ		75 (50 кГц), 85 (25 кГц)		
Программная синхронизация		Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность		1×10-9 (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Защита данных		128-битный ключ		
Приемник				
Избирательность	50 кГц	-	75	-
	25 кГц	87		85
Интермодуляция	50 кГц	-	80	-
	25 кГц	85	-	80
Побочное излучение, дБм		-90 – 4 ГГц		
Чувствительность, дБм (1 % поврежденных пакетов на несущей частоте с применением технологии параллельного декодирования)		-98 (64 кбит/с)	-96 (128 кбит/с)	-95 (64 кбит/с)
		-104 (48 кбит/с)	-102 (96 кбит/с)	-101 (48 кбит/с)
		-110 (32 кбит/с)	-108 (64 кбит/с)	-107 (32 кбит/с)
Передатчик				
Выходная мощность, Вт		20-100	35-70	20-70

**Таблица 26 – Технические характеристики бортовых радиомодемов
DATARADIO GEMINI3 для конвенциональных подвижных
технологических радиосетей обмена данными**

Общие характеристики		GeminiG3	
Диапазон рабочих частот, МГц	403–460, 450–512	Прием: 792–803	
		Передача: 762–773	
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Скорость обмена данными, кбит/с	32,0; 48,0 или 57,6 в канале с шагом сетки 25 кГц	64,0; 96,0 или 128,0 в канале с шагом сетки 50 кГц	
Габаритные размеры (Ш×В×Г), см	15,4×5,1×18,2		
Количество каналов	32 (программируемые каналы, удаленная настройка)		
Режим работы	полудуплекс		
Питающее напряжение, В	13,6 (ном.); 10,9–16,3		
Рабочая температура, °C	–30...+60		
Защита данных	AES 128-бит		
Защита по питанию	15 А (внешний предохранитель), защита от переполюсовки		
Потребляемый ток:			
передача при 13,3 В, А	<12 А		
прием при 13,3 В, мА	<750 (включая навигационный приемник)		
Приемник			
Чувствительность, дБм	–98 (64 кбит/с)	–94 (128 кбит/с)	
	–104 (48 кбит/с)	–100 (96 кбит/с)	
	–108 (43,2 кбит/с)	–106 (64 кбит/с)	
	–110 (32 кбит/с)	–	
Избирательность, дБ	77, номинально	68, номинально	
	>75 мин. (25 кГц)	>65 мин. (50 кГц)	

Окончание таблицы 26

Общие характеристики	GeminiG3	
Интермодуляция, дБ	80, номинально	78, номинально
	>75 мин.	>75 мин.
Передатчик		
Время атаки передатчика	<10 мс (отклонение не более 1 мс)	
Выходная мощность, Вт	10–40	10–35
Модем		
Коррекция ошибки	Гиперкод	
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала	
Достоверность	1×10 ⁻⁹ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)	
Частота появления ошибок	<1 % @ –107 с коррекцией ошибки на скорости 32,0 кбит/с;	
	<1 % @ –110 с коррекцией ошибки на скорости 25,6 кбит/с;	
	<1 % @ –112 с коррекцией ошибки на скорости 19,2 кбит/с	
Защита данных	128-битный ключ	
Протокол обмена данными	TCP/IP	

Таблица 27 – Технические характеристики радиомодемов DATARADIO VIPER для конвенциональных стационарных и подвижных технологических радиосетей обмена данными

Общие характеристики	Dataradio Viper-SC	
Диапазон частот, МГц	136–174	215–240
Шаг сетки частот, кГц	6,25; 12,5; 25; 50 (настраивается программно)	
Потребляемый ток	присм	480 мА (10 В);
		250 мА (20 В);
		180 мА (30 В)
	передача 40 дБм (10 Вт)	4,6 А (10 В);
		2,04 А (20 В);
		1,37 А (30 В)
	передача 30 дБм (1 Вт)	1,23 А (10 В);
		630 мА (20 В);
		440 мА (30 В)
Номинальная задержка при холодном старте, с	20	
Рабочее напряжение, В	10–30, постоянный ток	
Рабочая температура, °С	–30...+60	
Допустимая влажность, %	5–95, без образования конденсата	
Габаритные размеры (Ш×Г×В), см	13,97×10,80×5,40	
Масса (в упаковке), кг	1,1	
Рабочий режим	симплекс или полудуплекс	

Окончание таблицы 27

Общие характеристики		Dataradio Viper-SC	
		Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10 ⁻⁶), дБм	50 кГц	–111 (32 кбит/с)	
		–104 (64 кбит/с)	
		–97 (96 кбит/с)	
		–88 (128 кбит/с)	
	25 кГц	–114 (16 кбит/с)	
		–106 (32 кбит/с)	
		–100 (48 кбит/с)	
		–92 (64 кбит/с)	
	12,5 кГц	–116 (8 кбит/с)	
		–109 (16 кбит/с)	
		–102 (24 кбит/с)	
		–95 (32 кбит/с)	
6,25 кГц	–115 (4 кбит/с)		
	–106 (8 кбит/с)		
	–100 (12 кбит/с)		
	Подавление помех по соседнему каналу, дБ	45 (6,25 кГц),	
60 (12,5 кГц),			
70 (25 кГц),			
75 (50 кГц)			
Интермодуляция, дБ	>75		
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц);		
	>60 (12,5 кГц);		
	>55 (6,25 кГц)		
Передатчик			
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	25	
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10		
Рабочий цикл, %	100		
Стабильность частоты, ppm	1,0		
Модем			
Скорость, кбит/с	4, 8, 16, 32, 64 или 128		
Интерфейс	Последовательный RS-232, Ethernet 10Base-T		
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача		

В радиосетях стандартов GSM-R и TETRA, предусматривается использование не только мобильных, но и носимых связных терминалов с невысокой выходной мощностью (обычно 0,9–3 Вт). В конвенциональных технологических радиосетях применяются терминалы с выходной мощностью 20–45 Вт.

Это обеспечивает большую, по сравнению радиосетями GSM-R и TETRA, зону покрытия с позиции одной БС, поскольку размер оперативной зоны БС на практике будет определяться максимально возможной дальностью связи для самого маломощного оборудования, работающего в составе радиосети.

Подавляющее большинство выпускаемого оборудования имеет встроенные средства диагностики, обеспечивающие удаленный доступ к текущим данным технического состояния. Использует открытые интерфейсы, включая широко

применяемый протокол обмена данными TCP/IP, что позволяет эффективно и просто интегрировать их в Единую систему мониторинга и администрирования технологической связи ОАО «РЖД», а также в системы технологической связи промышленного железнодорожного транспорта и метро.

Некоторые сравнительные характеристики базового оборудования для создания радиосетей GSM-R, TETRA и конвенциональных радиосетей представлены в таблице 28.

Анализ представленных в таблице 28 данных показывает, что оборудование для создания конвенциональных радиосетей может быть эффективно применено в качестве дополнительного для обеспечения обмена данными во всех диапазонах радиоволн ультракоротковолнового диапазона, предусмотренных к использованию в ОАО «РЖД».

С точки зрения теории распространения радиоволн и учитывая протяженность российской сети железных дорог для организации поездной радиосвязи и системы интервального регулирования движения поездов на всех участках, включая скоростные и высокоскоростные, наиболее целесообразно использовать средства обмена данными, работающие в более низких по сравнению с GSM-R диапазонах волн, например 450 МГц. Понятно, что в этом случае число базовых станций, необходимых для покрытия заданной оперативной зоны, будет существенно меньше по сравнению с количеством БС, работающих в диапазонах 900/1800 МГц.

Следует учитывать, что при построении конвенциональных технологических радиосетей обмена данными на рассматриваемом оборудовании в качестве магистральных каналов связи для удаленного подключения БС допускается применение любых каналов связи соответствующей пропускной способности, в то время как в радиосетях GSM-R и TETRA в качестве основных предусмотрено использование дорогостоящих каналов связи E1. В связи с этим развертывание инфраструктуры конвенциональных радиосетей оказывается намного дешевле.

Увеличение скорости обмена данными и пропускной способности конвенциональной радиосети достигается не только за счет наращивания комплектов оборудования для обслуживания дополнительных каналов связи (как и в радиосетях GSM-R и TETRA), но и использованием оборудования с более широкой полосой пропускания. В настоящее время серийно выпускается комплект оборудования для работы в канале шириной 50 кГц. Которые представляют собой два соседних канала по 25 кГц со скоростью обмена данными 128 кбит/с. Эффективность этого оборудования, производимого уже более четырех лет, оказывается несколько выше, чем у перспективной цифровой транковой системы связи и обмена данными TEDS (TETRA Enhanced Data System).

Таблица 28 – Сравнительные характеристики оборудования для создания радиосетей GSM-R, TETRA и конвенциональных радиосетей

Наименование параметра	GSM-R	TETRA	ParagonG3/GeminiG3	Viper-SC
Диапазон рабочих частот, МГц	876–880 921–925	380–400; 410–430; 450–470 806–825 851–870 871–876 915–921	403–512 700 800	136–174 215–240 406–470 470–512 928–960
Количество доступных рабочих частот/каналов	19/152	до 1200/4800 в каждом поддиапазоне	4360/440/720	1520/1000/2560/1680/1280
Шаг сетки радиочастот, кГц	200	25; 12,5	50; 25; 12,5; 6,25	50; 25; 12,5; 6,25
Выходная мощность базового оборудования, Вт	20–320	25	20–100; 35–70; 20–70	до 10
Дуплексный разнос частот, МГц	45	45	любой; 30; 55	>5
Выходная мощность мобильного терминала, Вт	до 10	до 10	10–40; 10–35; 10–35	до 10
Выходная мощность носимого терминала, Вт	до 2	до 3	–	–
Номинальная дальность радиосвязи, км	8–10	12–15	25–30	25–30
Минимально допустимый уровень сигнала, дБм	–95	–115	–96 (128 кбит/с) –98 (64 кбит/с) –110 (32 кбит/с)	–116
Время установления соединения, мс	3000–7000	>300	25	25
Время аварийного вызова, мс	2000	>300	25	25
Функциональные возможности	Динамическая адресация, индивидуальный вызов по номеру поезда, аварийный и приоритетный вызовы, связь в пределах поезда, аварийная остановка поезда, группирование абонентов	Индивидуальный и групповой вызов	Динамическая адресация, использование индивидуальных, групповых и циркулярных адресов, вызов по номеру поезда или машиниста, гарантированное доведение информации, трансляция навигационных данных, точная остановка поезда	Динамическая адресация, использование индивидуальных, групповых и циркулярных адресов

Современные конвенциональные радиосети, используемые для обмена данными, являются надежным средством обеспечения бесперебойной работы АСУ на ЖДТ. Они позволяют существенно расширить и дополнить возможности внедряемых и действующих систем связи GSM-R и TETRA в части передачи информации о разрешенных параметрах движения поезда, обеспечения надежности функционирования систем интервального регулирования с использованием радиоканала и аппаратуры спутниковой навигации, функционирования резервных каналов сбора данных и управления средствами железнодорожной автоматики и энергоснабжения. Современные подвижные автоматизированные системы управления, работают в режиме времени, близком к реальному. Такие радиосети являются наиболее эффективным и практически единственным надежным решением в организации связи с подвижными объектами на железнодорожном транспорте.

Вопросы для самоконтроля:

1. Общие сведения о конвенциональных радиосетях обмена данными на железнодорожном транспорте.
2. Расскажите о принципах построения конвенциональных сетей радиосвязи.
3. Перечислите и охарактеризуйте ограничения систем связи стандартов GSM-R и TETRA по обмену данными.
4. Перечислите и охарактеризуйте возможности конвенциональных радиосетей по обмену данными.

Глава 20.

СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТОВ DMR-TETRA

20.1. Сравнительный анализ стандартов DMR-TETRA

Анализируя аналоговые технологии передачи информации, и цифровые, мало кто усомнится в превосходстве цифровых технологий. Сложнее делать выбор между двумя цифровыми стандартами. Далее рассмотрим и сравним два наиболее популярных как в Европе, так и в России два стандарта – DMR и TETRA. Данный материал может помочь вам сделать правильный выбор технологии для решения задач коммуникации.

Стоимость оборудования часто играет ключевую роль при формировании проекта. Зона покрытия базовой станции TETRA обычно в два-три раза меньше, чем у DMR, поэтому и количество сайтов в системе TETRA на ту же территорию будет больше. Таким образом, средняя система TETRA оказывается в 3–5 раз дороже варианта в DMR на тот же объект. Если учесть, что основной функционал в обоих стандартах примерно одинаковый, требуются серьезные основания для выбора более дорогой TETRA.

Транкинговая система TETRA выгодна для коммуникаций в среде с большой аудиторией пользователей, плотным трафиком, как в телефонной сети с расчетом на тысячи абонентов, сосредоточенных на небольшой площади.

В общем случае TETRA лучше подойдет для средних и крупных сетей городского значения, или для коммуникации большого предприятия. Спектральная эффективность TETRA, меньший радиочастотный ресурс могут создать проблемы в виде повторного использования частот с избирательностью по соседнему каналу и непрерывностью работы управляющего канала.

DMR же без каких-либо оговорок предоставляет 6,25 кГц на канал. К системам DMR предъявляются более жесткие требования к надежности связи на большой площади покрытия, с меньшим вниманием к абонентской емкости.

Тем не менее, в случае миграции с аналоговой радиосистемы TETRA – это революционное решение, в то время как DMR – эволюционное.

TETRA – открытый стандарт, разработанный Европейским институтом стандартов систем телекоммуникаций (ETSI Standard 300 392) Основной его целью было описание серии открытых интерфейсов, которые давали независимым производителям возможность разработать совместимое базовое и абонентское оборудование.

Тип цифровой модуляции был выбран $\pi/4$ DQPSK (дифференциальная квадратичная фазовая манипуляция). Он классифицируется как модуляция с непостоянной огибающей модуляции (not constant-envelope). Известно, что с таким типом для передачи сигнала требуются устройства с линейной характеристикой. В ином случае появляются боковые полосы, мешающие соседним каналам. Максимальная скорость передачи данных составляет, 36 кбит/сек,

по четырем временным слотам на каждой несущей. В связи с тем, что доступ к каналу вносит ограничения на задержку, дальность работы от базовой станции TETRA составляет 58 км.

Речевой сигнал сжимается вокодером ACELP компании SGS Thomson (теперь ST Microelectronics), выходной поток данных составляет, 4,567 кбит/сек. После коррекции FEC скорость передачи возрастает, до 7,2 кбит/сек – информационная емкость одного временного слота. Полезная нагрузка в канале, может меняться, от 2,4 кбит/сек для трафика с высокой степенью защиты в одном слоте, до 28,8 кбит/сек незащищенных данных при полностью занятом канале.

Система TETRA, как уже упоминалось, решение транкинговое и отличается от конвенциональных систем, в первую очередь, автоматическим распределением небольшого числа каналов в большой аудитории пользователей. Этой процедурой занимается транкинговый контроллер, по управляющему каналу связывающийся с терминальным устройством. Он не прекращает своей работы даже при отсутствии трафика.

Бесшовное переключение между базовыми станциями (hand-over) предполагает их размещение вплотную, с перекрытием зон. Магистральная сеть системы должна располагать достаточной полосой для обеспечения высокой скорости передачи данных и сигнализации и быстродействующим коммутационным оборудованием.

Стандарт продолжает развиваться, и программа TETRA Release2, и согласно последнему подписанному документу предусматривает:

- увеличение расстояние между БС до 83 км;
- большее сжатие кода;
- большее количество модуляторов;
- увеличение скорости передачи до 500 кбит/сек в полосе 150 кГц;
- взаимодействие с мобильными системами телеуправления 2,5 G/3G.

DMR – открытый стандарт (ETSI TS 102 361) был разработан рабочей группой ведущих специалистов компаний-производителей радиокоммуникационного оборудования. Рынку требовалось радиооборудование с новыми возможностями в части цифровой радиосвязи. В то же время этот стандарт должен был обеспечить ровный переход от аналоговых систем к цифровым.

Все оборудование DMR – репитеры и радиостанции – могут работать как в цифровом режиме, так и в аналоговом режимах, сохраняя характеристики радиointерфейсов:

- традиционной голосовой ЧМ связи с канальной сигнализацией;
- голосовой связи и передачи данных с цифровой модуляцией 4FSK;
- с максимальной скоростью 9600 кбит/сек.

Переключение между режимами происходит автоматически: ретранслятор самостоятельно определяет тип принимаемого сигнала – аналоговый или цифровой – и на основе этого меняет свои настройки, рис. 113.

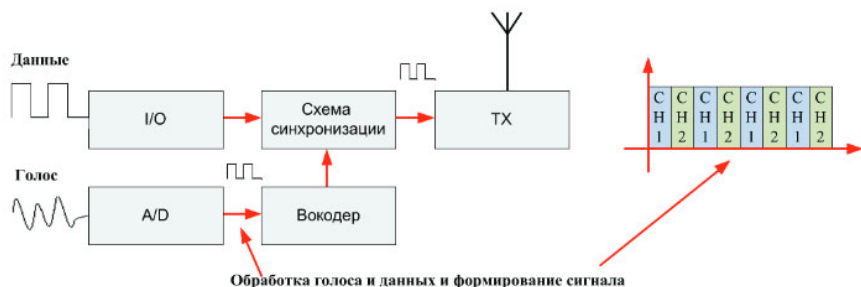


Рисунок 113 – Обработка голоса и данных и формирование сигнала

Стандарт DMR обеспечивает обработку, как поступающих данных, так и речевого трафика. Голосовой сигнал оцифровывается, сжимается и разбивается на пакеты. Передача производится по двум временным слотам TDMA (Time division Multiple Access), в частотном канале шириной 12,5 кГц. Совокупность временных слотов одного порядка формирует отдельный независимый логический канал.

Таким образом, в одной несущей частоте в DMR информация может передаваться одновременно по двум логическим каналам, рис. 114.

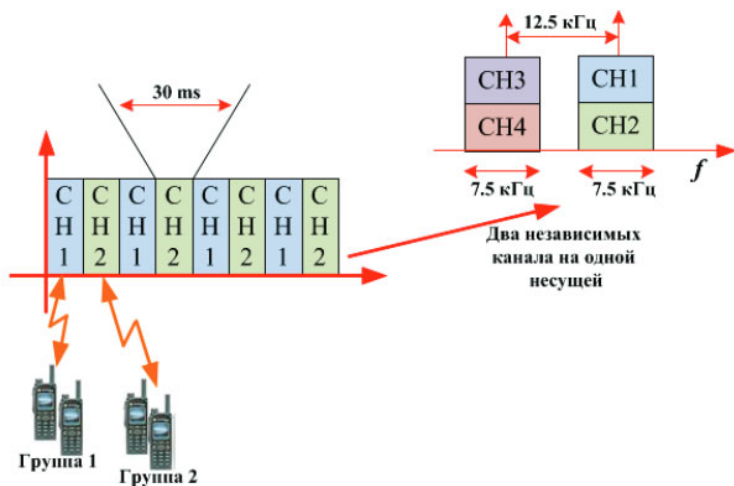


Рисунок 114 – Слоты TDMA и частотные каналы

Системы DMR могут сосуществовать с обычными аналоговыми системами, расположенными на соседних каналах без взаимного влияния.

Спектральная эффективность составляет 6,25 кГц на канал, как в системах TETRA – в два раза больше, чем в аналоговых системах. Однако при работе

в прямом режиме без ретранслятора нет возможности произвести межслотовую синхронизацию, и это преимущество пропадает.

В DMR применяется модуляция типа FSK (4-хуровневая частотная манипуляция), оптимально подошедшая для данного стандарта. Каждая пара бит информации определяет частотный сдвиг относительно несущей частоты.

Огибающая в этом типе модуляции является постоянной (constant-envelope), что предоставляет значительные преимущества по потреблению и построению схемы передатчика: нет жестких требований по обеспечению линейности тракта передачи, выходные каскады могут работать в более экономном режиме С, рис. 115.



Рисунок 115 – Применяемая в DMR модуляция типа FSK (4-хуровневая частотная манипуляция)

Уровень излучаемой мощности и чувствительность устройств DMR такие же, как у обычных аналоговых систем, но зона покрытия несколько выше за счет цифровой обработки сигнала, рис. 116

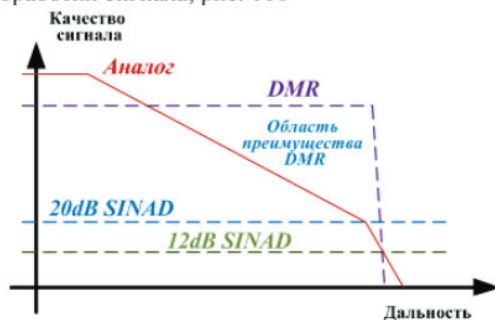


Рисунок 116 – Зона покрытия DMR за счет цифровой обработки сигнала

20.2. Характеристики доступа к радиоканалам DMR и TETRA

Зона покрытия зависит от многих параметров радиостанции: эффективной излучаемой мощности, шумовых характеристик приемного тракта, характера местности, используемого диапазона частот и т. д.

Между чувствительностью приемника и скоростью передачи есть прямая зависимость. Как правило, более интенсивная передача при заданной полосе

частот ведет к уменьшению чувствительности в связи с большей восприимчивостью к шумам. Типовые динамические характеристики приемных устройств DMR составляют -110 dBm и -105 dBm TETRA терминалов.

В системах TETRA необходимо постоянное присутствие управляющего канала. Если уровень сигнала от базовой станции падает до некоторого порога, мобильный терминал начинает искать другую базовую станцию с более сильным сигналом. Уровень порога может зависеть от многих факторов: требуемого сервиса, характера окружающего ландшафта, ожидаемой скорости транспортного средства и т. д. Типовое значение порога в условиях малой застройки устанавливается на величину 18 дБ выше чувствительности, и обычно составляет -87 dBm.

При создании проекта с определенной зоной покрытия нужно учитывать, необходимо ли обеспечить соответствующий уровень поля в каждой точке зоны средствами БС. По статистике, размер покрытия одной ячейки в системе TETRA примерно составляет 20 км.

Роуминг в системах DMR присутствует в конфигурации IP Site Connect. Уровень сигнала, при котором станция приступает к поиску новой БС, устанавливается вручную и по умолчанию имеет значение порядка -108dBm. В результате БС DMR оказывается способной обеспечить связью абонентов на удалении до 40 км.

Для полноты картины рассмотрим еще два случая – режим работы радиостанции с одной БС и непосредственное взаимодействие друг двух радиостанций с другом без участия БС. Напомним, что на дальность связи влияет выбранный диапазон рабочих частот. Для систем TETRA выделены диапазоны 380–400 МГц для служб общественной безопасности и 410–430 МГц – для частного использования. В последнее время добавлен диапазон 800 МГц.

Большинство предприятий владеют частотами в диапазоне VHF. Переход на цифровую платформу DMR позволяет сохранять ранее используемый частотный план, что дает некоторый выигрыш, обусловленный особенностями распространения радиоволн.

В системах TETRA требования к обеспечению линейности тракта передачи терминала сказываются на том, что его мощность обычно не превышает 1 Вт. В то же время в радиостанциях DMR излучаемая мощность, как в аналоговых, 5 Вт, что обеспечивает выигрыш более чем в 6 дБ.

Общее превосходство в энергетическом потенциале DMR против TETRA достигает 10–12 дБ (выигрыш по чувствительности 5 дБ и по излучаемой мощности – 6/7 дБ). В результате дальность действия систем DMR оказывается больше приблизительно в 2 раза, что в пересчете площади покрытия дает выигрыш в 4 раза.

Следует напомнить то, что производители DMR предлагают оборудование в традиционных для конвенциональной связи диапазонах частот и с тем же уровнем выходной мощности как у аналоговых станций. Приемные устройства этих радиостанций имеют чувствительность сравнимую с чувствительностью обычных станций. Все это дает возможность плавной миграции радиосистем от

аналоговой базы к цифровой с сохранением части оборудования и существующей зоны покрытия. В то же время переход с аналоговой системы на транкинговую потребует как минимум удвоения числа БС для сохранения зоны охвата.

Обеспечиваемая спектральная эффективность определяется шириной полосы на один коммуникационный канал, коэффициентом повторного использования частот (frequency re-use factor), способом доступа к каналу и др. Рассмотрим последний фактор. На рисунке 117 схематично отражена технология доступа к каналу в системах DMR и TETRA соответственно.

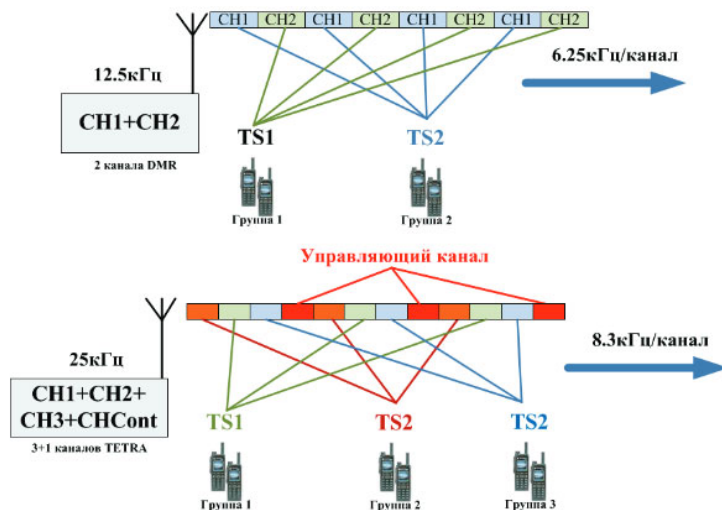


Рисунок 117 – Технология доступа к каналу в системах DMR и TETRA

В DMR две группы пользователей работают на двух независимых каналах. DMR имеет большую спектральную эффективность из-за отсутствия управляющего канала, забирающего часть ресурса под протокол. Конечно, с ростом числа каналов эта ситуация исправляется до момента, когда возрастающая плотность абонентов потребует введения дополнительного канала управления.

Если смотреть широко, то кроме явных показателей спектральной эффективности можно рассмотреть косвенные показатели, которые описывают, насколько плотно можно распределить частотный ресурс в ограниченном пространстве.

Например, важной характеристикой является избирательность по соседнему каналу. Способность приемника выделить полезный сигнал на фоне помехи зависит от вида модуляции. В радиостанциях DMR, как и у аналоговых образцов, составляет 60 дБ при разноте 12,5 кГц и 70 дБ при 20/25 кГц.

TETRA может обеспечить только 40–45 дБ при разноте 25 кГц. Поэтому разработчики систем часто вынуждены отказываться от использования частот

соседних каналов на том же сайте. И если в аналоговых или DMR системах построение независимых сетей не накладывает особых ограничений на расположение БС, то в системе TETRA работающая на соседнем канале БС должна находиться не ближе 25 км.

Еще одна характеристика того же плана – минимальное отношение мощности полезного сигнала к мощности сигнала от другого передатчика на той же частоте, при которой система продолжает нормально работать (Carrier-to-Interference ratio (C/I)). Другими словами, это требуемая изоляция в канале от независимых устройств, работающих на одной частоте. Для систем TETRA эта изоляция должна быть 19 дБ, для DMR так же, как и для аналоговых систем – только 12 дБ. Можно считать, что ослабление поля на 6–9 дБ происходит при двукратном увеличении расстояния. Таким образом, повторное применение частот в радиосети TETRA наталкивается на большие трудности, чем в DMR.

Допуск на задержку на время распространения сигнала накладывает ограничения на предельную дальность работы систем на базе технологии TDMA. В канале необходимо обеспечить синхронизацию работы всех устройств с целью предотвращения наложения слотов TDMA.

Стандарт DMR предписывает защитный интервал 2,5 мсек, который позволяет обеспечить требуемое время нарастания и спада мощности в передатчике, а также задержку на распространение сигнала в пространстве. Теоретически защитный интервал длительностью всего 1 мсек даст возможность работать с задержками сигнала на расстоянии 150 км от БС. Защитный интервал в TETRA составляет, всего 0,4 мсек ограничивает, максимальные размеры ячейки значением 58 км. В некоторых случаях на таком расстоянии еще сохраняется достаточный уровень сигнала для работы системы.

Межсимвольная интерференция происходит в случаях, когда в качестве среды передачи радиочастоты используется оптоволокно (Radio-over-Fiber Transmission), а последующее усиление и излучение сигнала производится обычными средствами, рис. 118.

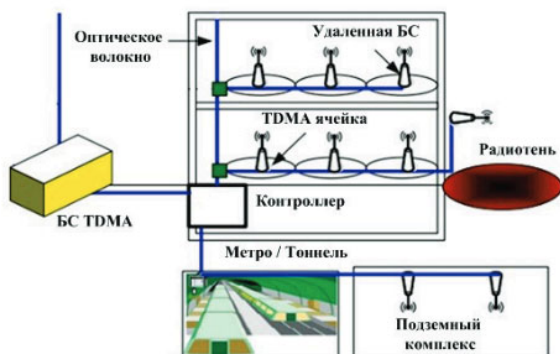


Рисунок 118 – Межсимвольная интерференция, когда в качестве среды передачи радиочастоты используется оптоволокно

Такая технология применяется для организации связи в протяженных тоннелях или больших зданиях, где затухание в перекрытиях вынуждает размещать множество так называемых «расширителей ячейки» (cell enhancer). В таких случаях разница в излучаемых сигналах, обусловленная временем распространения в оптоволокне, не должна приводить к их взаимной интерференции. Допуск времени задержки не должен превышать одной восьмой от символической скорости. На практике разница по скорости передачи в системах TETRA и DMR выражается в том, что допустимая задержка составляет 7–10 мксек против 30–40 для вторых. Т. е. БС DMR можно располагать в 3–4 раза дальше друг от друга, чем TETRA.

Экономичность систем DMR обеспечена меньшими требованиями к линейности характеристики передающего тракта и отсутствием постоянно работающего управляющего канала. В среднем, потребляемая мощность оборудования TETRA превышает этот же показатель DMR в 10–12 раз. Кроме того, для соблюдения требуемых климатических условий приходится устанавливать более мощные кулеры и кондиционеры, которые добавляют к расходу количества энергии. Средних размеров сеть TETRA может потреблять 10–15 кВт в день против 0,8–1,2 кВт DMR.

20.3. Системная производительность стандарта DMR и TETRA

Функции обеих систем призваны выполнять базовые требования к цифровым системам связи, такие как:

- индивидуальный/групповой/широковещательный вызовы,
- аварийный вызов,
- определение местоположения,
- поздний вход,
- идентификация абонентов,
- текстовые сообщения,
- передача данных и т. д.

На сегодня TETRA предлагает более мощные средства по шифрованию канала, возможность дуплексного обмена между терминалами и более совершенные приложения благодаря десятилетнему опережению стандарта. Однако, благодаря доступности стандарта DMR и разработанной фирмой Motorola программе содействия разработчикам приложений ADP, появляется множество решений, заметно повышающих конкурентоспособность систем DMR.

Простота и гибкость любой системы, а также способность адаптироваться под новые задачи повышают ее жизненный цикл.

TETRA – это революционное решение в сфере телекоммуникаций. Это транкинговая система, способная охватить территорию от нескольких квадратных километров до размеров региона или страны. Она включает в себя мощные коммутационные и вычислительные средства, высокоскоростные магистрали, требует скрупулезной работы по проектированию зон покрытия и частотного

плана подобно системам мобильной связи GSM. Это достаточно сложная работа, которая скрыта от понимания конечного пользователя. Для поддержания работоспособности развернутой системы нужен специально подготовленный штат администрирования.

Стандарт DMR разрабатывался в целях простой и щадящей миграции от аналоговых устройств к цифровым системам связи. Масштаб этих систем – от одного репитера до нескольких связанных БС.

Такая конфигурация практически повторяет конфигурации существующих традиционных систем связи, в том числе транкинговых, уровня предприятия или железнодорожного перегона. При замене одной системы на другую не требуется перепроектирования расположения БС и частотного плана, поскольку оборудование DMR работает на тех же частотах что и аналоговые станции.

Благодаря объединению БС по сетям IP DMR выводит существующие сети связи на новый уровень телекоммуникаций. При этом, как правило, не требуется мощных дорогостоящих коммутаторов. Увеличения зоны покрытия производится простой установкой новой БС без переконфигурирования системы. Новый стандарт скорее предлагает конструктор из ретрансляторов для сборки простой и надежной системы со всем необходимым функционалом.

Надежность любой системы в первую очередь зависит от ее сложности. Хороши известные методики расчета наработки на отказ, указывают на то, что вероятность отказа жестко коррелирует с числом компонентов, составляющих систему и температурным режимом ее работы. При одном качестве производства TETRA уступает DMR по обоим этим показателям.

В сетях обеих систем предусмотрена процедура переключения в локальный режим работы БС в критических случаях. Система DMR при этом имеет некоторое преимущество благодаря тому, что ее логика работы слабо зависит или не зависит вовсе от наличия центрального коммутатора.

Стандарт TETRA был сильно расписан в свое время производителями оборудования в маркетинговых целях. Те преимущества в сфере телекоммуникаций, которое стандарт предоставлял потенциальным потребителям, заставляли их смириться с высокой стоимостью, резко возросшей сложностью при сокращении производительности радиостанций по мощности и чувствительности и, как следствие, сокращением зоны покрытия. Появление альтернативной цифровой технологии DMR продемонстрировало возможность сочетания высокой функциональности цифровых систем с эффективностью традиционных аналоговых образцов.

Если стоимость мобильных терминалов обеих систем сопоставима, то оборудование инфраструктуры DMR обладает заметным преимуществом в отношении цена/качество. Зона покрытия БС TETRA (более дорогих, чем DMR) меньше в 2–3 раза, чем у аналоговых или DMR БС. Поэтому система TETRA требует установки в 3–5 раз большего количества сайтов для покрытия аналогичной территории. Кроме того, системы TETRA требуют больших средств на содержание.

Сложность базового оборудования TETRA не позволяет конечному пользователю обходиться собственным персоналом для его обслуживания. Поэтому заказчик оказывается в зависимости от сервисных служб сторонних организаций, что также приводит к затратам на поддержку системы.

В качестве вывода следует сказать, что, систему TETRA целесообразно устанавливать в целях обеспечения высокотехнологичной связью абонентов на небольших территориях с высокой плотностью, таких как – аэропорты, крупные железнодорожные сортировочные горки и станции, большие предприятия, муниципальных служб и т. д. Если перед системой связи таких задач не стоит, то предпочтительнее развернуть систему DMR.

Вопросы для самоконтроля:

1. Объясните, почему цифровые технологии передачи радиосигнала предпочтительнее аналоговой передаче.
2. Расскажите о стандарте DMR, как открытом стандарте ETSI TS 102 361.
3. Используя рисунок 114, поясните, как выполняется обработка голоса и данных и формируется сигнала выходной сигнал.
4. Используя рисунок 115, поясните, как формируются слоты TDMA и частотные каналы.
5. Охарактеризуйте основные характеристики доступа к радиоканалам DMR и TETRA.
6. Используя рисунок 118, объясните, основные принципы технологии доступа к каналу в системах DMR и TETRA.
7. Охарактеризуйте системную производительность стандарта DMR и TETRA.

Глава 21. КРАТКИЙ ОБЗОР СТАНДАРТА DECT

21.1. Технология беспроводной связи стандарта DECT

В современном мире, в котором Internet становится необходимостью, а беспроводное подключение — обычной функцией многих электронных устройств, технологии беспроводной связи могут удовлетворить многие ожидания расширяющегося рынка беспроводной передачи данных, среди которых — совместимость устройств от разных производителей. Именно поэтому в ETSI в рамках созданной рабочей группы DECT/Data ведется разработка DECT-профиля доступа в Internet (DECT Internet Access Profile).

Помимо предоставления услуг, характерных для традиционной телефонии, которые преобладают сегодня на рынке беспроводной связи, сегодня рассматриваются приложения по передаче данных как новый сегмент рынка. Уже сейчас устройства на базе стандарта DECT обеспечивают передачу данных на скорости 552 кБит/с. Новые методы модуляции позволят в ближайшее время увеличить скорость до 2 МБит/с.

DECT — (англ. Digital Enhanced Cordless Telecommunication) — технология беспроводной связи. Для организации данной технологии используются радиочастоты в диапазоне 1880–1900 МГц. Также используется Гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом (англ. Gaussian Minimum Shift Keying) GMSK ($BT = 0,5$), которая используется в современных радиотелефонах. Использование данной технологии обусловлено тем, что она приводит как к сужению полосы излучаемого сигнала, так и к существенному увеличению его эффективной мощности. Таким образом, переведя радиостанцию с АМ модуляции на SSB, можно очень существенно увеличить дальность связи без увеличения выходной мощности передатчика.

В радиокommunikации однополосная модуляция (SSB) или же однополосная модуляция с подавленной несущей (SSB-SC) является разновидностью модуляции и используется для передачи информации, такой как звуковой сигнал. Амплитудная модуляция создает выходной сигнал, ширина полосы которого в два раза превышает максимальную частоту исходного сигнала. Однополосная модуляция позволяет избежать увеличения полосы пропускания и потери мощности на несущей за счет увеличения сложности устройства и более сложной настройки на приемнике.

Кроме того, в режиме радиопереговоров спектр SSB во времени имеет пульсирующую форму и только в момент разговора оператора. Таким образом, выходной каскад передатчика значительно меньше нагружен, что позволяет излучаемую поднять мощность в 2–3, раза без дополнительных мер по охлаждению. Для получения на приемной стороне такого же по уровню сигнала, как при трехполосном передатчике, мощность однополосного передатчика состав-

ляет 1/3 от мощности трехполосного передатчика. Переход на однополосные сигналы позволяет получить выигрыш по мощности в 4...8 раз.

Загруженность эфира и ограниченный частотный ресурс, в особенности КВ диапазона, требует сужения полосы спектра частот, излучаемого трансивером при обычной трехполосной АМ передаче. Сужение спектра частот, занимаемого радиотелефонной станцией с амплитудной модуляцией (АМ), позволяет решать проблему распределения частот между радиостанциями. Данная проблема становится все более острой с дальнейшим развитием морского транспорта, где другие наземные диапазоны не эффективны или их применение невозможно.

Анализ спектра амплитудно-модулированного сигнала показывает, что информация о передаваемом сигнале содержится в каждой боковой полосе. В радиосигнале с АМ 50 % мощности передатчика расходуется на излучение сигнала несущей частоты, который не содержит никакой информации о модулирующем сигнале. Остальные 50 % делятся поровну между двумя боковыми частотными полосами, которые представляют собой точное зеркальное отображение друг друга. Несущая с частотой f_0 известна на передающей стороне (частота настройки передатчика) и не несет информации о передаваемом сигнале. При максимальном значении коэффициента модуляции, мощность боковой составляющей амплитудно-модулированного сигнала не превышает 25 % от мощности несущей, т. е. основная доля мощности приходится на несущее колебание.

Идея исключения несущей частоты и одной из боковых полос из спектра излучаемого сигнала реализована в однополосном передатчике (Single Sideband Transmitter or SSB Transmitter). Кроме того, когда на близких частотах работают несколько станций с однополосной модуляцией, они не создают друг другу помех в виде биений, что происходит при применении амплитудной модуляции с неподавленной несущей частотой.

К недостаткам однополосной модуляции следует отнести большую сложность формирования сигнала сравнительно с трехполосной амплитудной модуляцией АМ.

Стандарт DECT не только получил широчайшее распространение в Европе, но и является наиболее популярным стандартом беспроводного телефона в мире благодаря простоте развёртывания DECT-сетей, широкому спектру пользовательских услуг и высокому качеству связи. По оценкам статистики, стандарт DECT принят более чем в 100 странах, а число абонентских устройств DECT в мире давно превышает 100 миллионов. В Европе DECT практически полностью вытеснил беспроводные телефоны стандартов CT2, CT3. На других континентах DECT успешно конкурирует с американским стандартом PACS и японским PHS.

Диапазон радиочастот, используемых для приёма/передачи – 1880–1900 МГц в Европе, 1920–1930 МГц – в США. Рабочий диапазон (20 МГц) разделён на 10 радиоканалов, каждый шириной в 1728 КГц. Максимальная мощность станции и телефонных трубок в соответствии со стандартом – 10 мВт.

DECT относится к системам пакетной радиосвязи с частотно-временным разделением каналов (информация передаётся по радиоканалу в виде пакетов, организованных в кадры) и основана на технологиях:

- TDMA – Time division multiple access (множественный доступ с временным разделением);
- FDMA – Frequency division multiple access (множественный доступ с частотным разделением);
- TDD – Time division duplex (дуплексный канал с временным разделением).

Обмен информацией производится кадрами с помощью временного разделения в каждом кадре. Каждый кадр длительностью 10 мс разделён на 24 временных интервала (ВИ, или слота англ. slot), причём первые 12 ВИ (0-11) служат для передачи пакетов в направлении ФЧ-ПЧ, а следующие 12 ВИ (12-23) для передачи пакетов в обратном направлении, ПЧ-ФЧ. Дуплексные каналы связи образуют последовательности из двух пакетов одного кадра с интервалом между ними в 12 ВИ. Передачу и приём информации в DECT ведут на одной частоте, осуществляется дуплексное соединение с временным разделением каналов. 16 кадров DECT объединяют в мультикадр. Все кадры DECT пронумерованы, номера кадров используют при шифрации сообщений и передают по вещающему каналу Q.

Передача соединения мобильного абонента от одной базовой радиостанции к другой во время разговора абсолютно незаметна для абонента (режим handover). При установлении соединения для разговора используются 2 из 24 временных слотов в каждом кадре – один для передачи голоса, другой для приёма.

Реализация беспроводной связи (по стандарту DECT) происходит как в рамках аналоговой телефонии, так и IP-телефонии.

21.2. Построение стандартной схемы структуры DECT-систем

Для ознакомления с построением стандартной схемы структуры рассмотрим схему показанную на рисунке 119:

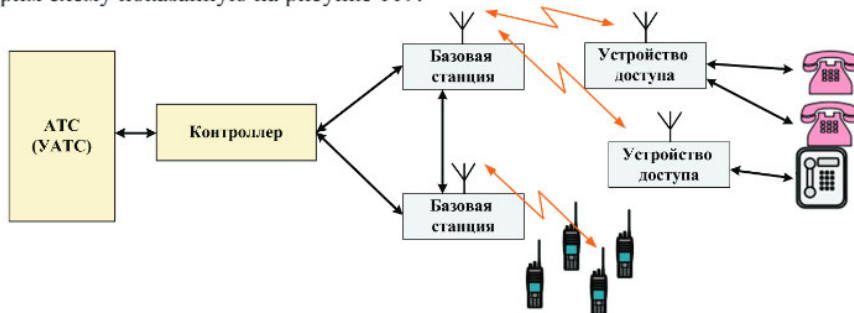


Рисунок 119 – стандартная схема структуры DECT-системы

- Контроллер предназначен для сопряжения системы DECT с внешними сетями, например, городской и/или учрежденческой АТС. При этом ЦКС, как правило, обеспечивает преобразование протоколов сигнализации между АТС и системой DECT. В некоторых случаях для этих целей используются специальные устройства – конвертеры протоколов. Кроме того, в ЦКС осуществляется преобразование речевой информации ADPCM \Leftrightarrow PCM при сопряжении по цифровым интерфейсам и ADPCM \Leftrightarrow аналоговый сигнал при сопряжении по аналоговым интерфейсам.
- Базовые станции (БС), которые в иностранной литературе называются – Radio Fixed Part, обеспечивают требуемое системой радиопокрытие. БС подключается к контроллеру по одной или двум парам проводов. Базовая станция представляет собой приемопередатчик, обеспечивающий одновременную работу по 4–12 каналам, работающий на две пространственно разнесенные антенны. БС выполняются в двух вариантах – для внутреннего и наружного размещения.
- Устройства доступа (УД) представляют собой мобильную трубку или стационарный абонентский терминал, который иногда именуется «радиорозеткой».
- Для увеличения зоны покрытия базовой станции может также применяться ретранслятор (репитер).

Таблица 29 – Стандартные характеристики современных систем DECT

Характеристики современных DECT систем	
Рабочий спектр	1880–1990
Количество частот	10
Разнос частот	1,728 МГц
Метод доступа	MC/TDMA/TDD
Частотное планирование	не требуется
Число каналов на одну частоту	24 (12 дуплексных каналов)
Длительность фрейма	10 ms
Скорость передачи	1,152 Mbps
Метод модуляции	GMSK (BT = 0,5)
Сжатие голоса	ADPCM (G.721) – 32 Кбит/сек
Выходная мощность	10 мВт – средняя (пиковая мощность не более 250 мВт)
Достижимая дальность	до 20 км
Гарантированная (разрешенная) дальность	до 5 км
Мобильность	Полная в рамках одной системы (без перерыва разговора – хэндовер), в нескольких системах с перерывом разговора (роуминг)
Профили доступа	GAP, RAP, GIP, DMAP, DPRS, и др.

Согласно основному принципу метода доступа MC/TDMA/TDD радиointерфейс DECT технологии основывается на использовании методологии радиодоступа, в котором используются несколько несущих частот, а также принципа

множественного доступа с временным разделением и принципа дуплекса с временным разделением (MC/TDMA/TDD). В стандарте DECT в выделенном диапазоне 1880–1990 МГц используется 10 частотных каналов (MC – Multi Carrier). Временной спектр для DECT подразделяется на временные кадры (фреймы), повторяющиеся каждые 10 мс (рис. 120). Фрейм состоит из 24 временных слотов, каждый из которых доступен индивидуально (TDMA – Time Division Multiple Access).

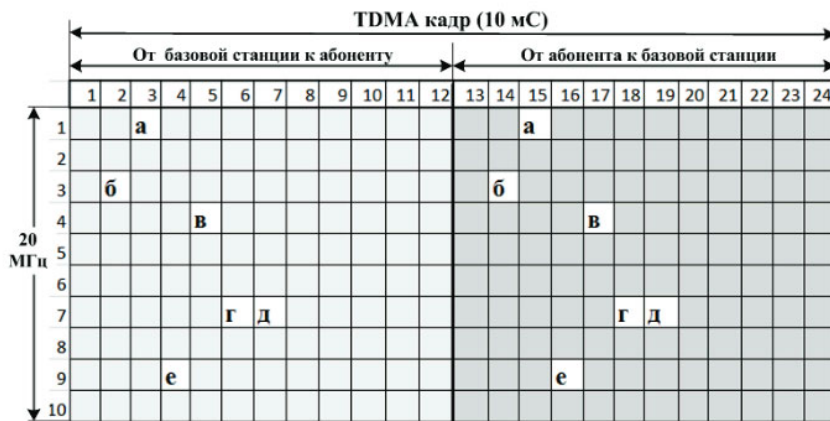


Рисунок 120 – Временной спектр для DECT

В базовой речевой услуге DECT два временных слота – с разделением в 5 мс – образуют дуплексную пару для обеспечения 32 кБит/с соединений (ADPCM – адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция – G.726). Для реализации базового стандарта DECT временной фрейм в 10 мс разделяется на две половины (TDD – Time Division Duplex) – первые 12 временных слотов используются для передачи БС («связь вниз»), а остальные 12 – для передачи АРБ («связь вверх»). Структурой TDMA обеспечивается до 12 одновременных голосовых соединений DECT (полный дуплекс) на каждую БС, что дает значительные ценовые преимущества по сравнению технологиями, позволяющими только одно соединение на БС (например, CT2). Благодаря усовершенствованному радиопrotocolу, стандарт DECT может предлагать полосы частот различной ширины, соединяя несколько каналов в одну несущую.

При использовании принципа MC/TDMA/TDD для базовой спецификации DECT используют радиоспектр с десятью частотными и двенадцатью временными интервалами. Устройству DECT в любой момент доступен общий ресурс из 120 дуплексных каналов. При высокой плотности установки базовых станций DECT, например, на расстоянии 25 м в идеальной модели покрытия в форме шестиугольника с учетом низкого коэффициента повторного использования канала (C/I = 10 дБ) можно достичь емкости трафика для базовой технологии DECT приблизительно до 10 000 Эрланг/км² при отсутствии необходимости ча-

стотного планирования. Установка оборудования DECT упрощена, так как необходимо учитывать только требования к радиопокрытию и трафику.

Для организации системы DECT используется *динамический выбор, и динамическое выделение* канала, где вместо частотного планирования используется механизм непрерывного динамического выбора и распределения каналов (CDCS/CDCA). Суть этого механизма заключается в том, что каналы выбираются динамически из всего набора каналов по таким показателям, как качество прохождения сигнала и уровень помех. Причем канал не закрепляется за соединением на все время, он может меняться по мере необходимости. Происходит это следующим образом. Каждая БС непрерывно сканирует приемные таймслоты всех 120 каналов, измеряет уровень принятого сигнала (RSSI – Received Signal Strength Indicator) и выбирает канал с минимальным уровнем (свободный канал без помех). В этом канале БС излучает служебную информацию, которая, в числе прочих, содержит данные:

- для синхронизации абонентского радиоблока (АРБ);
- об идентификаторе системы;
- о возможностях системы;
- о свободных каналах;
- пейджинговое.

Анализируя эту информацию, АРБ находит свою БС и прописывается к ней. При выходе из зоны действия одной БС происходит поиск следующей.

Таким образом, АРБ всегда прописан к той или иной БС своей или дружественной системы. Далее АРБ синхронно с БС начинает непрерывно сканировать все 120 приемных таймслотов и измерять силу сигнала в каждом из них. Номера каналов с наименьшими значениями RSSI заносятся в память. Одновременно в памяти находятся не менее двух таких каналов. При необходимости организации исходящей связи АРБ направляет запрос БС, в которой она в данный момент прописана, предлагая установить связь в одном из свободных, с точки зрения АРБ, каналов. Если этот канал отвергается БС, то АРБ предлагает следующий из списка свободных. После согласия БС на установление соединения по одному из предложенных каналов происходит обмен сигнализационной и другой служебной информацией, а затем установление соединения и разговор.

Организация входящей связи осуществляется аналогичным образом. АРБ непрерывно анализирует «пейджинговое» сообщение на наличие «своего» входящего вызова. После распознавания входящего вызова АРБ посылает запрос на установление связи в одном из свободных каналов. Таким образом, выбор канала для установления соединения происходит динамически и только по инициативе и под управлением АРБ. Этот механизм называется непрерывным динамическим выбором канала (CDCS). Канал, в котором происходит разговор, не является постоянно выделенным на все время соединения. По тем или иным причинам (например, ухудшение качества связи при перемещении АРБ в зону «тени») АРБ может сменить канал. При этом АРБ выбирает канал из списка свободных и предлагает его БС. При согласии БС происходит переход на новый канал. Переход может происходить и по инициативе БС. При этом БС о своем

желании перейти на новый канал сообщает АРБ, далее все происходит так, как описано выше, т. е. выбор нового канала осуществляется АРБ.

Если в процессе соединения новый канал запрашивается у той же БС, то переход называется «intercell handover», а если у другой БС – то «intracell handover». Этот механизм называется непрерывным динамическим распределением каналов (CDCA). Хэндовер в DECT системе происходит мягким способом. Это значит, что во время хэндовера между АРБ и системой одновременно работают два канала: «старый» и «новый». В какой-то момент времени информация между АРБ и системой передается одновременно по обоим каналам. Только после успешного перехода на «новый» канал происходит деактивация «старого». Надо отметить, что хэндовер происходит не только при ухудшении качества связи или при разрыве соединения, но и в том случае, когда АРБ находит лучший с его точки зрения канал. Таким образом, для соединения всегда используется лучший свободный канал.

Механизм CDCA/CDCA существенно отличает DBCT от сотовых систем связи – управление каналами осуществляется не центральным контроллером, а мобильными терминалами. Уникальная возможность DECT по динамическому выбору и распределению каналов гарантирует использование только лучшего канала. Эта способность DECT позволяет сосуществовать нескольким системам в одной и той же полосе частот, при сохранении в каждой из них высокого качества и безопасности связи. Кроме того, этот механизм существенно увеличивает емкость трафика системы за счет минимизации каналов с несколькими путями распространения. Особенно это важно для офисных приложений, где происходит многократное отражение радиосигнала от стен помещения.

Метод MC/TDMA/TDD совместно с механизмом CDCA/CDCA обеспечивает высокую емкость DECT системам даже в условиях высокого трафика и сложной помеховой обстановки.

При этом высокого качества услуг добиваются без использования частотного планирования.

Для улучшения качества связи в DECT используются *разнесенные антенны*. Однако прежде следует уяснить, что же такое хэндовер. Хэндовер – это механизм ухода от каналов, подверженных воздействию помех, или каналов с низким уровнем сигнала. Однако хэндовер происходит недостаточно быстро, чтобы противодействовать ситуациям быстрого замирания. Для борьбы с быстрыми интерференционными замираниями (БИЗ), стандартом DECT предусматривается механизм пространственного разнесенного приема. БИЗ возникают в результате интерференции нескольких лучей в точку приема, которая перемещается относительно БС. В результате чего меняется разность хода между этими лучами и, как следствие этого, уровень суммарного сигнала претерпевает колебания, которые могут достигать 30 и более дБ. При использовании двух пространственно разнесенных антенн разность хода лучей от каждой из них в точке приема будет различной. В офисных и WLL системах к каждой БС подключаются две коммутируемые пространственно разнесенные в горизонтальной плоскости антенны, причем разнос антенн в офисных системах приближи-

тельно равен λ (длине волны), а в WLL системах – 10λ . Поэтому эффективность этого метода в офисных системах сказывается при малых удалениях. В системах WLL АРБ стационарны и причина замираний заключается в воздействии эффекта рефракции на разность хода прямого и отраженного лучей. Из теории известно, что при разnose антенн на 10λ и более суммарные сигналы, принимаемые каждой из антенн практически не коррелированы. Переключение антенн и выбор рабочего канала происходит под управлением АРБ.

21.3. Проблемы защищенности системы DECT, и пути их решения

В настоящее время все больше внимания уделяется проблемам защищенности систем связи к несанкционированному доступу. Поэтому безопасности DECT-систем уделяется пристальное внимание, как разработчиков, так и обслуживающего персонала. Стандарт DECT предусматривает меры защиты доступности телекоммуникационных систем, характерной для беспроводной связи. Перечень штатных услуг и процедур по обеспечению безопасности в системах стандарта DECT включает в себя:

- прописку АРБ;
- аутентификацию АРБ;
- аутентификацию БС;
- взаимную аутентификацию АРБ и БС;
- аутентификацию пользователя;
- шифрование данных.

Рассмотрим данные понятия:

Прописка АРБ

Прописка – это процесс, благодаря которому система допускает конкретный АРБ к обслуживанию. Оператор сети или сервис-провайдер обеспечивает пользователя АРБ секретным ключом прописки (PIN-кодом), который должен быть введен как в КБС, так и в АРБ до начала процедуры прописки. До того, как трубка инициирует процедуру фактической прописки, она должна также знать идентификатор БС, в которую она должна прописаться (из соображений защищенности процедура прописки может быть организована даже для системы с одной БС). Время проведения процедуры обычно ограничено, и ключ прописки может быть применен только один раз, это делается специально для того, чтобы минимизировать риск несанкционированного использования.

Прописка в DECT может осуществляться «по эфиру», после установления радиосвязи с двух сторон происходит верификация того, что используется один и тот же ключ прописки. Происходит обмен идентификационной информацией, и обе стороны просчитывают секретный аутентификационный ключ, который используется для аутентификации при каждом установлении связи. Секретный ключ аутентификации не передается по эфиру.

Абонентский радиоблок (АРБ) может быть прописан на нескольких базовых станциях. При каждом сеансе прописки, АРБ просчитывает новый ключ аутентификации, привязанный к сети, в которую он прописывается. Новые ключи и новая информация идентификации сети добавляются к списку, хранящемуся в АРБ, который используется в процессе соединения. Трубки могут подключиться только к той сети, в которую у них есть права доступа (информация идентификации сети содержится в списке). В процессе аутентификации любого уровня используется криптографическая процедура «запрос-ответ», позволяющая выяснить, известен ли проверяемой стороне аутентификационный ключ.

Аутентификация АРБ

Аутентификация АРБ позволяет предотвратить его неправомерное использование (например, с целью избежать оплаты услуг) или исключить возможность подключения похищенного или незарегистрированного АРБ. Аутентификация происходит по инициативе БС при каждой попытке установления соединения (входящего и исходящего), а также во время сеанса связи. Сначала БС формирует и передает запрос, содержащий некоторый постоянный или сравнительно редко меняющийся параметр (64 бита), и случайное число (64 бита), сгенерированное для данной сессии. Затем в БС и АРБ по одинаковым алгоритмам с использованием аутентификационного ключа вычисляется так называемый аутентификационный ответ (32 бита). Этот вычисленный (ожидаемый) ответ в БС сравнивается с принятым от АРБ, и при совпадении результатов считается, что аутентификация АРБ прошла успешно.

Аутентификация БС

Аутентификация БС исключает возможность неправомерного использования станции. С помощью этой процедуры обеспечивается защита служебной информации (например, данных о пользователе), хранящейся в АРБ и обновляемой по команде с БС. Кроме того, блокируется угроза перенаправления вызовов абонентов и пользовательских данных с целью их перехвата. Алгоритм аутентификации БС аналогичен последовательности действий при аутентификации АРБ.

Взаимная аутентификация может осуществляться двумя способами:

- При прямом методе последовательно проводятся две процедуры аутентификации АРБ и БС;
- Косвенный метод в одном случае подразумевает комбинацию двух процедур – аутентификации АРБ и шифрования данных (поскольку для шифрования информации необходимо знание аутентификационного ключа К), а в другом – шифрование данных с использованием статического ключа SCK (Static Cipher Key), известного обеим станциям.

Аутентификация пользователя

Аутентификация пользователя позволяет выяснить, знает ли пользователь АРБ свой персональный идентификатор. Процедура инициируется БС в начале

вызова и может быть активизирована во время сеанса связи. После того, как пользователь вручную наберет свой персональный идентификатор UPI (User Personal Identity), и в АРБ с его помощью будет вычислен аутентификационный ключ К, происходит процедура, аналогичная последовательности действий при аутентификации АРБ.

Аутентификационный ключ

Во всех описанных процедурах аутентификационный ответ вычисляется по аутентификационному запросу и ключу аутентификации К в соответствии со стандартным алгоритмом (DSAA-DECT Standard Authentication Algorithm), или любым другим алгоритмом, отвечающим требованиям безопасности связи. Алгоритм DSAA является конфиденциальной информацией и поставляется по контракту с ETSI. Использование другого алгоритма будет ограничивать возможности абонентских станций, так как возникнут трудности при роуминге в сетях общего пользования DECT.

Аутентификационный ключ К является производной от одной из трех величин или их комбинаций, приведенных ниже.

1. Абонентский аутентификационный ключ UAK (User Authentication Key) длиной до 128 бит. UAK является уникальной величиной, содержащейся в регистрационных данных пользователя. Он хранится в ПЗУ абонентской станции или в карточке DAM (DECT Authentication Module).

2. Аутентификационный код АС (Authentication Code) длиной 16–32 бита. Он может храниться в ПЗУ абонентской станции или вводиться вручную, когда это требуется для проведения процедуры аутентификации. Следует отметить, что нет принципиальной разницы между параметрами UAK и АС. АС обычно используется в тех случаях, когда требуется довольно частая смена аутентификационного ключа.

3. Персональный идентификатор пользователя UPI (User Personal Identity) длиной 16–32 бита. UPI не записывается в устройства памяти абонентской станции, а вводится вручную, когда это требуется для проведения процедуры аутентификации. Идентификатор UPI всегда используется вместе с ключом UAK.

Шифрование данных

Шифрование данных обеспечивает криптографическую защиту пользовательских данных и управляющей информации, передаваемых по радиоканалам между БС и АРБ.

В АРБ и БС используется общий ключ шифрования СК (Cipher Key), на основе которого формируется шифрующая последовательность KSS (Key Stream Segments), накладываемая на поток данных на передающей стороне и снимаемая на приемной. KSS вычисляется в соответствии со стандартным алгоритмом шифрования DCS (DECT Standard Cipher) или любым другим алгоритмом, отвечающим требованиям криптографической стойкости. Алгоритм

DSC является конфиденциальной информацией и поставляется по контракту с ETSI.

В зависимости от условий применения систем DECT могут использоваться ключи шифрования двух типов:

- вычисляемый ключ шифрования – DCK (Derivation Cipher Key),
- статический ключ шифрования – SCK (Static Cipher Key). Статические ключи SCK вводятся вручную абонентом, а вычисляемые DCK обновляются в начале каждой процедуры аутентификации и являются производной от аутентификационного ключа К.

В ПЗУ абонентской станции может храниться до 8 ключей.

Статический ключ обычно используется в домашних системах связи. В этом случае SCK является уникальным для каждой пары «абонентская/базовая станция», формирующей домашнюю систему связи. Рекомендуется менять SCK один раз в 31 день (период повторения номеров кадров), иначе риск раскрытия информации существенно возрастает.

Заметим, что любая система связи организуется с использованием специальных протоколов. Сетевой протокол – это набор правил, определяющий принципы взаимодействия устройств в сети. Чтобы отправка и получение информации прошли успешно, все устройства-участники процесса должны принимать условия протокола и следовать им. В сети их поддержка встраивается или в аппаратную часть, или в программную часть, а в большинстве случаев и туда, и туда.

Построение протоколов DECT имеет свои принципы и особенности – другими словами имеет свою архитектуру.

Архитектура протоколов DECT включает:

- физический уровень (PHL Layer);
- уровень доступа к среде (MAC Layer);
- уровень управления звеном передачи данных (DLC layer);
- сетевой уровень (NWK. layer);
- прикладные уровни (Application profiles).

Рассмотрим каждый из них.

Физический уровень

Первый уровень, PHL, обеспечивает среду для связи АРБ с БС и описан в стандарте ETS 300 174-2. Этот стандарт определяет параметры радиотракта DECT. В частности, в стандарте определены диапазон частот, излучаемая мощность, метод модуляции, структура временного разделения TDMA и др. Именно PHL уровень отвечает за механизм MC/TDMA/TDD. Для обеспечения высокоскоростной передачи данных (до 2 Мбит/с) базовый стандарт ETS 300 175 был дополнен методом высокоскоростной передачи на основе фазовой модуляции. Используются две схемы модуляции: 4-уровневая ($\pi/4$ -DQPSK) и 8-уровневая ($\pi/8$ -D8PSK). Высокоуровневая модуляция (4-х и 8-уровневая) используется только для модуляции информационного канала (данные пользователя), а для модуляции каналов синхронизации и управления используется частотная мани-

пуляция. Таким образом, обеспечивается совместимость новых систем с высокоуровневой модуляцией с существующими системами. Каждый таймслот (рис. 105) содержит защитный интервал длительностью 25 мкс, 32 бита синхронизации (SYN), 64 бита управления (C) и биты данных (B). Поскольку биты синхронизации присутствуют в каждом физическом канале, синхронизация может проводиться перед каждым физическим каналом. Биты C и B образуют 2 логических канала соответственно для управления и передачи пользовательских данных (как в ISDN), рис. 121.

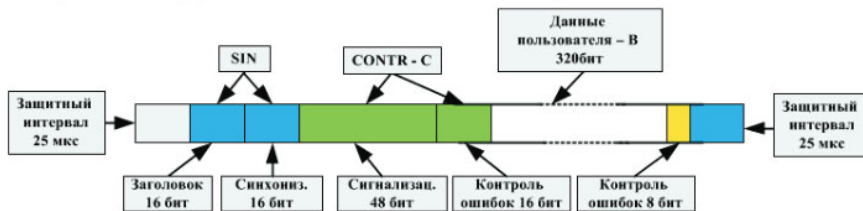


Рисунок 121 – Построение таймслота

Уровень доступа к среде

Уровень доступа к среде отвечает за установление радиоканала между АРБ и БС.

Основными функциями этого уровня являются:

- установление соединений;
- обеспечение сигнализации;
- управление хэндовером.

Именно уровень MAC Layer отвечает за «мягкий» хэндовер и механизм CDSC/CDCA. Кроме того, он обеспечивает канал для передачи псевдослучайной информации и сигнализации.

Уровень управления звеном передачи данных DLC Layer отвечает за надежную передачу управляющей информации по физическому каналу.

На этом уровне решаются задачи:

- по защите передаваемых данных от ошибок;
- по управлению качеством физического соединения;
- по управлению процедурой выбора канала на MAC уровне.

На уровнях MAC и DLC используются так называемые протокольные блоки данных, состоящие:

- из заголовка;
- поля данных MAC уровня;
- поля данных DLC уровня;
- циклического проверочного кода (CRC).

Заголовок сообщения определяет тип сообщения и тип DECT системы, которая может быть – домашняя, офисная или общего пользования. Кроме того,

передается идентификатор системы, информация о поддерживаемых функциях системы и пейджинговая информация.

Сетевой уровень отвечает за сигнализацию и осуществляет:

- управление уровнями MAC и DLC;
- управление вызовами;
- управление мобильностью (внешний хэндовер, роуминг и т. д.);
- передачу информации с/без установления соединения;
- обеспечение ДВО.

Для обеспечения внутреннего хэндовера не требуется участие третьего уровня, т. к. за это отвечает только второй уровень. В этом заключается основное принципиальное отличие DECT от GSM.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте основные положения технологии беспроводной связи стандарта DECT.
2. Расскажите о принципах построения стандартной схемы структуры DECT-систем.
3. Используя рисунок 121, охарактеризуйте временной спектр для DECT.
4. Объясните значения понятий:
 - прописка АРБ;
 - аутентификация АРБ;
 - аутентификация БС;
 - взаимная аутентификация АРБ и БС;
 - аутентификация пользователя;
 - шифрование данных.
5. Охарактеризуйте принципы и особенности построения протоколов DECT, другими словами, охарактеризуйте ее архитектуру.
6. Используя рисунок 122, объясните принципы построения таймслота в системе DECT.
7. Охарактеризуйте проблемы защиты системы DECT, и охарактеризуйте пути и методы их решения.

Глава 22.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ DECT НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

22.1. Общие принципы организации сетей стандарта DECT на железнодорожном транспорте

Согласно Концепции развития связи на железнодорожном транспорте России осуществляется переход на современные, цифровые системы связи. Это означает то, что переход осуществляется поэтапно, с тем, чтобы в конечном итоге был осуществлен переход к полностью цифровой сети, с последующей возможностью организации единого управления, мониторинга, обслуживания используемой аппаратуры.

Важным направлением в модернизации системы связи на Ж/Д является решение важной задачи которую можно сформулировать как дальнейшее наращивание цифровых средств ОТС на малоделятельных участках, станциях с небольшим путевым развитием. Решением данной задачи является обеспечение этих объектов современной аппаратурой для связи дежурных по станции с оперативными абонентами (работниками), выполняющими свои должностные обязанности на соответствующих технологических участках.

Для решения этих задач предусмотрено включение в цифровую коммутационную станцию (КС) оперативно-технологической связи системы мобильной микросотовой связи стандарта DECT. Технические характеристики системы и ее функциональные возможности были рассмотрены выше.

Данная система позволяет реализовать существующие функции ОТС на расстоянии от помещения ДСП, где расположен пульт связи. Увеличение свободы действий дежурного по станции позволяет управлять технологическим процессом при удалении от поста ДСП, например, при выходе на платформу, что повышает производительность труда и положительно сказывается на общем морально-физическом состоянии работников.

В современной аппаратуре, получаемой с заводов, в КС оперативно-технологической связи либо уже имеются интерфейсы для подключения контроллеров базовых станций (БС) систем стандарта DECT, либо поставщиками оборудования гарантируется организация таких интерфейсов.

Рассмотрим стандартный набор оборудования для необходимый для организации сети связи стандарта DECT на основе системы МиниКом-DECT.

ГК «Информтехника» – признанный лидер российского рынка по разработкам и внедрению беспроводных систем стандарта DECT предлагает оборудование стандарта DECT, которое имеет ряд выполняемых функций:

- высокое качество передачи речи, сравнимое с цифровыми проводными системами связи, за счет применения адаптивного ИКМ-кодирования (АДИКМ) со скоростью 32 Кбит/с;

- высокая физиологическая безопасность при длительном использовании за счет очень малой мощности излучения (10 мВт);
- возможность обеспечения (при малой мощности сигнала) значительной дальности действия системы за счет использования улучшенной схемы обработки сигнала – до 10 км (и более) при условии прямой видимости;
- возможность реализации средне- и высокоскоростной передачи данных;
- легкость развертывания и наращивания системы за счет отсутствия необходимости частотного планирования;
- специально выделенный решением ГКРЧ единый диапазон частот для всей территории РФ с упрощенной процедурой оформления;
- открытые спецификации стандарта, обеспечивающие совместимость оборудования различных производителей.

**Таблица 30 – Основные технические характеристики системы
МиниКом-ДЕСТ**

Состав системы	- базовое оборудование: контроллер базовых станций (КБС), базовая станция (БС), репитер, термощкаф, - терминальные абонентские радиоблоки (ТАРБ) МиниКом DT-20, – портативные абонентские радиоблоки (ПАРБ) (радиотрубки) - антенно-фидерное оборудование для БС и ТАРБ - рабочее место оператора
<i>1</i>	<i>2</i>
Количество прописываемых в контроллере абонентов	КБС – до 512
Количество радиоканалов в эфире	Система на основе КБС и БС – до 120
Профиль доступа	GAP
Кодирование речи	АДИКМ, 32 Кбит/сек
Передача данных (доступ в Интернет), Кбит/с	Dial-Up модем: - до 9,6–14,4 при использовании стандартного ресурса (1 тайм-слот) - до 56 при использовании двойного ресурса
Интерфейсы с системой управления	АДИКМ, 32 Кбит/сек
Синхронизация	- через интерфейс RS-232 - через IP-сеть с использованием конвертора интерфейса RS-232 Ethernet
Кодирование речи	- от внешнего порта синхронизации - от ИКМ тракта
Радиоинтерфейс	
Диапазон частот, МГц	1880–1900
Ширина полосы частот, МГц	20
Количество доступных частотных каналов	10 (при необходимости оператор может отключать некоторые частоты)
Разнос частотных каналов, КГц	1728
Вид модуляции	GFSK
Чувствительность на входе приемника, дБм	-86 (BER < 10 ⁻³)

Окончание таблицы 30

1	2
Пиковая выходная мощность передатчика, мВт	250
Принцип организации доступа	Многостанционный доступ с частотно-временным разделением каналов (TDMA/FDMA), дуплекс с временным разделением направлений (TDD)
Распределение каналов	непрерывный динамический выбор каналов (частотное планирование не требуется)
Длительность кадра, мс	10
Количество доступных каналов	12 (на одной частоте)
Интерфейс с телефонной сетью	
Электрические характеристики	E1 (G.703)
Скорость цифрового потока, Кбит/с	2048 ±50 ppm
Волновое сопротивление, Ом	120/75
Линейный код	HDB3 (AMI)
Структура кадра	G.704
Система сигнализации	E-DSS1, 2BCK (R1.5), V5.2
Максимальное расстояние от АТС, м	- по физической линии – до 1000 (витая пара кат. 5) - по цифровой системе передачи – не ограничено.

Рассматриваемая система может использоваться в качестве цифровых радиотелефонов для организации связи на железнодорожной станции, и микросотовые системы связи для учреждений МС (Multicell), которые могут использоваться в межстанционной и перегонной связи.

Несомненное достоинство технологии DECT – цифровая радиопередача сигнала с отличным качеством речи, высокой степенью защиты от прослушивания и появления радиодвойников. Малая мощность мобильных телефонов (10 мВт) обеспечивает пользователям высокую экологическую безопасность. Для предприятий, которые хотели бы организовать у себя микросотовую связь, стандарт DECT удобен еще и тем, что не требует сложных процедур для получения частотных разрешений.

Сотрудники, которые по роду своих служебных обязанностей вынуждены часто перемещаться по территории предприятия, надолго остаются без связи и не могут своевременно получить оперативную информацию, вовремя связаться с руководителями, быстро оповестить коллег о срочных мероприятиях и т. д.

DECT-радиосеть позволяет мобильным абонентам быть в пределах досягаемости на всей территории предприятия. Где бы ни находились пользователи – в цехе, во дворе, на автостоянке, в конференц-зале или на складе – телефонный звонок всегда найдет абонента. Налаживается эффективный обмен информацией, и резко сокращаются непроизводительные расходы времени. При этом предприятие железнодорожного транспорта становится более динамичным и приспособленным к рыночным отношениям.

МиниКом-DECT легко интегрируется в любую проводную телефонную станцию и является великолепным дополнением к ней. При построении сети связи на базе МиниКом-DECT появляется возможность мобильности DECT-абонентов на всей территории развертывания сети (функция «роуминг»).

Система МиниКом-DECT создает сеть радиотелефонной связи, охватывающую территорию всего предприятия. Эта сеть представляет собой несколько радиозон, перекрывающих друг друга. Радиозоны образуются базовыми станциями (БС), предназначенными для установления соединений с беспроводными телефонными аппаратами. Радиус действия такой зоны составляет 200–300 метров на открытой территории и около 50 метров в здании.

Система МиниКом-DECT сама определяет, в какой из зон находится вызываемый абонент, и направляет ему городской или внутренний вызов. Если во время разговора есть необходимость перемещаться из одного конца предприятия в другой, можно это делать, не прерывая разговор и не замечая, переходов из зоны действия одной базовой станции в другую. Система сама отслеживает необходимые соединения. Каждая базовая станция позволяет вести до 12 одновременных разговоров, чем обеспечивает высокую плотность абонентов в зоне действия одной базовой станции. Направленные антенны оптимизируют количество базовых станций, необходимых для уверенной связи на всей территории предприятия.

22.2. Базовое оборудование, необходимое для организации сети связи стандарта DECT

Как и любая другая радиоаппаратура стандарта DECT состоит из базового и дополнительного оборудования.

Базовое оборудование системы состоит:

- из контроллера базовых станций МиниКом DMC-CS,
- базовых станций МиниКом DMC-BS,
- репитера МиниКом-Repeater,
- антенно-фидерных устройств,
- рабочего места оператора (РМО) и абонентских устройств.

Рассмотрим назначение основного оборудования, без которого система не может выполнять алгоритм работы и заложенные функции.

Контроллер базовых станций DMC-CS (КБС) показан на рисунке 122.



Рисунок 122 – Внешний вид DMC-CS (КБС)

Контроллер базовых станций DMC-CS (КБС)

Он предназначен для обеспечения взаимодействия системы МиниКом-ДЕСТ с АТС, управления базовыми станциями и обеспечения функционирования беспроводной сети. В системе МиниКом-ДЕСТ применяется КБС в виде отдельного устройства в стандартном корпусе 19»/1U, который может подключаться к различным АТС через одну или две 4-проводные цифровые линии E1. До 6 модулей КБС могут устанавливаться в специальный корпус (кассету) 19»/6U.

**Таблица 31 – Основные технические характеристики КБС
МиниКом DMC-CS (версия ПО 2.1)**

Напряжение электропитания, В	=48 (48-59)
Потребляемая мощность, Вт	10–70 (зависит от количества подключенных БС и способа их питания)
Габариты	19»/1U / 19»/6U
Вес, не более, кг	2,5
Диапазон температур, °C	+5...+40

Базовые станции DMC-BS. Внешний вид базовой станции показан на рисунке 123.



Рисунок 123 – Внешний вид базовой станции DMC-BS-12

Базовые станции – предназначены для организации радиоканала связи с терминальными абонентскими радиоблоками (ТАРБ), или портативными абонентскими радиоблоками (ПАРБ, Радиотрубками).

БС обеспечивают создание радиозон и обмен информацией с мобильными трубками. Базовые станции подключаются к контроллеру 4-парным кабелем по интерфейсу E1. Удаление БС от контроллера – до 1 км. Для выноса базовых станций на большие расстояния используются цифровые транспортные сети (радиорелейные, оптические, кабельные), xDSL-модемы.

Базовая станция предназначена для установки в отапливаемом помещении, интервал рабочих температур +5...+40 °C;

При работе в неотапливаемом помещении или вне помещения с большим интервалом рабочих температур (-40...+40 °C) БС помещается в специальный термостатный блок – термощкаф.

Основные технические характеристики базовой станции приведены в таблице 32.

**Таблица 32 – Основные технические характеристики БС
МиниКом DMC-BS (версия ПО 9.0)**

Подключение БС	Две 2-проводные линии и, при необходимости, одна 2-проводная линия для синхронизации
Электропитание БС, В	фантомное от КБС по линии управления =48 (48–72) от местного источника питания
Потребляемая мощность, не более, Вт	5
Синхронизация	- при подключении БС по физической линии: по одной отдельной паре от КБС или от одной из БС - при подключении БС через устройства передачи данных: по отдельной паре от одной из БС
Диапазон температур, °С	+5...+40

Терминальный абонентский радиоблок (ТАРБ) МиниКом DT-20 – показан на рисунке 124 и предназначен для обеспечения беспроводного доступа пользователей к телефонной сети.



Рисунок 124 – Терминальный абонентский радиоблок МиниКом DT-20

ТАРБ – это стационарное устройство, состоящее из радиорозетки, направленной антенны и необходимого комплекта кабелей и разъемов. К ТАРБ могут быть подключены телефонные аппараты различных типов и производителей с частотным и импульсным набором, а также факсы и модемы. В системе «МиниКом-ДЕСТ» компании «Информтехника и Связь» используются радиоблоки «МиниКом DT-20». Отличительной особенностью ТАРБ «МиниКом DT-20» является наличие в нем встроенного блока бесперебойного питания, позволяющего сохранять работоспособность системы в случае отключения электропитания. При стандартной для ДЕСТ мощности излучения 10 мВт «МиниКом DT-20» обеспечивает устойчивую работу системы на расстоянии до 10–12 км от базовой станции.

Новинка ТАРБ «МиниКом DT-20М» с возможностью передачи данных со скоростью до 48 кбит/с.

Репитер МиниКом-Repeater показан на рисунке 125 и предназначен для ретрансляции сигналов между БС и ТАРБ/ПАРБ с целью организации радиоканала связи с абонентскими устройствами, находящимися вне зоны прямой видимости БС.



Рисунок 125 – Репитер МиниКом-Repeater

Принцип работы основан на способности репитера, выполнять функции абонентских терминалов для связи с базовой станцией и функции базовой станции – для связи с абонентскими терминалами, используя свободные радиоканалы стандарта DECT и осуществляя коммутацию 10 разговорных каналов. При работе RF-модуль репитера всегда использует каналы связи с наилучшим качеством. Это определяется специальной процедурой динамического выбора и распределения каналов, которая позволяет постоянно отслеживать состояние всех каналов и выбирать из них наилучшие.

Таблица 33 – Основные технические характеристики БС МиниКом Repeater

Общие	
Количество одновременных соединений	До 5 абонентов
Интерфейс с системой управления	RS-232
Антенные разъемы	Нет
Габаритные размеры Ш × В × Г, мм	170 × 112 × 40
Вес, кг	0,33
Диапазон температур, °С	+5...+40
Относительная влажность, %	0...80 (при t +25 °С)
Температура хранения, °С	-10...+60
Защита от внешних воздействий	Нет
Радиоинтерфейс	
Частотный диапазон, МГц	1880–1900
Ширина полосы частот, МГц	20
Количество частотных каналов	10
Разнос частотных каналов, кГц	1728
Вид модуляции	GFSK
Скорость передачи (на канал), Кбит/с	1152 (32)

Окончание таблицы 33

Чувствительность приемника, дБм	Не хуже -86 (BER < 10 ⁻³)
Пиковая выходная мощность передатчика, не более, мВт	250
Средняя мощность излучения передатчика, не более, мВт	10 на канал
Принцип доступа	TDMA/FDMA/TDD
Частотное планирование	Не требует
Кодирование речи	ADPCM, 32 Кбит/с
Профиль доступа	GAP
Электропитание	
Тип	Через адаптер, напряжение 220 В, переменный ток
Потребляемая мощность, не боле, Вт	5

Мобильные радиотрубки – мобильные радиотрубки стандарта DECT сегодня производятся многими фирмами. Система микросотовой связи Мини-Ком-DECT поддерживает профиль GAP, созданный специально для использования носимых телефонов различных производителей. Поэтому в своей системе можно использовать оборудование, максимально подходящее по функциональным возможностям и стоимости.



Рисунок 126 – Радиотрубка для работы с ТАРБ МиниКом

Рабочее место оператора

Необходимо для обеспечения работы оператора по конфигурированию, управлению и диагностике системы. Существует возможность удаленного управления КБС по ЛВС, другими словами через Dial-Up-модем или по IP-сети, используя конвертор интерфейса RS-232 с сетевым протоколом TCP/IP(Ethernet).

Рабочее место оператора (РМО) показано на рисунке 127.



Рисунок 127 – Рабочее место оператора (РМО)

Оператор может выполнять следующие виды работ:

- производить мониторинг базового и абонентского оборудования;
- прописывать (выписывать) абонентов внутри системы;
- автоматически производить опрос устройств в системе;
- получать сигналы об аварийных ситуациях в системе;
- производить модернизацию ПО системы.

Программное обеспечение регистрирует, сохраняет и сортирует следующую информацию:

- дата и время разговора;
- длительность разговора;
- входящие, исходящие вызовы;
- нагрузка на базовую станцию;
- нагрузка на всю систему в целом;
- состояние каждой базовой станции.

22.3. Работа и функции, выполняемые абонентским терминалом при организации связи на железнодорожном транспорте

Рассмотрим функции, которые должен выполнять мобильный портативный абонентский терминал (АТ) системы стандарта DECT в процессе обслуживания вызовов, поступающих по каналам ОТС.

- Абонентский терминал идентифицирует входящий вызов с помощью акустического сигнала и отображения идентификатора этого вызова на дисплее.

Идентификация вызова осуществляется как при уже существующем соединении, так и без него.

- Если в течение заданного промежутка времени, который составляет от 3 до 5 акустических сигналов оперативный абонент дежурный по станции (ДСП) не ответил на вызов поступивший на стационарный пульт оперативной связи (ПОС) КС ОТС то входящий вызов перенаправляется на АТ.
- Оперативный абонент, имеет возможность принять вновь поступивший вызов, разрушив ранее установленное соединение, или поставив предыдущий вызов на удержание. В случае постановки вызова на удержание, после окончания разговора он может возобновить ранее прерванное соединение.
- Если по какой-либо причине в данный момент вызов не может быть принят на обслуживание, то поступивший вызов может быть установлен оперативным абонентом на ожидание. При этом может создаваться очередь из ожидающих обслуживания вызовов. В дальнейшем оперативный абонент имеет возможность выбора вызовов на обслуживание из очереди по своему усмотрению.

- При использовании абонентского терминала могут выполняться следующие операции принятия и отправки вызовов:
 - принимаются все входящие вызовы, переадресованные с ПОС, вне зависимости от их типа, направленные по групповому или прямому каналу;
 - отправка вызова осуществляется только к прямым абонентам, не включенным в групповой канал связи (абоненты межстанционной, перегонной, стрелочной связи).

При поступлении вызова по каналу диспетчерской связи на пульт оперативной связи при отсутствии ДСП на своем рабочем месте, данный вызов после прихода 3–5 акустических сигналов перенаправляется на АТ.

После ответа на вызов дежурный должен в соответствии с Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) возвратиться в помещение ДСП, где размещен план-график движения поездов и рабочий журнал дежурства и дальнейший разговор дежурного по станции с диспетчером продолжается в помещении ДСП посредством ПОС.

При организации связи по каналу межстанционной связи между двумя дежурными выполнение процедуры установления и разрушения соединения посредством системы стандарта DECT мобильные абонентские терминалы АТ фактически дублируют основных функций пультов оперативной связи ПОС-Ц. Такое дублирование возможно организовать при развертывании в пределах железнодорожной станции, как правило, системы стандарта DECT, состоящей из одного контроллера базовой станции (КБС), самой базовой станции (БС) и непосредственно абонентского терминала, которое является устройством связи дежурного по станции с работниками других служб. При этом следует заметить, что реализация такого решения может осуществляться различными способами включения ПОС-Ц и БС.

Так как межстанционная связь организуется по индивидуальному (прямому) каналу, функции ПОС-Ц могут быть полностью реализованы посредством носимого абонентского терминала.

Рассмотрим, каким образом реализуются эти функции в различных ситуациях выполнения служебных обязанностей ДСП.

Дежурный по станции находится в помещении ДСП. В этом случае его действия по организации связи с ДСП другой станции осуществляются непосредственно с цифрового пульта оперативной связи, расположенного на штатном рабочем месте. Соединение выполняется по существующему алгоритму подключения дежурного к индивидуальному каналу межстанционной связи.

Дежурный по станции находится за пределами помещения ДСП. Подобная ситуация происходит в том случае, когда дежурному требуется проконтролировать выполнение технологического процесса на платформе или в каком-либо помещении, находящемся на территории железнодорожной станции. В этом случае ДСП берёт с собой абонентский терминал, который всё время находится в состоянии готовности к принятию и отправке вызовов.

При **входящем вызове** со стороны ДСП соседней станции соединение произойдет в обычном режиме и ПОС-Ц известит дежурного звуковым сигналом и мигающим сигналом индикатора о том, что его вызывают. Однако в связи с отсутствием ДСП на рабочем месте, вызов через установленное время (3–5 сигналов) будет перенаправлен на носимый абонентский терминал, который звуковым сигналом и свечением экрана сообщит дежурному о входящем вызове, а номер на дисплее трубки идентифицирует вызывающего абонента. Таким образом, при маршрутизации вызова на носимый терминал происходит занятие соединительной линии между контроллером базовой станции и базовой станцией. При ответе дежурного на вызов с носимого терминала произойдет занятие одного из физических каналов радиointерфейса системы стандарта DECT, обеспечивающих связь между БС и АТ. При этом канал типа доступа между ПОС-Ц и диспетчерской системой связи освобождается. Во время разговора ДСП с вызывающим абонентом возможно также поступление второго вызова на пульт ПОС-Ц, как это предусмотрено функциональными возможностями цифрового пульта. При этом точно также новый вызов сначала поступит на ПОС-Ц, вызвав срабатывание звукового и светового сигналов, сигнализируя о второй входящей заявке, и при отсутствии ответных действий со стороны вызываемого ДСП также будет маршрутизирован на мобильный терминал, оповещая дежурного о втором входящем вызове. В этом случае ДСП принимает решение совершить одно из следующих действий:

- поставить первый поступивший вызов на удержание (ожидание) и начать разговор со вторым вызвавшим дежурного абонентом;
- поставить второй вызов на удержание (ожидание) и продолжить разговор с ранее вызвавшим его абонентом;
- отклонить (завершить) соединение с одним из абонентов (без постановки его на ожидание) и продолжить разговор с другим абонентом;
- поставив на удержание (ожидание) оба вызова, вернуться на пост ДСП и продолжить разговор с любым из вызывающих абонентов, совершая обычные манипуляции на пульте ПОС-Ц.

Освобождение физического канала радиointерфейса системы стандарта DECT осуществляется после завершения соединения дежурным на АТ или со стороны вызывающего абонента. Канал освобождается также после того, как дежурный вернется на рабочее место и продолжит разговор посредством ПОС-Ц.

Исходящий вызов со стороны дежурного, находящегося вне помещения ДСП, осуществляется набором сокращенного номера на кнопочной клавиатуре абонентского терминала. При этом сначала занимается физический канал радиointерфейса DECT от АТ до БС, затем соединительная линия от БС до КБС.

Все ситуации с поступлением нового входящего вызова при существующем исходящем соединении аналогичны рассмотренным выше вариантам.

Для организации связи с использованием стандарта DECT на диспетчерской и исполнительной станциях должен быть установлен комплект оборудования диспетчерской связи, а также комплект оборудования DECT, состоящий из базовой станции (БС) и мобильного абонентского терминала (АТ), ко-

торый принимает переадресованный от ПОС-Ц сигнал по одному из физических каналов цифрового радиотракта (БС-АТ).

В круг ПДС включены пульт поездного диспетчера ДНЦ и два пульта дежурных по станциям.

Внутростанционная связь организуется между абонентскими устройствами внутри одной ж.д. станции.

Межстанционная связь осуществляется между двумя ДСП станций ограничивающих перегон.

Абонент перегонной связи (ПГС), находящийся на перегоне, должен иметь с собой абонентский терминал, посредством которого осуществляется связь по радиоканалу с базовой станцией находящейся на перегоне. Вызов обслуживается одним из ДСП.

На рисунке 128 изображена схема организации перегонной связи с использованием базовой станции DECT, реализующей сотовое покрытие в некотором радиусе вокруг сигнальной точки.

На рисунке видно, что БС через двухпроводный интерфейс U_{k0} подключается к контроллеру базовой станции (КБС), находящемуся непосредственно на распорядительной станции. КБС управляет процессом организации и поддержки соединений в системе.

Все абонентские терминалы должны находиться в зоне действия БС. При этом радиус ячейки составляет 50 м в закрытых помещениях и 300 м на открытом пространстве. Если такого расстояния недостаточно, могут быть использованы базовые станции с направленными антеннами или репитеры для удлинения зоны приёма сигнала. В этом случае радиус ячейки может составлять от 300 м до 5 км.

Организация перегонной связи стандарта DECT предусматривает два варианта исполнения:

- с одной ячейкой покрытия;
- с множеством ячеек покрытия.

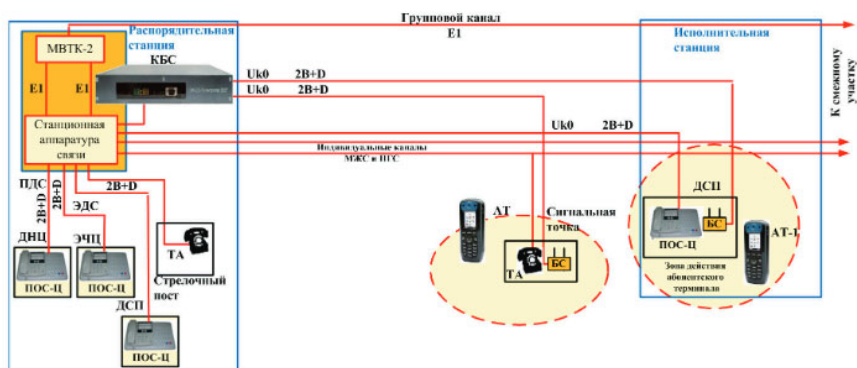


Рисунок 128 – Схема организации ПГС на участке с одной ячейкой покрытия

Если считать произвольно выбранный радиус ячейки примерно равным 300 м, средняя величина радиуса покрытия базовой станции на открытой местности, то тогда можно говорить о том, что такой вариант организации перегонной связи значительно увеличивает степень мобильности линейного работника. Тем самым уменьшаются временные затраты и физические усилия на перемещение к сигнальной точке для организации соединения по ПГС. Как отмечалось выше, при применении направленных антенн БС или репитеров радиус ячейки может быть увеличен (до 5 км).

Как видно из рисунка 128 абонент, находящийся на перегоне, имеет возможность связаться с дежурным любой из станций как при помощи фиксированного телефонного аппарата, расположенного в релейном шкафу, так и посредством мобильного абонентского терминала, действующего в зоне покрытия базовой станции, находящейся на перегоне. Причем, если линейному работнику требуется осуществить исходящий вызов в сторону распорядительной станции, то в данном случае сигнал по физическому каналу радиотракта системы DECT поступает на БС, а далее по одному из В-каналов доступа 2B+D через КБС и коммутационную систему станционной аппаратуры в ПОС-Ц. В том случае, когда связь требуется осуществить с исполнительной станцией, сигнал от БС поступает также на КБС и КС станционной аппаратуры, откуда через КБС по уже другой цифровой линии связи поступает на ПОС-Ц станции.

22.4. Организация перегонной связи стандарта DECT на участке с множеством ячеек покрытия

Для варианта исполнения с множеством ячеек покрытия используется бесшовное покрытие. Это означает, что в любой микросотовой системе работают несколько базовых станций, каждая из которых отвечает за собственную зону покрытия. Абонент свободно регистрируется на любой базовой станции и может непрерывно говорить по телефону, перемещаясь между ними.

Взаимодействие между базовыми станциями и беспроводными телефонными трубками абонентов осуществляется по технологии DECT. В свою очередь, микросотовые системы Gigaset N720 PRO и N870 PRO работают с IP-АТС компании по протоколу SIP. Системы поддерживают как аппаратные IP-АТС (LAVoice, Avaya, Eltex, Yeastar, Grandstream и др. на базе Asterisk), так и программные (3CX, Yeastar Cloud PBX) протоколы.

Контроллер КБС, установленный на одной из более крупных железнодорожных станций и встроенный в аппаратуру станционной связи позволяет подключить до 32 двухпроводных линий и, соответственно, такого же количества БС. Таким образом, создается возможность для реализации непрерывного покрытия ячейками системы стандарта DECT участка железной дороги, ограниченного соседними станциями. На рисунке 129 показана схема организации ПГС на участке с множеством ячеек покрытия. Так как интерфейс позволяет организовывать связь по двухпроводной линии на расстоянии до 5–6 км, то, следовательно, данная концепция позволяет развернуть непрерывную сеть ячеек вдоль железной дороги на участке соответствующей протяженности.

Применение в рассматриваемом случае направленных антенн позволит увеличить дальность и качество приема сигнала от базовых станций в заданных направлениях посредством создания ячейки в форме вытянутого вдоль железнодорожного полотна эллипса. При этом экономятся значительные средства в процессе установки базовых станций. Такой метод установки антенн БС вдоль участка применяется в системах стандартов GSM-R и TERA, где также используются ячейки в виде вытянутого эллипса.

Из рисунка 129 видно, что в зоне нахождения абонентского терминала 2 (АТ-2) расположена только базовая станция, а стационарный телефонный аппарат (ТА) ПГС отсутствует.

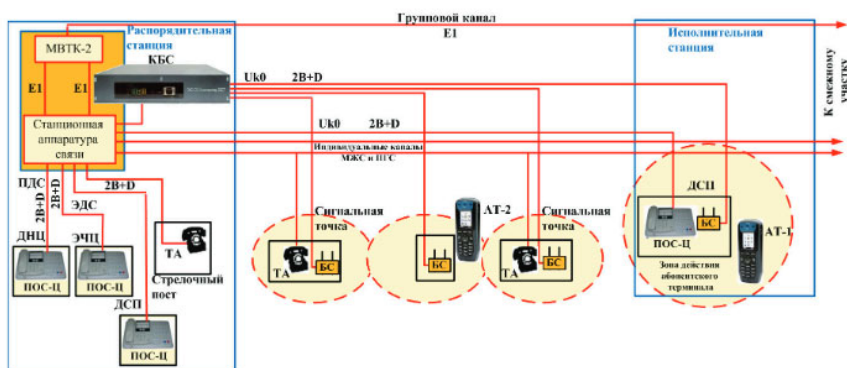


Рисунок 129 – Схема организации ПГС на участке с множеством ячеек покрытия

Базовые станции (БС) и абонентские терминалы (АТ) постоянно сканируют все доступные каналы (до 120). При этом измеряется мощность сигнала на каждом из каналов, которая заносится в список RSSI (Received Signal Strength Indication). БС выбирает канал с самым низким значением RSSI для постоянной передачи служебной информации о вызовах абонентов, идентификаторе станции, возможностях системы и т. п. Эта информация играет роль опорных сигналов для АТ – по ним АТ определяет, есть ли у него право доступа к той или иной БС, есть ли в системе свободная емкость и выбирает свободную БС с наиболее качественным сигналом. В DECT канал связи всегда выбирает АТ. Данная процедура динамического распределения каналов DCS (Dynamic Channel Selection) позволяет избавиться от частотного планирования, которое является важнейшим свойством DECT. В системе DECT, предусмотрен handover – переключение без прерывания соединения. В радиотракте DECT мощность весьма мала 10...250 мВт. Причем 10 мВт – номинальная мощность для микросотовых систем с радиусом соты 30...50 м внутри здания и 300...400 м – на открытом пространстве. Передатчики мощностью до 250 мВт используют для радиопокрытия больших территорий до 5 км при использовании направленных антенн.

При мощности 10 мВт возможно располагать базовые трубки на расстоянии 25 м, чем достигается рекордная плотность одновременных соединений – до 10000 Эрл/км² (около 100000 абонентов) при условии расположения БС по схеме 6-угольника в одной плоскости. По эффективности использования радиоспектра это 500 Эрл/МГц/км² для DECT против 100 Эрл/МГц/км² для GSM 1800.

В зависимости от производителя оборудования базовые станции могут быть как внутреннего, так и наружного применения. В связи с этим БС можно устанавливать не только в релейных шкафах, внутри остановочных пунктов, но и на открытом пространстве – на столбах и прочих сооружениях, расположенных вдоль железной дороги, что значительно разнообразит варианты установки оборудования.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте общие принципы организации сетей стандарта DECT на железнодорожном транспорте.
2. Охарактеризуйте основные технические характеристики системы МиниКом-DECT.
3. Перечислите и охарактеризуйте базовое оборудование необходимое для организации сети связи стандарта DECT.
4. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях контроллера базовых станций DMC-CS (КБС).
5. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях базовой станции DMC-BS.
6. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях терминального абонентского радиоблока (ТАРБ) МиниКом DT-20.
7. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях репитера МиниКом-Repeater.
8. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях мобильной радиотрубки.
9. Расскажите о предназначении и выполняемых функциях рабочего места оператора.
10. Расскажите о работе и функциях, выполняемые абонентским терминалом при организации связи на железнодорожном транспорте.
11. Расскажите об организации перегонной связи стандарта DECT при организации связи на участке железной дороги с одной ячейкой покрытия.
12. Расскажите об организации перегонной связи стандарта DECT на участке с множеством ячеек покрытия.

Глава 23. РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СТАНЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

23.1. Теоретические основы расчета дальности станционной радиосвязи

На железнодорожных станциях для оперативного управления технологическими процессами организуется станционная радиосвязь (СРС). Станционная радиосвязь предназначена для передачи информации между работниками станции и включает в себя маневровую и горочную радиосвязь, а также радиосвязь персонала, участвующего в технологическом процессе обработки составов на железнодорожных станциях. Радиосети станционной радиосвязи организуются по радиальному принципу в полосах частот 151,700–154,000 и 155,000–156,000 МГц с использованием одной несущей частоты, поэтому связь осуществляется в симплексном режиме, когда абоненты радиосети говорят по очереди.

На крупных станциях и в узлах организуется радиосеть с равнодоступными каналами СРС-У, обеспечивающая возможность совместной работы диспетчеров различных служб с подвижными абонентами. В радиосети могут работать девять диспетчеров и до 99 мобильных абонентов. Радиосеть СРС-У работает в симплексном режиме, когда абоненты могут говорить одновременно. Для организации такой связи используются три несущих частоты. Для организации радиосетей станционной радиосвязи применяются стационарные радиостанции РС, возимые радиостанции РВ и носимые радиостанции РН.

В данной главе рассмотрим методику расчетов системы станционной радиосвязи.

В основу расчета дальности станционной радиосвязи положены графические зависимости изменения напряжения электромагнитного поля от расстояния при заданных высотах установки передающей h_1 и приемной h_2 антенн. Кривые для расчета дальности действия радиосвязи при различных высотах установки приемной и передающей антенн показаны на рисунке 2.1. В литературе, при расчетах принято всегда использовать индекс «1» к передающей стороне, а индекс «2» – к приемной.

За нулевой уровень для E_2 и u_2 приняты соответственно 1 мкВ/м и 1 мкВ.

Графики построены на основе статистических данных измерений с учетом особенностей распространения радиоволн в условиях железнодорожного транспорта. Полученные кривые принципиально не отличаются от кривых, рекомендованных Международным консультативным комитетом по радиосвязи. Однако они более полно отражают реальные условия распространения в диапазоне метровых волн на территории железнодорожных станций и узлов.

Кривые на рисунке 132 построены при следующих исходных данных:

- мощность передатчика, имеющего 50-омный выход, равна 12 Вт,

- мощность передатчиков с 75-омным выходом равна 8 Вт, что соответствует уровню напряжения на выходах тех и других $u_l = 148$ дБ;
- коэффициент усиления передающей и приемной антенн $G_1 = G_2 = 0$ дБ (используются полуволновые вибраторы);
- затухание передающего и принимающего фидеров $B_\phi = 0$ дБ;
- значения напряженности поля полезного сигнала имеют место в течение 50 % времени и в 50 % точек приема ($p = 50$ %).

Надежность канала радиосвязи по полю выбирается не менее 95 %. Это значит, что в 95 % случаев из большого числа измерений напряженность поля в точке приема не меньше минимального допустимого значения даже при самых неблагоприятных условиях.

На рисунке 132 наряду с напряженностью поля E_2 для упрощения расчета приведены значения полезного сигнала на входе приемника u'_2 , соответствующие при указанных условиях уровню напряженности поля полезного сигнала в точке приема. Значения u'_2 даны для приемников радиостанций, имеющих 50-омный вход. Для приемников с 75-омным входом значение u'_2 в той же точке приема на 2 дБ больше.

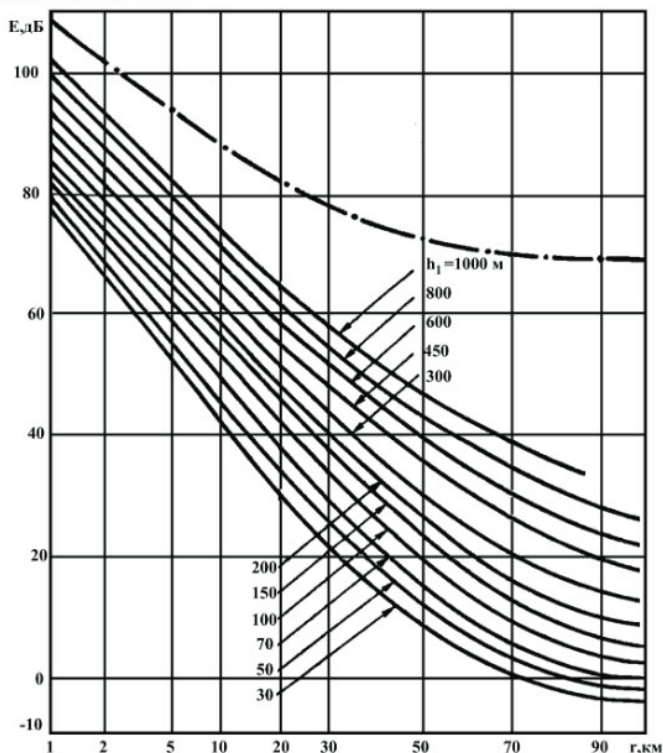


Рисунок 130 – Кривые для расчета дальности действия радиосвязи при различных высотах установки приемной и передающей антенн

Ожидаемая дальность радиосвязи определяется по кривым рисунка 130 для заданных высот установки антенн h_1 и h_2 и заданного значения u'_2 в точке приема.

В реальных условиях при расчете канала необходимо учитывать фактические параметры рассчитываемой системы:

- мощность передатчика;
- электрические данные используемых антенн;
- затухания приемного и передающего фидеров;
- ослабление электромагнитного поля вследствие влияния контактной сети, корпуса локомотива, а также явления интерференции.

Учет перечисленных факторов достигается введением следующих поправочных коэффициентов:

$B_\Phi = \alpha_1 \cdot l_1 + \alpha_2 \cdot l_2$ – коэффициент ослабления поля в результате потерь энергии в антенно-фидерных устройствах передатчика и приемника (α_1 и α_2 – постоянные затухания фидеров, определяемые по таблице 1, а l_1 и l_2 – длины фидеров);

Таблица 34 – Рекомендуемые типы коаксиальных кабелей и их постоянные затухания на частоте 150 МГц

Тип кабеля	Постоянная затухания, дБ/м	Тип кабеля	Постоянная затухания, дБ/м
РК-50-4-13	0,15	РК-75-4-12	0,15
РК-50-7-11	0,1	РК-75-4-15	0,13
РК-50-7-15	0,1	РК-75-4-17	0,15
РК-50-9-11	0,07	РК-75-7-11	0,09
РК-50-9-12	0,07	РК-75-7-12	0,09
РК-50-13-51	0,03	РК-75-7-15	0,09
РК-50-17-51	0,02	РК-75-7-16	0,09
РК-75-4-11	0,13	РК-75-9-12	0,08

$B_K = 8$ дБ – коэффициент ослабления поля контактной сетью учитывается только на электрифицированных участках при расчете дальности связи между стационарной радиостанцией и локомотивной или носимой;

$B_{\text{л}} = 9$ дБ – коэффициент ослабления поля корпусом локомотива учитывается при расчете дальности радиосвязи между локомотивной радиостанцией и любой другой;

$B_{\text{и}}$ – коэффициент ослабления поля в результате интерференции сигнала, зависящей от требуемой надежности канала связи. Кривые показаны на рисунке 133. Мешающий сигнал определяется с вероятностью $p = 5 \div 10$ %, полезный сигнал – с вероятностью $p = 95 \div 99$ %;

B_M – поправочный коэффициент, учитывающий отличие мощности передатчиков от 12 Вт (для одноваттных передатчиков носимых радиостанций РН)

$$B_M = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{1}\right) = 11 \text{ дБ}$$

$$B_M = 20 \cdot \lg\left(\frac{25}{h_1 \cdot h_2}\right)$$

• коэффициент ослабления поля, учитывающий низкое расположение антенн носимых радиосредств (табл. 32). Используется только при $h_1 \cdot h_2 < 25 \text{ м}^2$. Расчет дальности радиосвязи в этом случае производится по кривой $h_1 \cdot h_2 = 25 \text{ м}^2$ (рис. 131).

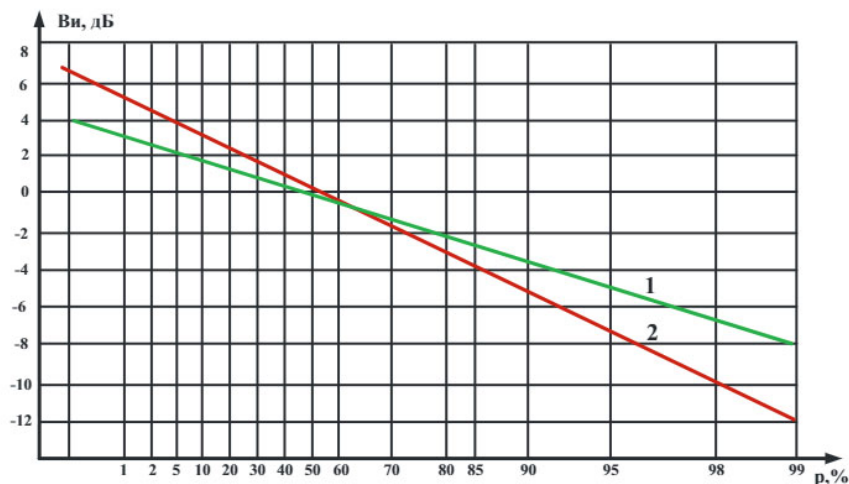


Рисунок 131 – Зависимости поправочного коэффициента $B_{п}$ от надежности канала радиосвязи для неэлектрифицированных (кривая 1) и электрифицированных (кривая 2) участков

$B_{рн}$ – коэффициент ослабления поля (табл. 35), учитывающий ухудшение условий передачи информации в каналах с носимыми радиосредствами (закрытие на трассах, увеличение глубины флуктуации и т. д.);

G_1, G_2 – коэффициенты усиления соответственно передающей и приемной антенн определяются по таблице 36.

Таблица 35 – Коэффициент ослабления поля

Участок	В _{рп} , дБ, в каналах радиосвязи		
	РН-РН; РН-РВ		РН-РС
	Открытая трасса	Закрытая трасса	
Неэлектрифицированный	4	10	4
Электрифицированный:			
– на постоянном токе	0	2	0
– на переменном токе	0	0	0

Таблица 36 – Коэффициенты усиления передающей и приемной антенн

Наименование антенны	Тип антенны	Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости		Входное сопротивление $R_{\text{вх}}, \text{Ом}$	Коэффициент усиления в главном направлении $G, \text{дБ}$	Масса кг. (не более)	Габаритные размеры мм
		Вид	Ширина (градус)				
АС-1/2	Полуволновой вибратор	Круговая	–	50	0	2,5	130-1100
АС-2/2	Полуволновой вибратор с плоским отражателем (520-2040 мм)	Кардиоида	110	50	3	19,8	Высота 2500
АС-3/2	Полуволновой вибратор уголкового отражателем (2020-2040 мм)	Одно-направленная	50	50	8	29	Высота 2500
АС-4/2	Две антенны АС-3/2	Восьмерка	50	50	4	59	Высота 2500
АС-5/2	Коллинеарная антенна	Круговая	–	50	5	19,6	180-3550
АС-6/2	Два синфазных волновых вибратора с расстоянием 980 мм между ними	Восьмерка	–	50	4	8	Высота 1350
Антенна радиостанции ЖРУ	Четвертьволновой петлевой вибратор с противовесом	Круговая	–	75	0	2,9	900-510
АЛ/2	Низкорасположенная локомотивная антенна	Круговая	–	50	–0,5	2	502-80-200
АЛП/2	Дисконусная локомотивная антенна	Круговая	–	50	0	3,3	350-700
МСКИ-11 МХ160	Полуволновой вибратор	Круговая	–	50	0	–	1293
Антенна РН при расположении вблизи тела оператора		Круговая	–	50	–2	–	–
Антенна носимого приемника		Круговая	–	50	–8	–	–

При заданных высотах антенн, надежности канала радиосвязи и применительно к конкретным условиям получаем формулу:

$$u'_2 = u_2 + \Sigma B - \Sigma G \quad (23.1)$$

где u_2 – значение полезного сигнала на входе приемника.

При этом

$$\Sigma B = B\phi + B_k + B_l - B_u + B_m + B_h + B_{rn} \quad (23.2)$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2 \quad (23.3)$$

Таблица 37 – Коэффициент, зависящий от высоты поднятия антенн

$h_1, h_2,$ м ²	2	3	4	5	6	8	10	15	20
B_b дБ	22	18	16	14	12	10	8	4	2

Примечание: в канале связи РН–РС при расчете закрытой трассы, расположенной вдоль железной дороги, коэффициент B_{rn} должен быть увеличен на 4 дБ по сравнению с приведенными значениями. Если трасса радиосвязи проходит по городской застройке, значение B_{rn} зависит от количества препятствий и может достигать 10 дБ.

Таблица 38 – Зависимость u_{2min} , в дБ и мВ от используемой тяги

Участок	u_{2min} , дБ	u_{2min} , мВ
Неэлектрифицированный	4	1,5
Электрифицированный:		
– на постоянном токе	6	2
– на переменном токе	14	5

Для обеспечения уверенной радиосвязи должно выполняться условие

$$u_2 \geq u_{2min}$$

где u_{2min} реализуемая чувствительность приемника, определяемая наименьшим значением полезного сигнала на его входе, при котором обеспечивается заданная разборчивость речи (для радиостанций по ГОСТ 16600-72).

Значению u_{2mun} на входе приемника соответствует соотношение сигнал/помеха на выходе приемника, равное 14 дБ. Значения u_{2mun} приведены в табл. 38.

На границе зоны обслуживания (при максимальной дальности связи) напряжение на выходе приемника u_2 должно быть равно u_{2mun} .

При этом

$$u'_2 = u_{2min} + \Sigma B + \Sigma G \quad (23.4)$$

Вычислив значение u'_2 для конкретных условий организации каналов радиосвязи, по графикам рис. 131 определяют необходимую высоту установки антенн h_1 и h_2 исходя из заданной дальности связи. Для этого на оси ординат

откладывается расчетный уровень полезного сигнала u'_2 , а по оси абсцисс – требуемая дальность связи $г$. Место пересечения перпендикуляров, восстановленных из намеченных на осях точек u'_2 и $г$, определяет произведение высот антенн $h_1 \cdot h_2$, необходимое для обеспечения требуемой дальности связи.

Аналогично решается обратная задача – определение возможной дальности связи исходя из заданного значения высот установки антенн h_1 и h_2 .

23.2. Пример определения высоты установки антенны АС – 1/2 стационарной радиостанции РС-2

Условие

Определить высоту установки антенны АС – 1/2 стационарной радиостанции РС-2, при которой обеспечивается устойчивая радиосвязь с машинистом локомотива и абонентом носимой радиостанции.

Исходные данные.

Максимальное удаление возимой и носимой радиостанций от стационарной соответственно $r_{рв} = 4$ км и $r_{рн} = 2$ км.

Вероятность надежной работы канала радиосвязи $p = 95$ %.

Используется кабель РК-50-7-11.

Постоянная затухания сигнала в антенных фидерах радиостанций одинакова и равна $0,1$ дБ/м.

Длина фидера стационарной и возимой радиостанций соответственно $l_{рс} = 20$ м и $l_{рв} = 4$ м.

Мощность передатчиков стационарной и возимой радиостанций $P_{рс} = P_{рв} = 12$ Вт, а носимой радиостанции $P_{рн} = 1$ Вт.

Высота установки антенны АЛ/2 локомотивной радиостанции $h_{рв} = 5$ м;

Высота установки антенны носимой радиостанции $h_{рн} = 1,5$ м.

Участок железной дороги электрифицирован по системе переменного тока.

Порядок расчета.

Из таблицы 35 имеем: $u_{2\text{мин}} = 14$ дБ;

V_k – коэффициент ослабления поля контактной сетью учитывается только на электрифицированных участках при расчете дальности связи между стационарной радиостанцией и локомотивной или носимой $= 8$ дБ;

$V_i = -7$ дБ; По рисунку 133, используя кривую 2, находим значение V_i .

V_l – Коэффициент ослабления корпусом локомотива, который учитывается при расчете дальности радиосвязи между локомотивной радиостанцией и любой другой; $= 9$ дБ.

Коэффициент усиления антенны стационарной радиостанции $G_{рс} = 0$ дБ, возимой $G_{рв} = -0,5$ дБ, носимой $G_{рн} = -2$ дБ. Выбираем из таблицы 32.

Поправочный коэффициент, учитывающий мощность передатчика, для стационарной и возимой радиостанций. $V_{мрс}$ и $V_{мрв}$ рассчитываем по формуле

$$B_M = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{12}\right) = 0 \text{ дБ}$$

$$V_{мрс} = V_{мрв} = 0 \text{ дБ.}$$

Поправочный коэффициент для носимой радиостанции $B_{\text{мрп}}$ рассчитывается аналогично:

$$B_{\text{мрп}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{1}\right) = 11 \text{ дБ}$$

$B_{\text{мрп}} = 11 \text{ дБ}$.

Для канала радиосвязи «стационар–локомотив» по формулам (23.2) и (23.3) вычисляются:

ΣB и ΣG , для чего предварительно рассчитывается постоянная затухания антенных фидеров a и длина фидеров даны в условии задачи.

$$B_{\Phi} = a \cdot l_{PC} + a \cdot l_{PB} = 0,1 \cdot 20 + 0,1 \cdot 4 = 2,4 \text{ дБ}$$

Тогда

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K + B_{\text{Л}} - B_{\text{И}} + B_{\text{М}} = 2,4 + 8 + 9 - (-7) + 0 = 26,4 \text{ дБ}$$

$$\Sigma G = G_{PC} + G_{PB} = 0 - 0,5 = -0,5 \text{ дБ}$$

По формуле (23.4) находим

$$u'_2 = u_{2\text{min}} + \Sigma B - \Sigma G = 14 + 26,4 - (-0,5) = 40,9 \text{ дБ}$$

По полученному значению u'_2 и заданному r_{PB} , равному 4 км, по графику рисунок 132 определяем произведение высот антенн стационарной и возимой радиостанций $h_{PC} \cdot h_{PB} = 60 \text{ м}^2$.

При заданной высоте установки локомотивной антенны $h_{PB} = 5 \text{ м}$ расчетная высота установки стационарной антенны получается равной:

$$h_{PC} = \frac{h_{PC} \cdot h_{PB}}{h_{PB}} = \frac{60}{5} = 12 \text{ м}$$

При $h_{PC} = 12 \text{ м}$ определяется дальность связи в направлении «носимая радиостанция – стационарная радиостанция», для чего по таблице 37 определяем коэффициент $B_h = 4 \text{ дБ}$, а по таблице 35 коэффициент, $B_{PH} = 0 \text{ дБ}$ и рассчитывается значение

$$B_{\Phi} = a \cdot l_{PC} = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ дБ}$$

Тогда по формулам (2.2.) – (2.4.) получаем следующие результаты:

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K - B_{\text{И}} + B_{\text{МРП}} + B_h + B_{PH} = 2 + 8 - (-7) + 11 + 4 + 0 = 32 \text{ дБ}$$

$$\Sigma G = G_{PC} + G_{PH} = 0 + (-2) = -2 \text{ дБ}$$

$$u'_2 = u_{2\text{min}} + \Sigma B - \Sigma G = 14 + 32 - (-2) = 48 \text{ дБ}$$

По рисунку 130 для $h_1 \cdot h_2 = 25 \text{ м}^2$ $u'_2 = 48 \text{ дБ}$ получаем дальность связи с носимой радиостанцией около 1,6 км.

По данным расчетам делаем вывод, что установка антенны стационарной радиостанции на высоте 12 м не обеспечивает заданной дальности связи в канале «носимая радиостанция – стационарная радиостанция». Для увеличения дальности связи необходимо антенну стационарной радиостанции поднять выше.

Принимая $V_h = 0$ дБ (т. е. считая, что произведение $h_{PH} \cdot h_{PC} \geq 25 \text{ м}^2$) и, следовательно, $\Sigma V = 28$ дБ и $u'_2 = 44$ дБ по графику рисунок 130 для $r = 2$ км и $u'_2 = 44$ дБ, получаем $h_{PC} \cdot h_{PH} = 25 \text{ м}^2$.

Вывод:

Таким образом, при высоте антенны носимой радиостанции 1,5 м, антенна стационарной радиостанции должна устанавливаться на высоте $h_{PC} = 17$ м.

Вопросы для самоконтроля:

1. Выполните расчеты по приведенному примеру, но с использованием других исходных данных.

Глава 24. ПОЕЗДНАЯ РАДИОСВЯЗЬ, ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ

24.1. Поездная радиосвязь и радиостанции, используемые для ее организации

Поездная радиосвязь (ПРС) непосредственно влияет на использование пропускной способности участков железных дорог. Анализ поездной работы показывает, что примерно половина переговоров в грузовом движении и более 70 % в пассажирском приходятся на информацию аналитического характера, способствующую улучшению режима ведения поезда. Система ПРС предназначена для оперативного управления перевозочным процессом и повышения безопасности движения поездов.

В настоящее время для организации поездной радиосвязи (ПРС) используются гектометровые (2,13 и 2,15 МГц), метровые (151,775; 151,825; 151,875 МГц) и дециметровые волны (330 МГц). При этом гектометровые и метровые волны при организации ПРС являются основным диапазоном. В гектометровом диапазоне используются радиостанции типов ЖР-К-СП, ЖР-К-ЛП, РК-1, РС-6 и РВ-1, РС-46М «Транспорт» – РС с приемопередатчиками УПП1, 43РТС-А2-ЧМ, ЖР-3М (ЖР-3); в метровом диапазоне-ЖР-У-СП, ЖР-У-ЛП, РС-23, РС-4, РС-6 и РВ-1 с приемопередатчиками УПП2, РВ-2, РВ-4, РВ-5, носимые радиостанции РН и носимая станция GP-340 «Моторолла» в УКВ диапазоне; в дециметровом диапазоне (330 МГц) – РС-1 и РВ-1 с приемопередатчиками УПП3. Сейчас на ВСЖД для дуплексной радиосвязи используются РВ-1М – возимая диапазонов КВ, УКВ, ДМВ; РС-1М – стационарная ДСП; СР-1М – станция распорядительная ДНЦ.

Две первые буквы ведомственного шифра обозначают железнодорожную радиостанцию.

Одна или две последующие – диапазоны, в которых работают радиостанции:

- У – метровый (ультракоротковолновый);
- К – гектометровый диапазон;

Предпоследняя буква – назначение радиостанции:

- С – стационарная;
- Л – локомотивная;

Последняя буква – назначение радиостанции:

- П – для поездной;
- С – для станционной радиосвязи.

Радиосети ПРС, организованные в гектометровом и метровом диапазонах радиоволн работают в симплексном режиме, в дециметровом диапазоне – в дуплексном режиме. При оснащении диспетчерских участков радиостанциями трёх диапазонов дециметровый и гектометровый диапазоны волн используются

для организации линейных радиосетей, причём дециметровый диапазон волн используется как основной канал связи, а гектометровый – как резервный. Гектометровый диапазон применяется в линейных и зонных радиосетях для радиосвязи с локомотивами.

При оснащении диспетчерских участков двухдиапазонными радиостанциями, связь осуществляется в гектометровом и метровом диапазонах, или в дециметровом и метровом диапазоне волн. Дециметровый диапазон используется для организации линейных радиосетей, гектометровый диапазон – линейных и линейно-зонных, метровый диапазон – зонных.

Использование нескольких диапазонов волн увеличивает надежность связи.

Например: при использовании гектометрового и метрового диапазона длин волн, работая на одном из диапазонов, можно обеспечить вероятность связи равную 0,9.

При параллельной (двухдиапазонной) работе вероятность возрастёт до $0,99 = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9)$,

в случае трёх диапазонов до $0,999 = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9)$, что будет характеризовать систему как высоконадёжную.

Симплексные линейные радиосети ПРС-С обеспечивают:

- взаимный групповой вызов и ведение переговоров между поездным (ДНЦ), локомотивным (ТНЦ) и энерго- (ЭЧЦ) диспетчерами и машинистами поездных локомотивов (ТЧМ), находящихся в любой точке диспетчерского участка;
- возможность регистрации разговоров на магнитной ленте с указанием времени; автоматический и ручной диагностический контроль станционной и возимой аппаратуры;
- возможность пользования сетью дежурными по станции (ДСП).

Дуплексные линейные радиосети ПРС-Д в пределах диспетчерского участка обеспечивают:

- взаимный вызов с применением индивидуального, группового и циркулярного вызовов и ведение переговоров между ТЧМ и ДНЦ, ТНЦ, ЭЧЦ;
- передачу команд машинисту и сообщений машиниста;
- автоматическую передачу данных между управляющими ЭВМ диспетчерского пункта управления и локомотива;
- автоматическую или ручную передачу номера локомотива;
- возможность регистрации разговоров на магнитной ленте дискретной информации с указанием времени и даты;
- автоматический и ручной диагностический контроль станционной и возимой аппаратуры.

Система ПРС организуется по диспетчерским участкам, протяженность которых может быть в пределах 80...200 километров, где используется различная локомотивная и стационарная радиоаппаратура.

Организация ПРС должна осуществляться, как минимум в двух диапазонах частот. Дальность радиосвязи в гектометровом диапазоне (2,13 и 2,15 МГц)

должна быть осуществлена на всей протяженности перегона, что соответствует требованиям Правил технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ).

Согласно ПТЭ нормированный уровень полезного сигнала на перегоне участка не должен быть ниже при электротяге постоянного тока:

- 70 дБ (3160 мкВ) для возимой радиостанции;
- 64 дБ (1600 мкВ) – для стационарной радиостанции.

Также не должен быть ниже при электротяге переменного тока:

- 72 дБ (4000 мкВ) для возимой радиостанции;
- 70 дБ (3160 мкВ) – для стационарной радиостанции.

И не должен быть ниже при автономной (тепловозной) тяге:

- 47 дБ (230 мкВ) для возимой радиостанции;
- 39 дБ (90 мкВ) – для стационарной радиостанции.

При скоростях более 140 км/час необходимо на входе возимой радиостанции увеличивать напряжение на 3,5 дБ. Следует помнить, что уровень 0 дБ соответствует 1 мкВ. При этом обеспечивается нормальное функционирование систем ПРС и отношение сигнал/помеха не менее 2. Исходя из этих значения и при расчетах дальности радиосвязи на перегоне в гектометровом диапазоне следует использовать эти значения.

Энергия высокой частоты в диапазоне гектометровых волн может 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 движения локомотива с помощью направляющих линий, благодаря чему в условиях интенсивных индустриальных помех удается обеспечить требуемые дальность и качество связи.

В качестве направляющих используются линии, провода которых выполнены из цветного металла:

- специально подвешиваемые волноводные провода (одно – и двухпроводные волноводы);
- цветные цепи воздушных линий связи;
- могут также использоваться сталеалюминиевые провода линий продольного электроснабжения (два провода и рельсы) ДПР, ВЛ, питающий провод ПП.

Для линейных радиосетей ПРС-С для обеспечения связи со стационарными радиостанциями на удаленных участках дороги используются проводные каналы. Они могут быть организованы как групповые каналы оперативно-технологической связи. Для радиосетей ПРС-Д выделяются отдельные четырехпроводные каналы для соединения стационарных радиостанций между собой и диспетчерской станцией.

Линия ДПР – это трехфазная несимметричная высоковольтная линия напряжением 27 кВ, подвешиваемая на кронштейнах с напольной стороны опор контактной сети переменного тока для электроснабжения не тяговых потребителей.

Таким образом, поездная радиосвязь должна обеспечивать непрерывную надежную двухстороннюю связь машинистов поездных локомотивов:

- с ДНЦ – в пределах диспетчерского участка;
- с ДСП – в пределах смежных перегонов;
- с машинистами других локомотивов, находящихся на одном перегоне.

В соответствии с этим расчет высокочастотных линейных сетей ПРС гектометрового диапазона волн ведется из условия:

$$r_1 + r_2 = l_{\text{п}} + 3$$

где r_1 и r_2 – дальность радиосвязи между возимой радиостанцией РВ и стационарными радиостанциями РС, ограничивающими перегон, на котором находится локомотив; r_1 и r_2 должны быть не менее 10 км на участках со скоростным движением поездов и не менее 6 км на остальных участках; $l_{\text{п}}$ – длина перегона или расстояние между стационарными радиостанциями, выраженное в километрах. Выполнение данного условия обеспечивает связь:

- машиниста поездного локомотива с ДНЦ из любой точки диспетчерского участка;
- дежурных по станциям с машинистами поездных локомотивов на смежных (прилегающих к станциям) перегонах;
- машиниста из любой точки перегона с одним из дежурных по станциям, ограничивающим перегон.

24.2. Основные параметры при определении дальности связи в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона радиоволн

Дальность действия радиосвязи между стационарной и возимой радиостанциями при применении направляющих линий рассчитывается с использованием формулы:

$$r = \frac{A_{\text{прд}} - u_{\text{мин}} - A_{\text{пер}} - \Sigma a_{\text{ст}} - \Sigma a_{\text{лин}} - \Sigma a_{\text{лок}}}{a_{\text{п}}} \quad (24.1)$$

где $A_{\text{прд}}$ – выходной уровень сигнала передатчика радиостанций, дБ; $u_{\text{мин}}$ – минимально допустимый уровень полезного сигнала на входе радиостанции, дБ; $A_{\text{пер}}$ – переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции, дБ; $a_{\text{ст}}$ – затухание сигнала в станционных устройствах, дБ; $a_{\text{лин}}$ – затухание сигнала в линейных устройствах, дБ; $a_{\text{лок}}$ – затухание сигнала в локомотивных устройствах, дБ; $a_{\text{п}}$ – постоянная затухания направляющей линии на перегоне, дБ/км.

Примечание: для радиостанций 42РТМ-А2-ЧМ, 43РТС-А2-ЧМ, РС-6.3, РК1 $A_{\text{прд}} = 148$ дБ. Если радиостанция работает на две нагрузки, например на направляющую линию и антенну, тогда $A_{\text{прд}} = 145$ дБ для каждой нагрузки.

Определение минимально допустимого уровня полезного сигнала

Для получения качества технологических связей не хуже удовлетворительного необходимо, чтобы уровень ВЧ сигнала был больше минимально допустимого (u_{\min}).

Значение u_{\min} , которое следует использовать при расчетах для различных условий эксплуатации радиосредств, для неэлектрифицированных участков равно 2, для электрифицированных постоянного тока – 6, для электрифицированных переменного тока – 10 дБ. Минимально допустимый уровень полезного сигнала рассчитывается по формуле:

$$u_{\min} = u_{\Pi} + K_{\text{доп}} + K_{\text{И}} \quad (24.2)$$

где u_{Π} – квазипиковое значение напряжения, дБ, радиопомех на уровне интегральной вероятности 0,8 на входе приемника радиостанции (на нагрузке 75 Ом) при максимальных значениях потребляемого локомотивом тока и нормальных условиях погоды (отсутствие изморози, инея, гололеда и других отложений на направляющих линиях и проводах контактной сети); $K_{\text{доп}} = 6$ дБ – минимально допустимое отношение сигнал/помеха на входе УПЧ приемника, при котором обеспечивается необходимое качество разборчивости речи. Под уровнем сигнала следует понимать его среднее значение; $K_{\text{И}}$ – коэффициент, характеризующий глубину волнообразного изменения напряжения сигнала по отношению к среднему его значению. На участках с электрической тягой $K_{\text{И}}$ принимается равным 6 дБ, а с автономной тягой $K_{\text{И}}$ принимаем равным 3 дБ.

Значения u_{Π} и u_{\min} для стационарных и возимых радиостанций при наличии на локомотивах помехоподавляющих устройств в зависимости от вида тяги и типа направляющих линий представлены в таблице 39.

Для скоростных поездов (при скорости 140 км/ч) напряжение помех на входе возимой радиостанции следует брать на 3,5 дБ (1,5 раза) большим по сравнению с данными, приведенными в таблице 39.

Таблица 39 – Напряжения помех на входе локомотивных радиостанций

Тяга	Тип направляющих линий	u_{Π} на входе радиостанций		u_{\min} на входе радиостанций	
		возимой, мкВ; дБ	стационарной, мкВ; дБ	возимой, дБ	стационарной, дБ
Электрическая тяга переменного тока 25 кВ	Провода ДПР, подвешенные с одной стороны путей	1000; 60	750; 58	72	70
	Провода ДПР, подвешенные с разных сторон путей	1000; 60	600; 56	72	68
	Двухпроводный волновод	1000; 60	600; 56	72	68
	Однопроводный волновод, подвешенный под проводом ДПР	1000; 60	500; 54	72	66

Окончание таблицы 39

Тяга	Тип направляющих линий	и/л на входе радиостанций		и/мл на входе радиостанций	
		возимой, мкВ; дБ	стационарной, мкВ; дБ	возимой, дБ	стационарной, дБ
Электрическая тяга переменного тока 2×25 кВ	Провод ДПР – питающий провод ПП, подвешенный с одной стороны путей	1000; 60	750; 58	72	70
Электрическая тяга постоянного тока	Два провода трехфазной ВЛ	800; 58	400; 52	70	64
	Двухпроводный волновод	800; 58	200; 46	70	58
	Однопроводный волновод	800; 58	200; 46	70	58
	Цветные цепи воздушной линии связи	800; 58	100; 40	70	52
Автономная	Два провода трехфазной ВЛ	80; 38	300; 50	47	59
	Цветные цепи воздушной линии связи	80; 38	30; 30	47	39

Примечание. При определении дальности уверенной радиосвязи $U_{\text{вып}}$ принимаются наибольшим для данных тяги и направляющих линий.

Определение переходного затухания между направляющей линией и антенной возимой радиостанции $A_{\text{пер}}$ и постоянной затухания направляющей линии на перегоне $a_{\text{п}}$

Переходное затухание – это параметр, характеризующий взаимные влияния между электрическими цепями.

Переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции $A_{\text{пер}}$ и постоянная затухания направляющей линии на перегоне $a_{\text{п}}$ определяется из таблицы 40.

Таблица 40 – Постоянная затухания и переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции, дБ

Тяга	Тип направляющей линии	$A_{\text{пер}}$, дБ	$a_{\text{п}}$, дБ/км
Электрическая тяга переменного тока 25 кВ	Провода ДПР, подвешенные: - с одной стороны путей	38	2
	- с разных сторон путей	35	4
	Однопроводный волновод, подвешенный под проводом ДПР	38	2
Электрическая тяга переменного тока 2×25 кВ	Провод ДПР и питающий провод ПП, подвешенные с одной стороны путей	37	2
Электрическая тяга постоянного тока	Два провода трехфазной ВЛ	40	2
	Однопроводный волновод	30	2,5
	Цветные цепи воздушной линии	50	1,5

Окончание таблицы 40

Тяга	Тип направляющей линии	$A_{\text{пер}}$, дБ	$a_{\text{п}}$, дБ/км
Электрическая тяга постоянного и переменного тока	Двухпроводный волновод в тоннеле и на открытых участках	38	1,7
	Однопроводный волновод в тоннеле	38	12
Автономная	Цветные цепи воздушной линии связи	50	1,5
	Два провода трехфазной ВЛ	50	2
	Однопроводный волновод в тоннеле	38	12

Значения $A_{\text{пер}}$ для однопутных участков следует брать на 4 дБ ниже значений, указанных в таблице 40. Если расстояние между локомотивной антенной и проводами ВЛС и ВЛ, подвешенными на отдельно стоящих опорах, отличается от 25 м и превышает 10 м, то:

$$A_{\text{ПЕР}} = 50 + 0,5 \cdot (R - 25) \quad (24.3)$$

где 50 – значение $A_{\text{ПЕР}}$ дБ при $R=25$ м.

Примечания.

1. Расстояние между проводами трехфазной ВЛ равно 1,2 м, между проводами ДПР – 1,75 м, между проводами ДПР и питающим – 2,5 м.

2. При использовании ВЛС и ВЛ значение $A_{\text{ПЕР}}$ дано для расстояния 25 м между проводами направляющих линий и антенной возимой радиостанции.

Суммарное затухание сигнала ПРС в стационарных устройствах

Суммарное затухание сигнала поездной радиосвязи в стационарных устройствах учитывает все виды затухания сигнала воздействующие на полезный сигнал. Расчет суммарного затухания выполняется по формуле 24.4.

$$\Sigma a_{\text{СТ}} = a_{\text{ф}} \cdot l_{\text{ф}} + a_{\text{СУ}} + a_{\text{В}} + a_{\text{ОН}} + K_{\text{Р}} \quad (24.4)$$

где $a_{\text{ф}}$ – постоянная затухания фидера, дБ/км; для применяемых коаксиальных кабелей, применяемых в радиостанциях ПРС, $a_{\text{ф}} = (0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоте 2130 кГц; $l_{\text{ф}}$ – длина фидера, соединяющего радиостанцию с согласующим устройством, м; $a_{\text{СУ}} = 1,5$ 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 $a_{\text{В}}$ практически равно нулю; $a_{\text{ОН}} = 5 - 6$ дБ – конечное затухание на ближнем конце при синфазном возбуждении направляющих линий. Учитывается только при возбуждении однопроводного волновода и воздушной линии связи; $K_{\text{Р}} = 3$ 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 $K_{\text{Р}} = 0$ дБ.

Значения затухания $a_{\text{В}}$ выраженного в дБ, вносимого схемами возбуждения направляющих проводов для различных типов направляющих линий, приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Значения затухания a_v (дБ), вносимого схемами возбуждения направляющих проводов

Провода ДПР, подвешенные:	
– с одной стороны путей	1,5
– с разных сторон путей	2,8
Два провода трехфазных цепей ВЛ	2
Провод ДПР – питающий провод ПП	1,5
Волновод:	
– однопроводный	2,1
– двухпроводный	1,5
Цветная цепь воздушной линии связи	1,6

Суммарное затухание сигнала ПРС в линейных устройствах

Суммарное затухание сигнала ПРС, определяется затуханиями, вносимыми различными схемами высокочастотных обходов тяговой подстанции и разъединителями. Расчет суммарного затухания определяется по формуле 24.5.

$$\Sigma a_{\text{линии}} = a_{\text{ТП}} + a_{\text{Р}} + a_{\text{Д}} + na_{\text{П}} + ma_{\text{ТР}}, \quad (24.5)$$

где $a_{\text{МП}}$, $a_{\text{Р}}$ – затухания, вносимые соответственно схемами высокочастотных обходов тяговой подстанции и разъединителя. Единицей измерения является дБ. Учитывается только для тех перегонов, в направлении которых расположены тяговая подстанция или разъединитель, $a_{\text{ТП}} = a_{\text{Р}} = 1$ дБ; $a_{\text{Д}}$ – затухание, вносимое нарушением однородности двухпроводной направляющей линии, единица измерения – дБ. Учитывается при противофазном возбуждении проводов 10 ДПР в случае, когда один из проводов переходит на противоположную сторону пути, $a_{\text{Д}} = 2,5$ дБ; n – число переходов направляющих линии в пределах перегона; $a_{\text{П}}$ – затухание, вносимое изменением сторонности направляющей линии, дБ; $a_{\text{П}} = 0,7$ дБ при воздушном переходе; $a_{\text{П}} = 2,5$ 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. $a_{\text{ТР}} = 0,1$ дБ – при включении высокочастотных заградителей в месте отпая от направляющей линии.

При включении заградителей у силового трансформатора $a_{\text{ТР}}$ определяется по графикам, представленным на рисунке 132 в зависимости от длины проводов $l_{\text{ТР}}$, которыми трансформатор подключается к направляющей линии. При использовании двухпроводной линии ДПР-ПП на участках электрической тяги переменного тока 2×25 кВ затухание, вносимое одним автотрансформаторным пунктом АТП в тракт передачи энергии высокой частоты $a_{\text{ТР}} = 4$ дБ.

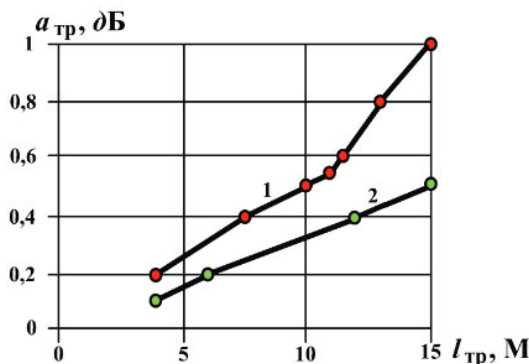


Рисунок 132 – Зависимость затухания $a_{тр}$ от длины проводов $l_{тр}$:
1 – для трехфазных трансформаторов; 2 – для однофазных трансформаторов

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

$$r = \frac{A_{прд} - u_{мин} - A_{пер} - \Sigma a_{СТ} - \Sigma A_{лин} - \Sigma a_{ЛОК} - (an1 - an2) \cdot l1}{an2} \quad (24.6)$$

где $an1$ – постоянная затухания направляющей линии, к которой присоединена стационарная радиостанция, дБ/км; $an2$ – постоянная затухания направляющей линии, удаленной от стационарной радиостанции; $l1$ – протяженность направляющей линии с постоянной затухания $an1$, км. При расчете дальности уверенной радиосвязи по формуле 24.6 значение $A_{пер}$ следует брать для той направляющей линии, которая находится на удалении от стационарной радиостанции, т. е. имеющей постоянную затухания $an2$.

24.3. Расчет дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн

Для расчета дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн определяется минимально допустимая напряженность поля сигнала $E_{доп}$, 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:

$$E_{доп} = K_{и} \cdot K_{доп} \cdot E_{п} \quad (24.7)$$

где $K_{доп}$ и $K_{и}$ рассматривались выше. $K_{доп} = 2$, и $K_{и} = 2$ на участках с электрической тягой, $K_{и} = 1,4$ – на участках с тепловозной тягой; $E_{п}$ – квазипиковое значение напряженности поля радиопомех на уровне интегральной вероятности 0,8 мкВ/м.

Напряженность поля E_a вычисляется по формуле (24.8)

$$E_a = \frac{10,9\sqrt{P_a \cdot \eta_a \cdot D}}{r} \cdot W \cdot 10^6 \quad (24.8)$$

где P_a – мощность, подводимая к антенне, Вт; η_a – КПД антенны (для возимой антенны) $\eta_a = 0,015-0,020$, для стационарных антенн определяется по графикам справочной литературы; D – коэффициент направленного действия антенны по отношению к изотропному излучателю; W – множитель ослабления.

Значения E_n приведены в таблице 42.

Таблица 42 – Квазипиковые значения напряженности поля радиопомех

Тяга	Еп, мкВ; дБ для радиостанций	
Электрическая: – переменного тока – постоянного тока	380; 52	80; 38
	280; 49	50; 34
Автономная	25; 28	20; 26

Значение мощности, подводимой к антенне, можно определить по выражению:

$$P_a = P \cdot 10^{-0,1(a\phi \cdot l\phi + a\sigma y)} \quad (24.9)$$

где P – выходная мощность, равная:

8 Вт для радиостанций 42РТМ-А2-ЧМ и 43РТС-А2-ЧМ,

4 Вт – если радиостанция работает на две нагрузки;

12 Вт для радиостанций РС – 46,

6 Вт на каждой нагрузке при работе на две нагрузки 12 Вт;

$a\phi = (0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоте 2130 кГц;

$l\phi$ – длина фидера, соединяющего радиостанцию с согласующим устройством, м;

Множитель ослабления рассчитывается по формуле:

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

где X – расчетный коэффициент, определяемый по выражению:

$$X = \frac{\pi r}{\lambda} \cdot \frac{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{(\varepsilon)^2 + (60\lambda\sigma)^2} \quad (24.10)$$

где λ – длина волны, м, равная 140,8 м для частоты поездной радиосвязи 2130 кГц и 139,5 м для частоты 2150 кГц; ε – относительная диэлектрическая проницаемость почвы; σ – удельная проводимость почвы, равная 1/(Ом·м).

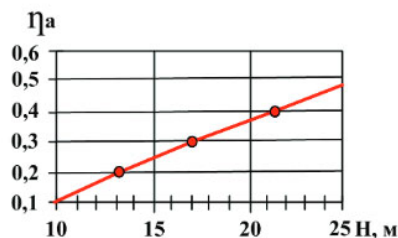


Рисунок 133 – Зависимость коэффициента полезного действия стационарных Г-образных антенн от высоты подвеса

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите об организации поездной радиосвязи и радиостанциях, используемых для ее организации.
2. Перечислите и охарактеризуйте основные параметры для определения дальности связи в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона радиоволн.
3. Расскажите о порядке определения минимально допустимого уровня полезного сигнала в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона радиоволн.
4. Расскажите о порядке определения переходного затухания между направляющей линией и антенной возимой радиостанции $A_{пер}$ и постоянной затухания направляющей линии на перегоне $ап$.
5. Расскажите о порядке определения суммарного затухания сигнала ПРС в стационарных устройствах.
6. Расскажите о порядке определения суммарного затухания сигнала ПРС в линейных устройствах.
7. Расскажите о порядке определения дальности уверенной радиосвязи r при использовании стационарных антенн.

Глава 25.

РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В РАДИОСЕТЯХ ПРС-С ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН (160 МГц)

25.1. Базовые кривые распространения радиоволн

Дальность связи между радиостанциями рассчитывается на основе базовых кривых распространения показанных на рисунке 134, и представляющих собой графические зависимости медианного значения напряженности электромагнитного 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:

$h_1 \cdot h_2 = 100 \text{ м}^2$ (кривые 1 и 2) – произведение высот установки стационарной и возимой антенн над поверхностью земли;

$h_1 \cdot h_2 = 25 \text{ м}^2$ (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 ($\alpha_1 \cdot l_1 = 0 \text{ дБ}$);

Индекс преломления воздуха соответствует стандартной атмосфере ($\Delta N = -40$).

Расстояние r отсчитывается по прямой линии.

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 выражены в децибелах по отношению соответственно к 1 мкВ/м и 1 мкВ. При расчете канала «Стационар-локомотив» индекс 1 относится к стационарной (передающей) радиостанции, индекс 2 – к возимой (приемной). Под высотой установки стационарной антенны h_1 понимается так называемая эффективная высота, которая представляет 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.

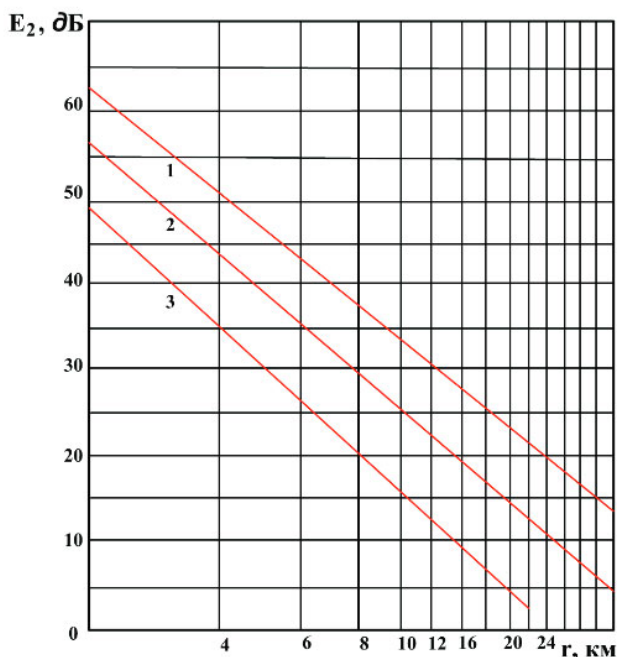


Рисунок 134 – Базовые кривые распространения радиоволн

25.2. Типы трасс радиосвязи

Трассы поездной радиосвязи по характеру рельефа местности, по которой они проходят, подразделяются на пять типов. Каждому типу соответствует 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 появляться очень редко по результатам расчета, так как всегда часть характеристик 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. 135).

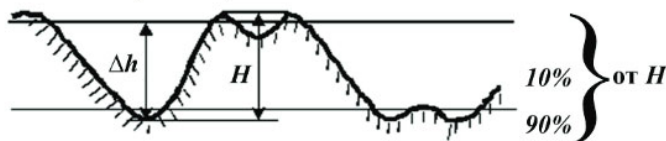


Рисунок 135 – Иллюстрация к определению колебаний уровня земной поверхности Δh

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

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 определяется по ее профилю, который строится по топографической карте.

25.3. Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты учитывают отличие параметров антеннофидерных трактов, мощности передатчика и рельефа местности от условий, для которых приведены кривые.

Коэффициент мощности, дБ учитывает отличие мощности передатчика P от мощности $P_1 = 1$ Вт.

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{P}{P_1} \right) \quad (25.1)$$

На рисунке показан график для определения поправочного коэффициента B_M .

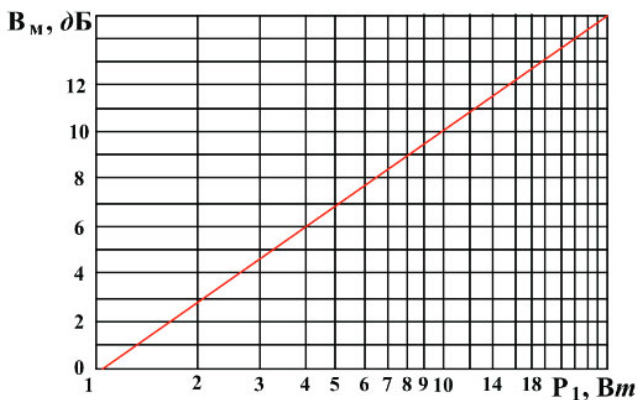


Рисунок 136 – График для определения поправочного коэффициента B_M

Высотный коэффициент, дБ учитывает отличие произведения высот установки антенн от 100 м^2 (рис. 130).

$$M = 20 \cdot \lg \left(\frac{h_1 \cdot h_2}{100} \right) \quad (25.2)$$

Затухание, вносимое фидером стационарной радиостанции, $a_1 \cdot l_1$, дБ, где a_1 – постоянная затухания фидера, дБ/м; l_1 – длина фидера, м; выбирается ориентировочно, исходя из мест установки антенны и радиостанции; в среднем $l_1 = 25\text{--}30$ м. Затухание, вносимое фидером приемного устройства, составляет $a_2 \cdot l_2$, дБ, где a_2 – постоянная затухания фидера; дБ/м; l_2 – длина фидера, м.

Коэффициент a_T учитывает условия распространения радиоволн на конкретной трассе радиосвязи. Зависимость коэффициента a_T от коэффициента сложности трассы радиосвязи приведена в таблице.

Таблица 43 – Зависимость коэффициента a_T от коэффициента сложности трассы

$K_{ст}$	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

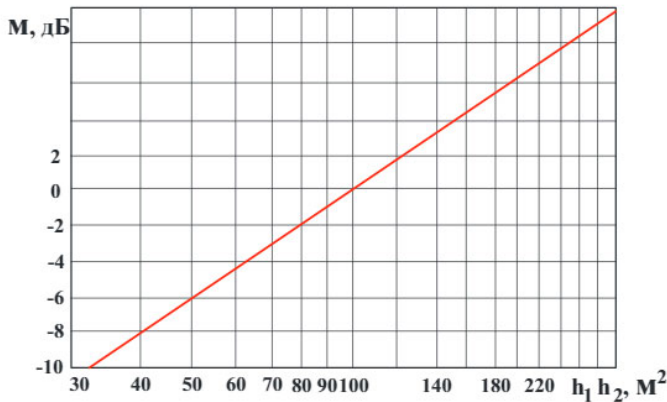


Рисунок 137 – График для определения поправочного коэффициента M

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

Для расчетов дальности радиосвязи на участках со сложным планом железнодорожного пути рекомендуется пользоваться значениями коэффициентов усиления антенн G , соответствующих направлению передачи сигнала между стационарной радиостанцией и локомотивом. Величина G зависит от угла между направлением основного излучения антенны и направлением связи в каждом конкретном случае. Поэтому значения коэффициентов усиления стационарных антенн целесообразно выбирать из справочной литературы, а коэффициент усиления возимых антенн выбирается равным нулю.

Коэффициент экранирования $K_э$ учитывает ослабление напряженности поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте расположения возимой антенны различного оборудования. Значения $K_э$ для антенн радиостанций ЖРУ и «Транспорт» приведены в таблице 44.

Таблица 44 – Значения $K_э$ железнодорожных для антенн

Подвижный объект	Место расположения антенны на крыше объекта	Тип антенн			
		Четверть волнового петлевого вибратора	Низко-расположенной АЛ/2,3	Диско-конусной АЛП/2,3	Штыревой АМ/2
Электровозы переменного тока	Над прожектором	4	8	3	-
	В середине секции	5	8	3	-
Электровозы постоянного тока	Над прожектором и в середине крыши	3	6	2	-
Тепловозы		2	2,5	0	-
Электро-и дизель-поезда	На крыше головного вагона	2	2,5	0	-
	В свободной части металлической крыши	2	2	0	2
Дрезины и авто-мотрисы	Вблизи экранирующих предметов	8	8	8	8
Вагоны	—	0	2	0	2

25.4. Вероятностные коэффициенты, учитывающие флуктуации сигнала

При расчетах высокочастотного тракта канала используются 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_i учитывает наличие интерференционных волн в пространстве. Коэффициент K_m учитывает медленные колебания напряженности поля вследствие изменения рельефа местности.

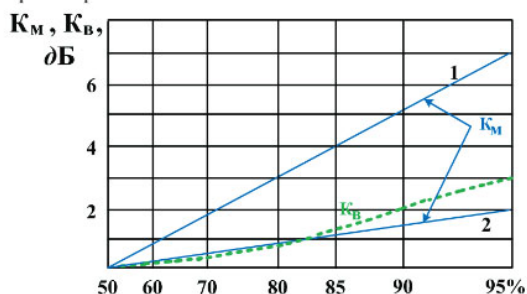


Рисунок 138 – Зависимости коэффициентов K_i , K_v от вероятностных уровней

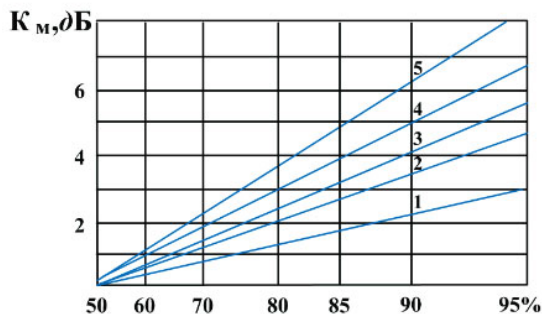


Рисунок 139 – Зависимости коэффициента K_m от типов трасс и вероятностных уровней

Коэффициент K_v учитывает колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменения рефракции в тропосфере. В расчетах значения этих коэффициентов берутся на вероятностном уровне 90 % с тем, чтобы обеспечить качества связи не хуже удовлетворительного. При этом $K_v = 1,8$ дБ; $K_i = 5$ дБ; для электрифицированных и $K_i = 1,5$ дБ для неэлектрифицированных приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Зависимости коэффициента K_m от типов трасс

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	6	5,5	6

Значения K_i , K_v и K_m для других вероятностных уровней представлены в виде кривых на рис. 138 и 139 соответственно. на рис. 138 кривая 1 для электрифицированных, 2 – для неэлектрифицированных участков; на рис. 139 номера кривых соответствуют типу трассы.

25.5. Минимально допустимый уровень полезного сигнала

Минимально допустимый уровень полезного сигнала (u_2 мин) на входе приемника возимой радиостанции. Значения u_2 мин, которые следует использовать при расчетах, приведены в табл. 46. На участках с электрической тягой переменного тока и с автономной тягой значение u_2 мин соответствует данным, указанным в табл. 46.

Таблица 46 – Минимально допустимый уровень полезного сигнала (u_2 мин) на входе приемника возимой радиостанции

Условия эксплуатации радиосредств	u_2 мин для приемопередатчика, дБ	
	66РТМ-А2-ЧМ	УПП2
Участок с тепловозной тягой	4	2
Электрифицированный участок постоянного тока при скорости движения, км/ч: до 120 свыше 120		
	10	8
	14	12
Электрифицированный участок переменного тока европейской части России азиатской части России	18 15	14 12
То же при автономной тяге: европейской части России азиатской части России	23 18	16 14

25.6. Расчет дальности связи между возимой и стационарной радиостанцией

При расчете радиоканала ПРС дальность связи определяется в направлении от стационарной радиостанции к радиостанции подвижного объекта, поскольку условия приема сигналов на подвижном объекте значительно хуже, чем на стационарном объекте из-за более высокого уровня помех. Дальность связи «Стационарная радиостанция – локомотивная радиостанция» рассчитывается исходя из условия $u_2 \geq u_2$ мин в такой последовательности:

- задается минимально допустимое напряжение полезного сигнала на входе приемника возимой радиостанции u_2 мин (табл. 46);

- определяется значение напряженности поля E_2 , считая $u_2 = u_2$ мин:

$$E_2 = u_2 - a_T - B_M - G_1 - G_2 - M + a_1 \cdot I_1 + a_2 \cdot I_2 + K_{\Sigma} + K_{КС} + g_2 + K_H + K_B + K_M \quad (25.3)$$

где E_2 – напряженность поля, отсчитываемая по соответствующей базовой кривой распространения для заданного расстояния (см. рис. 2.1), мкВ/м; $K_{КС}$ – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью; для однопутного участка $K_{КС} = 1$ дБ, для двухпутного $K_{КС} = 2$ дБ, u_2 – уровень сигнала, дБ. Значения других членов уравнения приведены выше (индексы 1 и 2 означают принадлежность к передающей и приемной радиостанциям). По найденному значению E_2 и базовым кривым 1 и 2 (см. рис. 130) определяется дальность связи r . Расстояние r отсчитывается по прямой линии. Для пересчета к расстоянию вдоль железнодорожного пути следует пользоваться топографической картой. Для трасс радиосвязи типов 4 и 5 результаты расчетов являются ориентировочными. Поэтому они должны уточняться в результате натурных измерений.

Высота стационарной антенны определяется в таком порядке:

- задается u_2 мин на входе приемника возимой радиостанции (см. табл. 46);
- исходя из заданной дальности связи определяется необходимая напряженность поля E_2 (см. рис. 130);

- по формуле (25.2) вычисляется значение коэффициента M при заданном $u_2 = u_{2\text{мин}}$;
- по формуле (25.3) при заданной высоте h_2 установки возимой антенны вычисляется высота установки стационарной антенны.

Для расчета дальности связи между локомотивами используется базовая кривая (см. рис. 139) для высоты установки антенн 5 метров. Особенность расчета заключается в том, что тип трассы постоянно меняется при движении локомотива в пределах участка железной дороги, по которому он движется. Поэтому выбирается наиболее сложный тип трассы на проектируемом участке.

Напряжение принимаемого сигнала на входе приемника возимой радиостанции определяется по формуле (25.4) при выполнении условия, что параметры передающего и приемного антенно-фидерных трактов одинаковы.

$$E_2 = u_2 - a_T - B_M - 2G_2 + a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2 + g_2 + K_H + K_B + K_M \quad (25.4)$$

Коэффициент $M=0$, так как высоты установки антенн в реальных условиях не отличаются от высот, для которых построена базовая кривая 3 рисунка 139. Коэффициент $K_{\text{КС}}$ исключен из формулы, поскольку антенны располагаются ниже уровня контактной сети.

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

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте назначение базовых кривых распространения радиоволн.
2. Расскажите о типах трасс при организации радиосвязи. Как осуществляется выбор трассы радиосвязи.
3. Расскажите о выборе и использовании поправочных коэффициентов при расчете дальности радиосвязи.
4. Расскажите об использовании вероятностных коэффициентов учитывающих флуктуации сигнала.
5. Расскажите о порядке расчета дальности связи между стационарной и возимой радиостанцией.
6. Расскажите о порядке расчета дальности связи между локомотивами.

Глава 26.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ СТАНЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

26.1. Сети станционной радиосвязи

Любая железнодорожная станция, на которой выполняется маневровая работа или имеется необходимость мобильной связи, имеет станционную радиосвязь. В зависимости от типа станций, их мощности, организуется несколько раздельных радиосетей.

Радиосети станционной радиосвязи организуются по радиальному принципу в полосах частот 151,700...154,000 МГц и 155,000... 156,000 МГц с использованием одной несущей частоты. Связь осуществляется в симплексном режиме.

Все станционные радиосети классифицируются по степени важности, уровню надежности и времени ожидания установления связи.

Все станционные радиосети классифицируются по степени важности, уровню надежности и времени ожидания установления связи.

Абоненты СРС делятся на две группы:

1) работники, непосредственно связанные с выполнением маневровой и горочной работ:

- маневровый диспетчер (ДСЦ);
- станционный диспетчер (ДСЦС);
- старший помощник начальника станции (ДСПС);
- дежурный по парку приема (ДСПП);
- дежурный по парку формирования (ДСПФ);
- дежурный по парку отправления (ДСПО);
- дежурный по горке (ДСПГ);
- операторы горочных постов;
- составители поездов;
- машинисты горочных, маневровых и хозяйственных локомотивов.

2) абоненты, обеспечивающие технологические процессы обработки составов на станции, но не участвующие непосредственно в маневровой работе:

- списчики вагонов;
- коммерческие и технические осматривающие;
- приемосдатчики грузовых дворов.

Абоненты данной группы должны иметь связь:

- с объединенной технической конторой (ОТК);
- с пунктами коммерческого осмотра (ПКО);
- с пунктами технического осмотра (ПТО).

Главные контролеры станций и парковые дежурные также используют маневровую связь для оперативного направления работы машинистов и поездных составителей.

Подчиненные сотрудники, обеспечивающие стабильную работу всей станции, получают сообщения от своих руководителей при выполнении маневровой

работы. Эта сеть объединяет технических осматривщиков составов, автоматчиков и т. д. с главным пунктом управления – маневровым диспетчером.

Преимущества и технические моменты станционной радиосвязи:

- организует контроль всех процессов на станции;
- обеспечивает связь между контролерами станций и рабочим персоналом;
- позволяет эффективно формировать составы на ж/д станции;
- повышает безопасность сотрудников вокзала;
- оперативно реагировать на непредвиденные ситуации;
- грамотно распределять рабочие ресурсы на станции;
- получать информацию о поломках/чп и т. д.;
- оперативно связываться с сотрудниками и подчиненными;
- обеспечивать должную безопасность при движении состава.

Контролеры всех ответственных звеньев станции с помощью радиосвязи могут проводить свои работы максимально результативно. Они отдают указания своим сотрудникам о движении, курсе поезда, типу выполняемой работы, поломке и т. д.

Маневровая радиосвязь предназначена для связи маневрового (ДСЦ) и станционного (ДСЦС) диспетчеров, старшего помощника начальника станции (ДСПС) и дежурных по паркам приема (ДСПП), формирования (ДСПФ) и отправления (ДСПО) с машинистами маневровых, хозяйственных и вывозных локомотивов, а также машинистов с составителями поездов. При этом количество маневровых радиосетей определяется классом станции и составляет 1–2 на промежуточных станциях, 1–3 – на участковых, 2–5 на сортировочных станциях. Количество стационарных радиостанций определяется числом радиосетей (1–5), возимых радиостанций – числом локомотивов (2–15), носимых – количеством работников, обеспечивающих технологические процессы в маневровой работе. Как правило, дальность действия в маневровой сети радиостанций РС-РВ составляет 4–6 км, РВ-РН – 1–1,5 км.

Горочная радиосвязь предназначена для оперативного управления горочным технологическим процессом и обеспечивает связь между дежурным по горке (ДСПГ) и машинистами горочных локомотивов, горочными составителями, регулировщиками скорости отцепов. Количество радиосетей определяется количеством горок на сортировочной станции. В каждой радиосети может работать 1–2 стационарные станции, 2–4 возимых на горочных локомотивах и 2–7 носимых для рабочих, обеспечивающих этот технологический процесс. Дальность радиосвязи ограничена зоной работы горки и составляет: для радиостанций РС-РВ – 2,8 км, РС-РН – 1,5 км, РВ-РН – 1,0 км. Горочная сеть строится по принципу групповой связи.

Также в структуре станционной связи используются сети технологических абонентов.

Эти абоненты не связаны непосредственно с маневровой работой, но обеспечивают обработку составов и вагонов, а также обслуживание устройств автоматики, телемеханики и связи (СРС-Т) с допустимым временем ожидания связи до 10–20 с.

Радиосеть ПТО (пунктов технического обслуживания вагонов и тормозов) организуется в парках приема и отправления поездов и в парках обработки транзитных поездов. Состав радиосетей определяется объемом технической работы и может включать: 1–2 радиосети на участковых и грузовых станциях, 2–5 радиосетей на крупных станциях. Радиосети ПТО состоят из 1–5 стационарных и 4–20 носимых радиостанций. Дальность действия радиосетей ПТО должна составлять не менее: для радиостанций РС–РН 1,5–2,5 км, РН–РН 0,8–1,2 км.

Радиосеть ПКО – (пунктов коммерческого осмотра) организуется для связи оператора ПКО с коммерческими осмотрщиками вагонов и рабочими по устранению брака. Обычно это одна радиосеть на сортировочных станциях (содержит 2–12 носимых радиостанций). Дальность действия между стационарной и носимой РС составляет 2–3 км, между носимыми радиостанциями 0,8–1 км.

Радиосеть ПКТ – (объединенной технической конторы) предназначена для оператора ОТК и списчиков вагонов. Используются на участковых и сортировочных станциях, одна сеть содержит 1 стационарную радиостанцию и 2–3 носимых для списчиков при дальности действия 3–4 км.

Радиосеть ВОХР – (вооруженной охраны) предназначена для связи начальника караула со стрелками охраны, имеет одну радиосеть, включающую 1 стационарную радиостанцию, 3–5 носимых радиостанций, действует на расстоянии 2–4 км.

Радиосеть ЦСБ и связи предназначена для связи старшего электромеханика и дежурных постов электрической централизации, а также начальников радиоузлов с мобильными работниками связи. На станциях с постоянным дежурством электромехаников используются 1–2 радиосети.

Кроме этого на крупных железнодорожных станциях организуются сети управления станций и узлов (СРС-У).

Основными абонентами этих сетей являются диспетчеры линейных подразделений, руководители подвижными ремонтными бригадами по обслуживанию и ремонту технических средств. Сети управления допускают ожидания передачи сообщений до 40...60 с. К этим сетям относятся: радиосети ШЧ, ПЧ, ЭЧ, ТЧ, ВЧД. Все эти сети характеризуются наличием средств подвижной связи: возимых и носимых радиостанций с повышенной дальностью связи до 5–10 км для РС-РВ и 1,5 км для РВ-РН. Таких сетей может быть от 3–5 в небольших узлах и до 6–9 на крупных станциях.

Станционная радиосвязь предназначена для организации служебных переговоров командиров станции с машинистами маневровых и горочных локомотивов, а также с другими работниками, участвующими в технологических процессах на железнодорожной станции.

Принципы организации кругов маневровой, горочной радиосвязи и радиосвязи списчиков вагонов с использованием трехканальных радиостанций в которых приняты следующие обозначения:

- СР – стационарные,
- ЛР – локомотивные,
- НР – носимые радиостанции.

На рисунке 140 показана схема горочной радиосвязи, в состав которой входит и маневровая радиосвязь. В состав маневровой радиосвязи входят (верхняя строка):

- Маневровый диспетчер;
- Машинист 1 локомотива;
- Первый составитель;
- Машинист 2 локомотива;
- Второй составитель;
- Машинист 3 локомотива;
- Третий составитель.

По тем же принципам строятся и схемы связи других радиосетей.

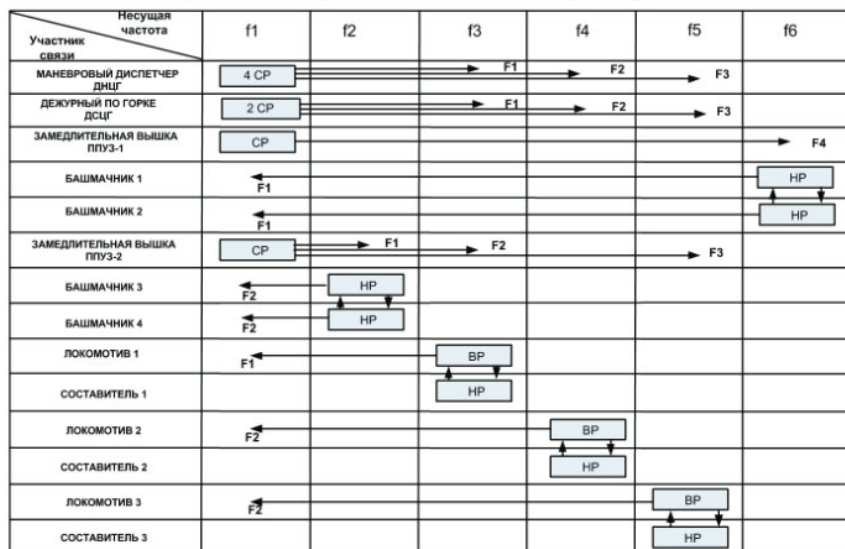


Рисунок 140 – Схема горочной радиосвязи

Строки на рисунке характеризуют местоположение радиостанций. Стационарные радиостанции (СР) размещаются в служебных помещениях маневрового диспетчера, оператора сортировочной горки и дежурных технических контор. Локомотивные радиостанции (ЛР) устанавливают в кабинах маневровых и горочных локомотивов. Составители поездов и списки вагонов получают в свое распоряжение носимые радиостанции (НР). Столбцы таблиц соответствуют несущим частотам и обозначаются буквами f_1 – f_n , на которых могут работать радиостанции. Условное изображение радиостанций помещается в столбце, соответствующем несущей частоте, на которой данная радиостанция работает в режиме дежурного приема или приема. В системе используются вызывные частоты тонального избирательного вызова $F_1 = 1000$ Гц, $F_2 = 700$ Гц, $F_3 = 1400$ Гц, $F_4 = 2100$ Гц.

Смысл графических изображений на примере первой строки рис. 140 состоит в следующем. Стационарная радиостанция, установленная в помещении маневрового диспетчера, находится в режиме дежурного приема на несущей частоте f_3 , маневровый диспетчер может вызвать первую (вторую) пару «машинист локомотива – составитель» посылкой вызывного сигнала частотой F_1 на несущей частоте $f_1(f_2)$.

Кроме того, абонентам маневровой радиосвязи предоставлены следующие возможности:

- машинисты локомотива могут подключать к стационарной радиостанции диспетчера первый, второй пульты управления или аппаратуру громкоговорящей парковой связи СДПС посылкой на несущей частоте f_1 вызывных сигналов частотами соответственно F_1, F_2, F_3 .
- машинист первого (второго, третьего) локомотива путем посылки вызывного сигнала частотой F_1 , может вызывать первого (второго) составителя на несущей частоте $f_1(f_2)$;
- первый (второй, третий) составитель может вызывать машиниста первого (второго, третьего) локомотивов посылкой на частоте $f_1(f_2)$ вызывного сигнала частотой F_1 .

Специфика работы на сортировочной горке, требующая минимального времени соединения оператора с машинистом локомотива, осуществляющего надвиг состава на горку, обуславливает необходимость выделения группового радиоканала между оператором и всеми машинистами горочных локомотивов на общей несущей частоте. Оператор вызывает машинистов, а они друг друга – посылкой вызывного сигнала частотой F_1 . Машинисты горочных локомотивов подключают к стационарной радиостанции оператора горки (маневрового диспетчера) первый и второй пульты управления и аппаратуру СДПС посылкой вызывного сигнала частотами соответственно F_2, F_3, F_4 на используемых несущих частотах.

Радиосвязь дежурных технических контор со списчиками вагонов осуществляется на общей частоте для каждого парка прибытия. Взаимный вызов осуществляется посылкой вызывного сигнала частотой F_1 . Выбор носимых радиостанций производится в зависимости от предполагаемой дальности радиосвязи, помеховой обстановки и других факторов.

На крупных станциях и в узлах организуется радиосеть с равнодоступными каналами СРС-У, обеспечивающая возможность совместной работы диспетчеров различных служб с подвижными абонентами. В радиосети могут работать девять диспетчеров и до 99 мобильных абонентов. Радиосеть СРС-У работает в симплексном режиме с использованием трех несущих частот.

26.2. Организация ремонтно-оперативной радиосвязи и (РОРС) и ее графическое отображение

Система ремонтно-оперативной радиосвязи «Транспорт-РОРС» предназначена для организации оперативного управления проведения эксплуатационных и ремонтно-восстановительных работ в различных звеньях железнодорожного транспорта.

Для обеспечения безопасности движения поездов, места производства путевых работ, предусматривающих нарушение целостности и устойчивости пути и сооружений, ограждают переносными сигналами.

Вид ограждения мест производства работ на перегонах определяется:

- их сложностью,
- типом и профилем участка,
- максимально допускаемыми скоростями движения поездов,
- числом путей на участках,
- условием видимости,
- климатическими условиями.

Места производства работ на перегонах, требующие остановки поездов, ограждают с двух сторон сигналистами, а при сложном профиле участка необходимы еще и промежуточные сигналисты.

Протяженность фронта работ ПМС может достигать 8 км.

Таким образом, при производстве ремонтных работ ПМС необходимо организовать сети связи, включающие следующих абонентов:

- руководителя работ ПМС и механиков путевых машин с руководителями отдельных путевых машин и с сигналистами ограждения в пределах фронта работ;
- руководителя ПМС и отдельных путевых машин с ДНЦ и ГТЧД в пределах диспетчерского участка и с ДСП, прилегающих к месту работ станций;
- сигналистов с руководителем ПМС и с машинистами поездных локомотивов на расстоянии 1,5–2 км. Должны обеспечиваться сигнализация о приближении поезда и громкоговорящее оповещение ремонтных работников.

В зависимости от назначения и способа организации РОРС подразделяется на линейную ремонтно-оперативную радиосвязь РОРС-Л и внутреннюю ремонтно-оперативную радиосвязь РОРС-В.

Организация сети РОРС-Л. Сеть линейной постоянно действующей радиосвязи РОРС-Л предназначена для оперативного управления ведущимися на перегоне ремонтно-восстановительными работами и является сетью коллективного пользования. Радиосети РОРС-Л организуются в соответствии с Типовыми структурами радиосетей РОРС. Их расчет сводится к расчету проводного канала линейной ремонтно-оперативной радиосвязи, а также определению мест установки стационарных радиостанций РОРС-Л и высот установки антенн. т. е. к расчету дальности радиосвязи между стационарными радиостанциями и радиостанциями названных подвижных объектов.

Такая радиосеть является сетью коллективного пользования служб электроснабжения, пути, военизированной охраны, движения, сигнализации и связи. Сеть РОРС-Л обеспечивает взаимный вызов и ведение переговоров в симплексном режиме между руководителями работ, находящимися в любой точке перегона, и диспетчерским аппаратом соответствующих служб при организации следующих видов работ:

- при текущем или капитальном ремонте железнодорожного пути;
- при техническом обслуживании и ремонте устройств СЦБ и связи;
- при техническом обслуживании и ремонте устройств электроснабжения;
- при снегоуборочных и снегоочистительных работах;
- при восстановительных работах при авариях и крушениях;
- при тушении пожаров.

Для бригад, обеспечивающих текущее содержание пути, необходимо организовать сети связи, включающие следующих абонентов:

- бригадира с ремонтными работниками и сигнаристами внутри фронта работ на расстоянии до 3 км;
- сигнаристов с машинистами поездных локомотивов на расстоянии 1,5–2 км;
- бригадира с ДСП ближайшей станции и с дежурным дистанции контактной сети, поездным диспетчером, энергодиспетчером и другими службами, имеющими отношение к производству работ на перегоне.

Из рассмотренной в общем виде технологии обслуживания и ремонта сооружений и устройств различных хозяйств железнодорожного транспорта определены назначение и ряд технико-эксплуатационных требований к радиосетям и аппаратуре ремонтно-оперативной радиосвязи.

В сетях РОРС-В средствами радиосвязи и громкоговорящего оповещения должны оборудоваться все подвижные объекты рельсового (дрезины, путевые машины и механизмы, штабные вагоны восстановительных и пожарных поездов) и нерельсового транспорта (автолетучки, автомашины с испытательными лабораториями, автомашины с подъемными кранами, тракторы, мотоциклы, оперативные машины, автоцистерны и др.). Кроме того, носимыми радиостанциями оснащаются начальник и заместитель восстановительного поезда, машинист локомотива восстановительного поезда, руководитель тушения пожара, пожарные, стрелки на постах, руководитель работ и сигнаристы ограждения при техническом обслуживании контактной сети, начальник ПМС и дорожные мастера, электромеханики, машинист снегоуборочного поезда и снегоочистительных машин и др.

Радиосвязь организуют в симплексном режиме с групповым вызовом. Абонентов радиосети оснащают носимыми радиостанциями РН-12, Motorola, «Радий» или радиостанциями транкинговой системы связи. В этом случае предусматривают возможность контроля исправности канала периодической посылкой сигналов тональной частоты и ее прослушивание на стороне приема.

На рисунке 141 показано, какие должностные лица будут входить в ремонтную бригаду. К ним относятся:

- Руководитель работ;
- Машинист дрезины;
- Оператор возимого устройства громкоговорящего оповещения – УГО-В;
- Два сигналиста.

Бригада должна иметь постоянную связь с дежурным по дистанции пути.

Для выполнения работ следует определить, какие средства связи будут использоваться для организации связи:

- Руководитель работ, и сигналисты – носимые радиостанции;
- Машинист дрезины – штатная возимая радиостанция;
- Оператор возимого устройства громкоговорящего оповещения УГО-В – штатная возимая радиостанция;
- Дежурный по дистанции пути имеет в своем распоряжении стационарную радиостанцию.

Для выполнения служебных обязанностей, руководитель должен иметь возможность вызывать и вести переговоры с сигналистами, машинистом дрезины и оператором УГО, сигналисты – вызывать и вести переговоры с руководителем работ, а машинист дрезины и оператор УГО вызывать и вести переговоры с дежурным дистанции пути. Исходя из этого чертим схему взаимодействия дежурного дистанции с ремонтной бригадой, выполняющей работу на перегоне (рисунок 141).

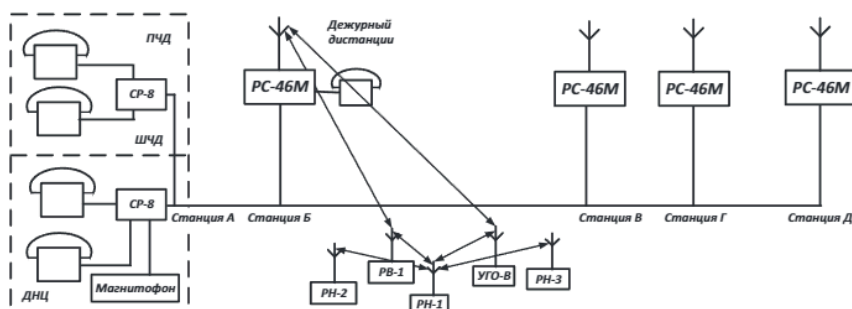


Рисунок 141 – Схема взаимодействия дежурного дистанции с ремонтной бригадой

Затем, исходя из созданной схемы взаимодействия, составляется схема связи, в которой в столбцах показаны средства радиосвязи, номера несущих и вызывных частот. В строках показаны должностные лица и порядок их взаимодействия. Схема связи РОПС показана на рисунке 142.

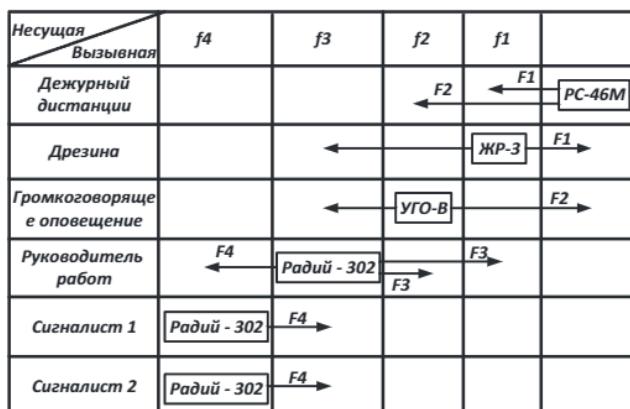


Рисунок 142 – Схема связи РОРС на проектируемом участке

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите, на какие группы делятся абоненты станционной радиосвязи.
2. Расскажите, на каких принципах строится схема связи станционной радиосвязи.
3. Проанализируйте схему радиосвязи, представленную на рисунке 142, и расскажите, как осуществляется радиосвязь между абонентами.
4. Расскажите, как организуется ремонтно-оперативной радиосвязи и (РОРС).
5. Проанализируйте схему ремонтно-оперативной радиосвязи и поясните принципы ее построения.

Глава 27.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ РАДИОСВЯЗИ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

27.1. Исходные данные для выполнения расчетов

Таблица 47 – Протяженность перегонов на диспетчерском участке

Участки и станции	А-Б	Б-В	В-Г	Г-Д	Д-Е	Е-Ж	Ж-З	З-И	И-К	К-Л	Л-М
Протяженность	16	17	11	10	8	7	6	17	15	13	10

Сложив значения протяженностей перегонов, получим общую протяженность диспетчерского участка, которая равна 130 километров. Диспетчерский железнодорожный участок имеет следующие параметры:

Местность – холмистая.

Тип участка – двухпутный участок железной дороги.

Характеристика почвы – сильнопроводящая почва ($\epsilon = 20$, $s = 0,1$ См/м.)

Род тяги – постоянный ток.

УКВ радиосвязь на станции Г.

Мощность передатчика $P = 12$ Вт.

Высота подвески Г-образной антенны – 25 м.

КПД локомотивной антенны $h = 4,5\%$

Данные для расчета дальности КВ поездной радиосвязи.

Количество тяговых подстанций на перегоне – 1

Количество разъединителей – 2

Количество трансформаторов:

однофазных – 18

трехфазных – 0

Количество переходов:

воздушных – 0

кабельных – 0

Длина фидера – 150 м.

Расстояние от направляющей линии до трансформатора – 12 м.

Данные для расчета дальности УКВ поездной радиосвязи.

Мощность передатчика $P = 10$ Вт.

Надежность радиосвязи 0,8

Коэффициент усиления антенн – 2 дБ.

Коэффициент затухания кабеля РК – 0,1 дБ/м.

Длина антенных кабелей РК:

- передатчика – 5 м.

- приемника – 5 м.

Данные для расчета дальности стационарной радиосвязи.

Мощность передатчика $P = 10$ Вт.

Надежность радиосвязи 0,97

Коэффициент усиления носимой радиостанции – (6) дБ

Коэффициент усиления антенны радиостанции – 2 дБ.

Коэффициент затухания кабеля – 0,1 дБ/м.

Длина антенных кабелей:

- передатчика – 5 м.

- приемника – 10 м.

Протяженность станции 6,5 км.

число путей на станции – 15.

27.2. Расчет дальности связи в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона волн (диапазон КВ)

Дальность действия радиосвязи между стационарной и возимой радиостанцией при применении направляющих линий рассчитывается по формуле:

$$r_{ст} = \frac{A_{прд} - U_{мин} - A_{пер} - \Sigma a_{ст} - \Sigma a_{лин} - \Sigma a_{лок}}{\alpha_n} \quad (27.1)$$

где $A_{прд}$ – выходной уровень сигнала передатчика радиостанции, (дБ); для радиостанции 42РТМ-А2-ЧМ $A_{прд} = 148$ дБ; $U_{мин}$ – минимально допустимый уровень полезного сигнала дБ на выходе радиостанции; $A_{пер}$ – переходное затухание дБ между направляющей линией и антенной возимой радиостанции; $\Sigma a_{ст}$, $\Sigma a_{лин}$, $\Sigma a_{лок}$ – затухание сигнала дБ в стационарных, линейных и локомотивных устройствах соответственно; α_n – постоянная затухания дБ/км направляющей линии на перегоне.

Минимально допустимый уровень полезного сигнала $U_{мин}$ определяется по формуле:

$$U_{мин} = U_n + R_{доп} + K_u \quad (27.2)$$

где U_n – квазипиковое значение напряжения, радиопомех на уровне интегральной вероятности 0,8 на входе приемника дБ радиостанции на нагрузке 75 Ом. Для тяги постоянного тока и при использовании в качестве направляющей линии, два провода трехфазной ВЛ величина U_n составит 58 и 52 дБ для возимой и стационарной радиостанций соответственно; $R_{доп} = 6$ дБ – минимально допустимое отношение сигнал/помеха на входе УПЧ приемника, при котором обеспечивается необходимое качество разборчивости речи; $K_u = 6$ дБ – коэффициент, характеризующий глубину волнообразного изменения напряжения сигнала по отношению к среднему его значению.

Тогда величина $U_{мин}$ для возимых и стационарных радиостанций составит:

- для возимой радиостанции – $U_{мин} = 58 + 6 + 6 = 70$ дБ

- для стационарной радиостанции – $U_{мин} = 52 + 6 + 6 = 64$ дБ

Переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции $A_{пер}$ и постоянная затухания направляющей линии на перегоне a_n определяется из справочной литературы. В нашем случае будем использовать следующие величины:

$$A_{пер} = 40 \text{ дБ}, \text{ и } a_n = 2 \text{ дБ}$$

Суммарное затухание сигнала ПРС в станционных устройствах $\Sigma a_{см}$ определяется по формуле:

$$\Sigma a_{см} = a_{\phi} \cdot l_{\phi} + a_{cy} + a_{\epsilon} + a_{он} + K_p \quad (27.3)$$

где: a_{ϕ} – постоянная затухания фидера, дБ/м. Для коаксиального кабеля $a_{\phi} = 0,7 \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоте 2130 кГц; l_{ϕ} – длина фидера, соединяющего радиостанцию с согласующим устройством $l_{\phi} = 150$ м; $a_{cy} = 1,5$ дБ – затухание, вносимое согласующим устройством стационарной радиостанции; $a_{он} = 5$ дБ – концевое затухание на ближнем конце при синфазном возбуждении направляющих линий; $a_{\epsilon} = 2$ дБ – затухание, вносимое схемой возбуждения направляющих проводов; $K_p = 3$ дБ коэффициент, учитывающий, что высокочастотная энергия распространяется по направляющей линии в обе стороны от места присоединения стационарной радиостанции.

Тогда $\Sigma a_{см}$ определится следующим образом:

$$\Sigma a_{см} = 0,7 \cdot 10^{-2} + 1,5 + 2 + 5 + 3 = 12,55 \text{ дБ}$$

Суммарное затухание сигнала ПРС в линейных устройствах рассчитывается по формуле:

$$\Sigma a_{лин} = a_{mn} + a_p + a_{\partial} + n \cdot a_n + m \cdot a_{mp} \quad (27.4)$$

где a_{mn} , a_p – затухания, вносимые соответственно схемами высокочастотных обходов тяговой подстанции и разъединителями $a_{mn} = a_p = 1$ дБ, так как в рассматриваемом варианте присутствуют одна тяговая подстанция и два разъединителя; a_{∂} – затухание, вносимое нарушением однопроводности двухпроводной направляющей линии $a_{\partial} = 2,5$ дБ; a_n – затухание, вносимое изменением сторонности направляющей линии $a_n = 0,7$ дБ при воздушном переходе, $a_n = 2,5$ дБ при кабельном переходе проводов; n – число переходов направляющих линий в пределах перегона, на перегоне нет воздушных и кабельных переходов; a_{mp} – затухание, вносимое силовым трансформатором при его высокочастотной обработке, $a_{mp} = 0,1$ дБ на одно подключение при включении высокочастотных заградителей в месте отпая от направляющей линии; m – число обрабатываемых трансформаторов, согласно заданию $m = 18$ тогда:

$$a_n = 0,7 \cdot 0 + 2,5 \cdot 0 = 0 \text{ дБ}$$

$$a_{mp} = 18 \cdot 0,1 = 1,8 \text{ дБ}$$

$$\Sigma a_{лин} = 1 + 1 + 2,5 + 0 + 1,8 = 6,3 \text{ дБ}$$

Суммарное затухание сигнала ПРС в локомотивных устройствах $\Sigma a_{\text{лок}}$ определяется по формуле:

$$\Sigma a_{\text{лок}} = a_{\text{cy}} + \kappa_{\text{пе}} \quad (27.5)$$

где: a_{cy} – затухание, вносимое согласующим устройством возимой радиостанции, $a_{\text{cy}} = 1,5$ дБ; $\kappa_{\text{пе}}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение К.П.Д. возимой антенны подвижных единиц из-за уменьшения их длины и высоты по сравнению с типовой антенной. Для тепловозов и электровозов $\kappa_{\text{пе}} = 0$ дБ, тогда:

$$\Sigma a_{\text{лок}} = a_{\text{cy}} = 1,5 \text{ дБ}$$

Определим дальность действия радиосвязи между возимыми радиостанциями по формуле (27.1):

$$r_{\text{лок}} = \frac{148 - 70 - 40 - 12,55 - 6,3 - 1,5}{2} = 8,83 \text{ км}$$

Определим дальность действия радиосвязи между возимой и стационарной радиостанцией по формуле (27.1):

$$r_{\text{ст}} = \frac{148 - 64 - 40 - 12,55 - 6,3 - 1,5}{2} = 11,83 \text{ км}$$

Так как дальность радиосвязи рассчитывается для перегона с наибольшей протяженностью, которым является перегон между станциями Б-В протяженностью 17 км, то можно сделать вывод о том, что дальность стационарной радиостанции обеспечивает необходимые условия, а возимой – не обеспечивает. Условием в данном расчете является необходимость обеспечения дальности радиостанций не менее чем на половину длины перегона плюс 3 км, для надежности.

27.3. Определение типа трассы радиосвязи и поправочных коэффициентов

Определение типа трассы

Трассы поездной радиосвязи по характеру рельефа местности, по которой они проходят, подразделяются на пять типов. Каждому типу соответствует определенное значение коэффициента сложности трассы $K_{\text{ст}}$, которое может колебаться в пределах от 1 до 5. Согласно исходным данным тип рельефа местности – холмистая. Данный тип можно отнести к трассе типа 2 ($K_{\text{ст}} = 2$). Данная трасса имеет колебания уровня не более 50 м.

Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты учитывают отличие параметров антенно-фидерных трактов, мощности передатчика и рельефа местности от условий эксплуатации системы.

Коэффициент мощности, дБ учитывает отличие мощности передатчика $P = 10$ Вт от мощности $P_1 = 1$ Вт, и рассчитывается по формуле:

$$B_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_1} \right)$$

подставив в формулу значения получим:

$$B_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{10}{1} \right) = 10 \text{ дБ}$$

Высотный коэффициент, дБ учитывает отличие произведения высот установки антенн от 100 м², принимая $h_1 = 5\text{ м}$, $h_2 = 5\text{ м}$ и рассчитывается по формуле:

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

подставив в формулу значения получим:

$$M = 20 \cdot \lg \left(\frac{1 \cdot 10}{100} \right) = -12 \text{ дБ}$$

Затухание, фидера стационарной радиостанции составит, $a_1 \cdot l_1$, дБ, где a_1 – постоянная затухания фидера, l_1 – длина фидера м;

Подставив значения получим:

$$a_1 \cdot l_1 = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ дБ}$$

Затухание, вносимое фидером приемного устройства, $a_2 \cdot l_2$, дБ, где a_2 – постоянная затухания фидера, l_2 – длина фидера м;

Подставив значения получим:

$$a_2 \cdot l_2 = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ дБ}$$

Коэффициент a_m учитывает условия распространения радиоволн для конкретной трассы радиосвязи. Принимается $a_m = 0$.

Преобразование напряженности поля ВЧ сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером учитывается коэффициентом g_2 , который равен 10 дБ для фидера с волновым сопротивлением 75 Ом.

Направленные свойства передающей и приемной антенн при их расчете учитываются коэффициентами усиления соответственно G_1 и G_2 (по отношению к полуволновому вибратору). Из исходных данных известно, что $G_1 = G_2 = 2$ дБ.

Коэффициент экранирования K_z учитывает ослабление напряженности магнитного поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте расположения возимой антенны различного оборудования. По данным справочной литературы коэффициент экранирования K_z , четверть волнового петлевого вибратора равен 3 дБ.

Вероятностные коэффициенты, учитывающие флуктуацию сигнала.

- Коэффициент K_u учитывает наличие интерференционных волн в пространстве $K_u = 5$ дБ.

- Коэффициент K_m учитывает медленные колебания напряженности поля вследствие изменения рельефа местности $K_m = 4$ дБ.
- Коэффициент K_e учитывает колебания напряженности магнитного поля (суточные и сезонное) из-за изменения рефракции в тропосфере $K_e = 1,8$ дБ.

Минимально допустимый уровень полезного сигнала ($U_{2\text{мин}}$) на входе приемника возимой радиостанции

Значения $U_{2\text{мин}}$, которые следует использовать при расчетах, определяется по справочнику. Примем $U_{2\text{мин}} = 14$ дБ.

27.4. Расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанцией

При расчете радиоканала ПРС дальность связи определяется 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.

Определим значение напряженности поля E_2 по формуле, считая, что $U_2 = U_{2\text{мин}}$

$$E_2 = U_2 - a_T - B_M - G_1 - G_2 + M + a1 \cdot l1 + a2 \cdot l2 + K_{\text{э}} + K_{\text{КС}} + g_2 + K_{\text{И}} + K_{\text{В}} + K_{\text{М}}$$

где $K_{\text{КС}}$ – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью $K_{\text{КС}} = 2$ дБ, для двухпутного участка; g_2 – коэффициент, учитывающий преобразование напряженности поля ВЧ сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером $g_2 = 10$ дБ. Подставив значения получим:

$$E_2 = 14 - 0 - 10 - 2 - 2 + 12 + 0,5 + 0,5 + 3 + 2 + 10 + 5 + 4 + 1,8 = 38,8 \text{ дБ}$$

По графику рис. 130 определим дальность радиосвязи. Она составит $r \approx 3,5$ км считая, что расчеты ведутся для перегона с наибольшей длиной (17 км), то минимальная дальность радиосвязи составит $17 / 2 \text{ км} + 3 \text{ км} = 11,5$ км. Исходя из этого, делаем вывод, что $r = 3,5 \text{ км} < r_{\text{мин}} = 11,5 \text{ км}$.

С учетом всех расчетов можно сделать вывод о том, что при данных заданных параметрах на проектирование необходимая дальность связи **не обеспечивается**.

27.5. Расчет дальности связи между локомотивами

Особенность расчета заключается в том, что тип трассы радиосвязи постоянно меняется при движении локомотива в пределах рассматриваемого участка. Поэтому следует ориентироваться на такой тип трассы, который является наиболее сложным для данной местности.

Напряженность сигнала на входе приемника возимой радиостанции определяется по формуле (27.6) при условии, что параметры передающего и приемного антенно-фидерных трактов одинаковы:

$$E_2 = U_2 - a_T - B_M - 2G_2 + 2a_2 \cdot l_1 + 2K_3 + g_2 + K_H + K_B + K_M \quad (27.6)$$

Коэффициент $K_{КС}$ исключен, так как антенны располагаются ниже уровня контактной сети. Тогда подставив значения получаем:

$$E_2 = 14 + 0 - 10 - 4 + 1 + 6 + 10 + 5 + 4 + 1,8 = 27,8 \text{ дБ}$$

Вывод: При $E_2 = 27,8 \text{ дБ}$ $r \approx 5,5 \text{ км} < 11,5 \text{ км}$, значит, дальность радиосвязи между локомотивами при данных параметрах проектирования **не обеспечивается**.

27.6. Расчет координационного расстояния

Для определения координационного расстояния $r_{крд}$ (минимально необходимого расстояния между стационарными радиостанциями, при котором исключается их взаимное влияние друг на друга в случае работы на одной частоте) вычисляется напряженность электромагнитного поля мешающего сигнала

$$E_2 = U_{пор} - B_M - M - G_1 - G_2 + a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2 + g_2 - K_H - K_B$$

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

В выражении значение K и принимается равным 0,6 дБ, а $K_B = 2 \text{ дБ}$.

$$E_2 = -10 - 10 + 12 - 2 - 2 + 0,5 + 0,5 + 10 - 0,6 - 2 = -3,6 \text{ дБ}$$

По найденному значению напряженности поля E_2 и кривой распространения определяется координационное расстояние $r_{крд}$ между радиостанциями.

При $E_2 = -3,6 \text{ дБ}$; $r_{крд} = 27 \text{ км}$.

27.7. Расчет дальности станционной радиосвязи

В основу расчета дальности станционной радиосвязи положены графические зависимости напряженности электромагнитного поля от расстояния при заданных высотах установки передающей h_1 и приемной h_2 антенн. Ожидаемая дальность радиосвязи определяется по кривым для заданных высот установки антенн h_1 и h_2 и заданного значения U_2 в точке приема.

В реальных условиях при расчете канала необходимо учитывать фактические параметры рассчитываемой системы:

- мощность передатчика, электрические данные используемых антенн,
- затухания приемного и передающего фидеров,
- ослабления электромагнитного поля вследствие влияния контактной сети,
- корпуса локомотива, а также явления интерференции.

Учет перечисленных факторов достигается введением следующих поправочных коэффициентов:

$B_\Phi = a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2$ – коэффициент ослабления поля в результате потерь энергии в антенно-фидерных устройствах передатчика и приемника:

$$B_{\phi} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 10 = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ дБ};$$

$B_K = 8 \text{ дБ}$ – коэффициент ослабления поля контактной сетью; учитывается только при расчете дальности связи между стационарной радиостанцией и локомотивной или носимой;

$B_L = 9 \text{ дБ}$ – коэффициент ослабления поля корпусом локомотива; учитывается при расчете дальности связи между локомотивной радиостанцией и любой другой;

$B_{II} = -9 \text{ дБ}$ – коэффициент ослабления поля в результате интерференции сигнала, зависит от требуемой надежности канала связи ($P = 0,97$).

B_M – поправочный коэффициент, учитывающий отличие мощностей передатчиков «Транспорт» от 12 Вт.

$$B_h = 20 \cdot \lg \left(\frac{25}{h1 \cdot h2} \right) \text{ дБ} \quad - \text{ коэффициент ослабления поля, учитывающий}$$

низкое расположение антенн носимых радиосредств.

B_{PH} – коэффициент ослабления поля, учитывающий ухудшение условий передачи информации в каналах с носимыми радиосредствами. $B_{PH} = 0 \text{ дБ}$ (табл. 2.2. [1]).

G_1, G_2 – коэффициенты усиления соответственно передающей и приемной антенн, $G_1 = 2 \text{ дБ}$, $G_2 = -6 \text{ дБ}$.

Определение дальности действия связи между стационарной радиостанцией и локомотивом рассчитываем по формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_{\phi} + B_K + B_L - B_{II} + B_M + B_h + B_{PH}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_{\phi} = 1,5 \text{ дБ}; B_K = 8 \text{ дБ}; B_L = 9 \text{ дБ}; B_{II} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg \left(\frac{12}{10} \right) = 0,79 \text{ дБ}; B_h = 0 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 1,5 + 8 + 9 + 9 + 0,79 = 28,29$$

$$U'_2 = 6 + 28,29 + 4 = 38,29 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 38,29 \text{ дБ}$ $r = 5 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км – значит дальность связи не обеспечивается.

27.8. Определение дальности действия связи между стационарной радиостанцией и носимой

Дальность связи между носимой и стационарной радиостанцией определяется по формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K + B_{\text{Л}} - B_{\text{И}} + B_M + B_h + B_{\text{РН}}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_{\Phi} = 1,5 \text{ дБ}; B_K = 8 \text{ дБ}; B_{\text{Л}} = 9 \text{ дБ}; B_{\text{И}} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg \left(\frac{12}{10} \right) = 0,79 \text{ дБ};$$

$$B_h = 20 \cdot \lg \left(\frac{25}{5} \right) = 10,45 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 1,5 + 8 + 9 + 9 + 0,79 = 28,29$$

$$U'_2 = 6 + 28,29 + 4 = 38,29 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 1,5 + 8 + 9 + 9 + 0,79 + 10,45 = 38,74 \text{ дБ}$$

$$U'_2 = 6 + 38,74 + 4 = 49,74 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 49,74 \text{ г} = 2 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км значит, дальность связи **не обеспечивается**.

27.9. Определение дальности действия связи между возимой и стационарной радиостанцией

Определение дальности связи между возимой и стационарной радиостанцией определяем по исходной расчетной формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K + B_{\text{Л}} - B_{\text{И}} + B_M + B_h + B_{\text{РН}}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_{\Phi} = 1,5 \text{ дБ}; B_K = 0 \text{ дБ}; B_{\text{Л}} = 9 \text{ дБ}; B_{\text{И}} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 1,76 \text{ дБ}; B_h = 0 \text{ дБ};$$

$$\Sigma B = 1,5 + 9 + 9 + 1,76 + 0 + 0 = 21,26 \text{ дБ}$$

$$U'_2 = U_2 + 21,26 + 4 = 31,26 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 31,26 \text{ г} = 5,6 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км значит, дальность связи **не обеспечивается**.

27.10. Определение дальности действия связи между возимой радиостанцией и носимой

Определение дальности связи между возимой и носимой радиостанцией определяем по формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K + B_{Л} - B_{И} + B_M + B_h + B_{PH}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_{\Phi} = 1,5 \text{ дБ}; B_K = 8 \text{ дБ}; B_{Л} = 9 \text{ дБ}; B_{И} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{8}\right) = 1,76 \text{ дБ}; B_h = 20 \cdot \lg\left(\frac{25}{10 \cdot 1,5}\right) = 4,44 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 1,5 + 8 + 9 + 9 + 1,76 + 4,44 + 0 = 33,7 \text{ дБ}$$

$$U'_2 = 6 + 33,4 + 4 = 43,7 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 43,7 \text{ г} = 3 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км значит, дальность связи **не обеспечивается**.

27.11. Определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и стационарной

Определение дальности связи между носимой радиостанцией и стационарной определим по формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_{\Phi} + B_K + B_{Л} - B_{И} + B_M + B_h + B_{PH}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_{\Phi} = 0,5 \text{ дБ}; B_K = 8 \text{ дБ}; B_{Л} = 0 \text{ дБ}; B_{И} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{1}\right) = 10,79 \text{ дБ}; B_h = 20 \cdot \lg\left(\frac{25}{10 \cdot 1,5}\right) = 4,44 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 0,5 + 8 + 9 + 10,79 + 4,44 + 4 = 36,73 \text{ дБ}$$

$$U'_2 = 6 + 36,73 + 4 = 46,73 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 46,73 \text{ г} = 3,5 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км значит, дальность связи **не обеспечивается**.

27.12. Определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и возимой

Определение дальности связи между носимой радиостанцией и возимой определим по формуле:

$$U'_2 = U_2 + \Sigma B - \Sigma G$$

где U_2 – значение полезного сигнала на входе приемника. При этом:

$$\Sigma B = B_\phi + B_K + B_{\text{Л}} - B_{\text{И}} + B_M + B_h + B_{PH}$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2$$

$$B_\phi = 1 \text{ дБ}; B_K = 0 \text{ дБ}; B_{\text{Л}} = 9 \text{ дБ}; B_{\text{И}} = -9 \text{ дБ};$$

$$B_M = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{1}\right) = 10,79 \text{ дБ}; B_h = 20 \cdot \lg\left(\frac{25}{10 \cdot 1,5}\right) = 4,44 \text{ дБ}$$

$$\Sigma B = 1 + 9 + 9 + 10,76 + 4,44 + 4 = 38,23 \text{ дБ}$$

$$U'_2 = 6 + 38,23 + 4 = 48,23 \text{ дБ}$$

При $U'_2 = 48,23 \text{ г} = 4 \text{ км}$.

Длина станции – 6,5 км значит, дальность связи **не обеспечивается**.

Проведя расчеты, видим, что все используемые на станции виды связей **не обеспечиваются**. В большей степени этому послужило то обстоятельство, что надежность радиосвязи принималась равной 0,97 и электрофицированность данной станции.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расскажите, как выполняется расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанций.
2. Расскажите, как выполняется расчет дальности связи в радиосетях ПРС – С гектометрового диапазона волн (диапазон КВ).
3. Расскажите, как выполняется определение типа трассы радиосвязи и поправочных коэффициентов.
4. Расскажите, как выполняется расчет дальности связи между локомотивами.
5. Расскажите, как выполняется расчет координационного расстояния между радиостанциями.
6. Расскажите, как выполняется расчет дальности станционной радиосвязи.
7. Расскажите, как выполняется расчет дальности действия связи между стационарной радиостанцией и носимой.
8. Расскажите, как выполняется расчет дальности действия связи между возимой и стационарной радиостанцией.
9. Расскажите, как выполняется определение дальности действия связи между возимой радиостанцией и носимой.
10. Расскажите, как выполняется определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и стационарной.
11. Расскажите, как выполняется определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и возимой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие «Транкинговая радиосвязь с подвижными объектами железнодорожного транспорта» предназначено для оказания помощи студентам средних профессиональных учебных заведений и вузов при изучении дисциплины «Радиосвязь с подвижными объектами».

В учебном пособии рассмотрены вопросы, связанные с понятиями различных видов радиосвязи, но особый акцент сделан на транкинговой радиосвязи, ее назначением и использованием на предприятиях связи железнодорожного транспорта.

Учебное пособие состоит из 27 глав, в которых рассматриваются как общие вопросы организации транкинговой связи, так и вопросы организации радиосвязи на железнодорожном транспорте, которые имеют определенную специфику. Даны рекомендации по технике безопасности при монтаже антенн на подвижных объектах, локомотивах и моторвагонах железнодорожного транспорта.

Рассмотрены вопросы организации электроснабжения, молниезащиты и защитного заземления. Приведены варианты расчетов при выполнении молниезащиты и защитного заземления.

В 26 главе приведена методика выполнения расчетов дальности связи между подвижными объектами.

В 27 главе подробно, на конкретных примерах показан расчет дальности связи между всеми абонентами диспетчерского круга участка железной дороги.

В конце каждой главы даны вопросы, ответив на которые, студенты могут осуществлять самоконтроль знаний по изученной главе.

В конце учебного пособия дан библиографический список и перечень используемых сокращений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основные

1. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи. Серия изданий «Связь и бизнес». – М.: МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации», 2000, 166 с.
2. Пакетная коммутация в сетях мобильной связи // Электросвязь, 2012 г.
3. GPRS – пакетная передача данных в сетях GSM // Электросвязь, 2000, № 5.
4. Телекоммуникационные технологии на ж. д. транспорте / Под ред. Г.В. Горелова – М.: Транспорт, 1999. – Гл.15. – 576 с.
5. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи. – М.: Транспорт, 1991. – 94 с.
6. Антонян А.Б. Подвижная сотовая связь в России на пороге третьего тысячелетия // Технологии и средства связи, 1997, № 5.
7. Невдяев Л. CDMA: IS-95 // Сети, 2000, № 3.
8. Невдяев Л. CDMA: архитектура радиоинтерфейса // Сети, 2000, № 1.
9. Невдяев Л. CDMA: канальная структура // Сети, 2000, № 2.
10. Невдяев Л. CDMA: расширение спектра // Сети, 2000, № 5.
11. Невдяев Л. CDMA: управление мощностью // Сети, 2000, № 4.
12. Авдеева Л. В. Подвижная связь в России // Электросвязь, 1996, № 7.
13. Авдеева Л. В. Сети персонального радиовызова: концепция и прогресс // Мир связи и информации: Connect! 1997, № 5.
14. Художитков П.И., Золотых О.В. Системы железнодорожной связи. – Екатеринбург: УрГУПС, 1993. – 15 с.
15. Художитков П.И., Золотых О.В. Системы железнодорожной связи. – Екатеринбург: УрГУПС, 1993. – 15 с.

Дополнительные источники

16. Айзин ф., Ратынский М. Цифровой стандарт сотовой связи D-AMPS в России // Мир связи, 1996, № 4.
17. Андрианов В.И., Соколов А.В., Средства мобильной связи. – СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 1998, 256 с.
18. Быховский М. А. Сравнение различных систем сотовой подвижной связи по эффективности использования радиочастотного спектра // Электросвязь, 1996, № 5.
19. Быховский М.А. и др. Методика расчета абонентской емкости в сетях сухопутной стационарной радиотелефонной связи на основе технологии CDMA // Мобильные системы, 1998, № 3.
20. Варакин Л. Е. Концепция создания широкополосных систем подвижной и персональной радиосвязи // Вестник связи, 1994, № 9.
21. Ворсано Д. Кодирование речи в цифровой телефонии // Сети и системы связи, 1996, № 1.

22. Громаков Ю. А. Современные технологии подвижной связи // Радио, 1997, № 5.
23. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997, 238 с.
24. Громов В. MPT 1327 или TETRA: что выбрать? // Мобильные системы, 1997, № 3.
25. Гугалов К. Г., Любомудров Д. Ю. Новые возможности транкинговой связи // Вестник связи, 1996, № 1.
26. Гольдштейн В.С. Конвергенция мобильных и интеллектуальных сетей // Вестник связи, 2000, № 4.
27. Гришанков Б.Т. TETRA: технология цифровой транковой радиосвязи // «Электроника: Наука, Технология, Бизнес», 1998, № 2.
28. Емельянов Ю. И. Сертификация технических средств и услуг связи в условиях российского рынка // Электросвязь, 1996, № 6.
29. Гершман И.Р. Сертификация оборудования сотовой подвижной связи в системе «Электросвязь» // Вестник связи, 1999, № 2.
30. Никодимов И.Ю., Мансырев М.И. Планирование сети GSM // Сети и системы связи, 1999, № 13.
31. Калашников А. Средневысотная система персональной спутниковой связи // Радио, 1997, № 3.
32. Кельганкин О.О., Орехов В.Г. SMS-технология для операторов сотовой связи // Сети и системы связи, 2000, № 1.
33. Концепция развития в России сетей радиовызова общего пользования // Электросвязь, 1994, № 11.
34. Концепция развития связи Российской Федерации / В.Б. Булгак, Л.Е. Варакин, Ю.К. Ивашкевич и др.; Под ред. В.Б. Булгака, Л.Е. Варакина. – М.: Радио и связь, 1995, 224 с.
35. Крейнс А. Мобильный телефон как средство доступа в Internet // Сети, 1998, № 5.
36. Логинов Н., Панченко В. Вопросы частотного обеспечения сетей ПРВ-ОП // Вестник связи, 1997, № 10.
37. Миронос В. Службы SMS: коротко и удобно // Сети, 1999, № 4.
38. Невдяев Л. М. Персональная спутниковая связь. – М.: Эко-Трендз, 1998.
39. Художитков П.И., Золотых О.В. Системы железнодорожной связи. – Екатеринбург: УрГУПС, 1993. – 15 с.
40. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Зимина Д.Б. – М.: Радио и связь, 1998, 248 с.
41. Ратынский М.В. Сотовая связь как система массового обслуживания // Мобильные системы, 1997, № 2.
42. Росляков А.В. Общеканальная система сигнализации № 7. – М: Эко-Трендз, 1999.

43. Самуилов К.Е. Никитина М.В. Сети сотовой подвижной связи в стандарте GSM // Сети, 1996, № 6.
44. Симонов М., Поволодский И. Развитие связи России// Технологии и средства связи, 1997, № 2.
45. Синчуков А. Пейджинговый протокол POCSAG // Радио, 1997, № 2.
46. Тамаркин В.М., Громов В.Б., Сергеев С.И., Мордачев В.И., Козел В.М., Ковалев К.А. Транкинговые системы радиосвязи. Серия изданий «Связь и бизнес». – М.: МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации», 1997, 108 с.
47. Тамаркин В.М., Невдяев Л.М., Сергеев С.И. Транкинговые системы связи // Сети и системы связи, 1996, № 9.
48. Тамаркин В.М., Сергеев С.И., Невдяев Л.М. Перспективные системы и стандарты транкинговой связи // Сети и системы связи, 1997, № 2.
49. Тамаркин В. М., Невдяев Л. М., Сергеев С. И., Зайцев А. Н. Транкинговые системы радиосвязи. – М.: ЦНТИ «Информсвязь», 1996.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВЛ – высоковольтные линии напряжением 10 или 35 кВ;
ВЛС – воздушная линия связи;
ДПР – высоковольтная линия напряжением 27 кВ (два провода – рельс);
ДУ – дуплексные усилители;
Канал НЧ – канал низкой частоты;
Канал ТЧ – канал тональной частоты;
КЛС – кабельная линия связи;
ПП – питающий провод в системе электротяги 2×25 кВ;
ОТС – оперативно-технологическая связь;
ОУ – ДУ – обходные устройства дуплексных усилителей;
ПДС – поездная диспетчерская связь;
ПРС – поездная радиосвязь;
ПРС – Д – дуплексная поездная радиосвязь;
ПРС – С – симплексная поездная радиосвязь;
РВ – возимая радиостанция;
РС или FRS – стационарная радиостанция;
СП – системы передачи;
СР – распорядительная станция;
СУ – согласующее устройство;
ТСС – транкинговая система связи;
БС – базовая станция;
УУ – устройство управления;
РТ – ретранслятор;
КТ – канал трафика;
МА – мобильный абонент;
ТфОП – телефонная сеть общего пользования;
ПД – передача данных;
БД – база данных;
DID – аппаратура прямого набора номера;
АТС – автоматическая телефонная станция;
СКП – система коммутации пакетов;
ТОЭ – терминал технического обслуживания и эксплуатации;
ДП – диспетчерский пульт;
ЦК – центральный коммутатор;
ВВ – персональный внутренний вызов;

ID – идентификационный номер;
ЭП – эстафетная передача;
СПД – система передачи данных;
НСД – несанкционированный доступ;
СПД – система передачи данных;
РТ – ретранслятор;
МС или MS – мобильная станция;
КУ – выделенным частотным каналом управления;
МА – мобильный абонент;
BTS – базовая приемопередающая станция;
BCF – элемент сети с возможностями коммутации, который управляет несколькими базовыми станциями;
ДП – устройство, подключаемое к контроллеру БС по проводной линии и обеспечивающее обмен информацией между диспетчером сети и другими пользователями сети;
ЛТ – линейный терминал;
ШВ – ширококвещательный вызов;
ГВ – групповой вызов;
ГС – групповое соединение;
АТ – абонентский терминал;
АС – абонентская сеть;
ГН – групповой номер;
АРУ – автоматическая регулировка усиления;
ТУ – технические условия;
АПЧ – автоматическая подстройка частоты гетеродина;
СТС – сети транкинговой связи;
ТСС – транкинговые системы связи;
ТСР – транкинговые системы радиосвязи;
ТСР – протокол управления передачей;
ВИ – временной интервал;
АРБ – абонентский радиоблок;
БИЗ – быстрые интерференционные замирания;
DCK – вычисляемый ключ шифрования;
SCK – статический ключ шифрования;
SSB – коммуникации однополосная модуляция;
SSB-SC – однополосная модуляция с подавленной несущей частотой;
АРБ – абонентский радиоблок;
ПОС – пульт оперативной связи.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	
О СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ	5
1.1. Назначение сетей подвижной радиосвязи	5
1.2. Сети сотовой подвижной связи	8
1.3. Сети транкинговой связи	8
1.4. Сети персонального радиовызова	10
1.5. Сети мобильной спутниковой связи	11
Глава 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ	
2.1. Радиоволны и принципы их распространения	14
2.2. Модуляция – основной параметр радиопередачи	16
2.3. Структурная схема и принципы построения приемо-передающих радиостанций	18
2.4. Понятие радиопомех и их классификация.....	23
2.5. Избирательность и взаимные помехи одновременно работающих радиостанций	26
Глава 3. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА.....	
3.1. Основные функциональные узлы радиопередатчика	30
3.2. Технические показатели радиопередатчиков	32
Глава 4. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА	
4.1. Назначение и классификация радиоприемных устройств	35
4.2. Основные показатели радиоприемников	36
4.3. Структурные схемы радиоприемников	38
Глава 5. НАЗНАЧЕНИЕ АНТЕНН, И ИХ УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА СХЕМАХ	
44	
Глава 6. НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТИПЫ АНТЕНН И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
52	
6.1. Полуволновый диполь – симметричный диполь, он же полуволновый разрезной вибратор	52
6.2. Многодиапазонная антенна Windom – полуволновой диполь со смещённой точкой запитки	53
6.3. Несимметричный вибратор, он же полудиполь или штыревая антенна .	56
6.4. Антенны направленные Y3 VHF (L, M, H) 140–179 МГц	59
6.5. Антенна «длинный провод», она же Long Wire, она же «Верёвка»	63
6.6. V-образная антенна	67
6.7. Основные направления построения индустрии СВЧ антенн	68

Глава 7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТАХ	71
7.1. Антенно-согласующее устройство (АнСУ)	71
7.2. Полосовые фильтры, балластные нагрузки, симметрирующий трансформатор (Балуи)	73
7.3. Атеннуаторы, направленные ответвители, согласователи импеданса	76
Глава 8. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАДИОСВЯЗИ	81
8.1. Организация электроснабжения линейно-аппаратных залов (ЛАЗ) и необслуживаемых усилительных и регенерационных пунктов (НУП) ..	81
8.2. Надежность электроснабжения потребителей ЛАЗ	85
8.3. Организация электропитания аппаратуры необслуживаемых усилительных пунктов (НУП) и необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП)	87
8.4. Альтернативные источники питания	90
8.5. Принцип получения электроэнергии с помощью ветрогенераторов	94
Глава 9. МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ РАДИОСВЯЗИ	99
9.1. Основные технические мероприятия в области защиты от импульсных перенапряжений	99
9.2. Характеристика интенсивности грозовой деятельности и молниепоражаемости объекта	104
9.3. Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты ..	105
9.4. Выбор типа защиты	106
9.5. Конструкции молниеотводов	107
9.6. Расчет и проектирование молниеотводов	108
9.7. Пример расчета молниеотвода для склада ГСМ	113
Глава 10. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ	116
10.1. Минимально допустимые геометрические размеры сечений заземляющих элементов	116
10.2. Пример расчета защитного заземления	120
Глава 11. СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ	123
11.1. Перспективы развития железнодорожного транспорта России	123
11.2. Сети общетехнологической связи	125
11.3. Принципы организации оперативно-технологической связи на ЖДТ	126
Глава 12. АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	132
12.1. Стационарные антенны и их основные характеристики	132
12.2. Возимые антенны и их основные характеристики	135

12.3. Антенны, применяемые для работы в диапазоне МВ	137
12.4. Направленные антенны	141
12.5. Локомотивные антенны и их разновидности	143
12.6. Современные локомотивные антенны и их характеристики	149
12.7. Антенна локомотивная АЛ2/460/900/Н	153
12.8. Антенна локомотивная АЛ3/800-3400/Н	154
 Глава 13. МОНТАЖ И УСТАНОВКА ЛОКОМОТИВНЫХ АНТЕНН.....	157
13.1. Общие правила установки и монтажа локомотивных антенн	157
13.2. Порядок установки антенны непосредственно на крышу локомотива.....	159
13.3. Установка антенны на подставку, привариваемую к крыше подвижного объекта	161
 Глава 14. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОПЕРЕДАЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ (РПУ)	163
14.1. Основные параметры, характеризующие качество радиоприемного тракта	163
14.2. Канал передачи информации между абонентами радиосети и его качественные показатели	165
14.3. Общие понятия сети транкинговой связи.....	168
14.4. Классификация сетей транкинговой связи	169
14.5. Разновидности транкинговых систем	173
 Глава 15. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНКИНГОВЫХ СЕТЕЙ.....	175
15.1. Принципы организации и схемные решения построения транкинговых сетей	175
15.2. Услуги сетей транкинговой связи	180
 Глава 16. ТРАНКИНГОВЫЕ СЕТИ СТАНДАРТА TETRA.....	186
16.1. Общая характеристика сетей стандарта TETRA.....	186
16.2. Состав оборудования сетей связи стандарта TETRA на железнодорожном транспорте	188
16.3. Архитектура сети стандарта TETRA.....	192
16.4. Услуги, предоставляемые сетями стандарта TETRA	196
16.5. Сетевые процедуры системы TETRA	198
 Глава 17. ТРАНКИНГОВАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВОГО СТАНДАРТА GSM-R	205
17.1. Базовый стандарт GSM-R, используемый в связи на ЖДТ	205
17.2. Основные функции, выполняемые железнодорожной системой радиосвязи стандарта GSM-R	211
17.3. Сравнительный анализ стандартов GSM-R и TETRA.....	213

Глава 18. СОВРЕМЕННЫЙ СТАНДАРТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ DMR	217
18.1. Новый современный стандарт двухсторонней радиосвязи DMR	217
18.2. Новизна и универсальность возможностей стандарта DMR	219
Глава 19. КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫЕ РАДИОСЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	223
19.1. Общие сведения о конвенциональных радиосетях обмена данными на железнодорожном транспорте	223
19.2. Ограничения систем связи стандартов GSM-R и TETRA по обмену данными	224
19.3. Возможности конвенциональных радиосетей по обмену данными	227
Глава 20. СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТОВ DMR-TETRA.....	237
20.1. Сравнительный анализ стандартов DMR-TETRA	237
20.2. Характеристики доступа к радиоканалам DMR и TETRA	240
20.3. Системная производительность стандарта DMR и TETRA.....	244
Глава 21. КРАТКИЙ ОБЗОР СТАНДАРТА DECT	247
21.1. Технология беспроводной связи стандарта DECT	247
21.2. Построение стандартной схемы структуры DECT-систем.....	249
21.3. Проблемы защищенности системы DECT, и пути их решения	254
Глава 22. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ DECT НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	260
22.1. Общие принципы организации сетей стандарта DECT на железнодорожном транспорте	260
22.2. Базовое оборудование, необходимое для организации сети связи стандарта DECT	263
22.3. Работа и функции, выполняемые абонентским терминалом при организации связи на железнодорожном транспорте	268
22.4. Организация перегонной связи стандарта DECT на участке с множеством ячеек покрытия	272
Глава 23. РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СТАНЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ	275
23.1. Теоретические основы расчета дальности стационарной радиосвязи ...	275
23.2. Пример определения высоты установки антенны АС – 1/2 стационарной радиостанции РС-2	281
Глава 24. ПОЕЗДНАЯ РАДИОСВЯЗЬ, ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ.....	284
24.1. Поездная радиосвязь и радиостанции, используемые для ее организации	284

24.2. Основные параметры при определении дальности связи в радиосетях ПРС-С гектометрового диапазона радиоволн	287
24.3. Расчет дальности уверенной радиосвязи Γ при использовании стационарных антенн	292
Глава 25. РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ В РАДИОСЕТЯХ ПРС-С ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН (160 МГц)	
25.1. Базовые кривые распространения радиоволн	295
25.2. Типы трасс радиосвязи	296
25.3. Поправочные коэффициенты	297
25.4. Вероятностные коэффициенты, учитывающие флюктуации сигнала	299
25.5. Минимально допустимый уровень полезного сигнала	300
25.6. Расчет дальности связи между возимой и стационарной радиостанцией	301
Глава 26. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ СТАНЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ	
26.1. Сети станционной радиосвязи	303
26.2. Организация ремонтно-оперативной радиосвязи и (РОРС) и ее графическое отображение	308
Глава 27. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ РАДИОСВЯЗИ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	
27.1. Исходные данные для выполнения расчетов	312
27.2. Расчет дальности связи в радиосетях ПРС – С гектометрового диапазона волн (диапазон КВ)	313
27.3. Определение типа трассы радиосвязи и поправочных коэффициентов	315
27.4. Расчет дальности связи между стационарной и возимой радиостанцией	317
27.5. Расчет дальности связи между локомотивами	317
27.6. Расчет координационного расстояния	318
27.7. Расчет дальности станционной радиосвязи	318
27.8. Определение дальности действия связи между стационарной радиостанцией и носимой	319
27.9. Определение дальности действия связи между возимой и стационарной радиостанцией	320
27.10. Определение дальности действия связи между возимой радиостанцией и носимой	321
27.11. Определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и стационарной	321
27.12. Определение дальности действия связи между носимой радиостанцией и возимой	322

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	323
Список использованных источников	324
Список принятых сокращений.....	327

Книги почтой

Заказ можно сделать на сайте издательства

www.infra-e.ru

№ п/п	Наименование книги
1	Восстановление деталей в войсковых ремонтных мастерских
2	Дистанционно-кибернетическое оружие – альтернатива оружию ядерному? Приглашение к размышлениям и поиску решений
3	Испытания САУ
4	Конструктивные элементы военно-автомобильных дорог. Основы расчета и проектирования
5	Методы и средства радиоэлектронной борьбы
6	Многофункциональные бортовые радиолокационные системы
7	Траскторные измерения
8	Радиоэлектронная борьба
9	Основы компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и сигналов
10	Надежность технических систем военного назначения
11	Эскизное проектирование беспилотных транспортных средств
12	Радиоэлектронная борьба в космосе
13	Радиоэлектронная борьба: функциональное поражение радиоэлектронных средств
14	Радиоэлектронная борьба в информационных каналах
15	Материалы электротехнических и радиоэлектронных устройств
16	Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте
17	Инфраструктура железных дорог. Англо-русский словарь
18	Авиационные радиоэлектронные системы и комплексы и основы их применения
19	Пассивная радиолокация
20	Повышение энергетической и экологической эффективности объектов и устройств на железнодорожном транспорте и в отраслях промышленности
21	Радиоинформатика и радиоэлектронные технологии схемоархитектурного проектирования сигнальных модулей
22	Помехозащищенность систем связи
23	Высокопроизводительные системы обнаружения вторжений