

**В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев,
В.Н. Харин, И.А. Хворов**

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Санкт-Петербург

2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

**ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТРОИТЕЛЬСТВА РАДИОРЕЛЕЙНЫХ
СИСТЕМ СВЯЗИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Санкт-Петербург

2014

Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства радиорелейных систем связи. Учебное пособие: В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев, В.Н. Харин, И.А. Хворов / под общ. ред. В.А. Григорьева. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – с. 149.

Пособие посвящено рассмотрению особенностей частотного обеспечения, проектирования, строительства и применения радиорелейных систем связи на территории Российской Федерации, вытекающих из действующих законодательных и нормативных актов. Приведена классификация радиорелейных систем связи, описаны основные этапы и особенности получения радиочастотного ресурса, включая выделение полос частот в Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ), присвоение частот в ФГУП «Главный радиочастотный центр» (ФГУП «ГРЧЦ») и Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), регистрация РЭС в территориальных управлениях Роскомнадзора.

Также в пособии рассмотрены особенности процесса проектирования радиорелейных линий, в том числе обращено особое внимание на процедуру расчета трасс.

Приведены сведения о наиболее крупных отечественных и зарубежных предприятиях, которые занимаются разработкой, производством и реализацией аппаратуры для организации радиорелейной связи.

В написании принимали участие: В.А. Григорьев – раздел 1, 2, 4, О.И. Лагутенко – раздел 4, 5, Ю.А. Распаев – раздел 4, В.Н. Харин – раздел 3, И.А. Хворов – раздел 1, 2, 5, Е.В. Григорьева – раздел 1, 5, В.О. Аксенов – раздел 3, К.В. Красовский – раздел 4; С.В. Пушкарев – раздел 3.6-3.7; А.С. Щесняк – раздел 3.5.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению 210700 «Инфокоммуникационные технологии и сети связи». Рекомендовано к печати Ученым советом факультета ИКТ от 17 декабря 2013 года, протокол №8.

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»



© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Авторы, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Общие сведения о системах радиорелейной связи	5
1.1 Краткая история развития РРС	5
1.2 Классификация РРС	7
2. Частотное обеспечение РРС в Российской Федерации	13
2.1. Общий порядок частотного обеспечения РРС	13
2.2. Процедуры получения частот для РРС	19
2.3. Обзор действующих Решений ГКРЧ	27
2.4. Рекомендации по составлению заявки в ГКРЧ	71
3. Расчет трасс радиорелейных линий	76
3.1. Показатели качества функционирования радиорелейных линий	78
3.2. Распространение радиоволн в свободном пространстве	82
3.3. Расчет трасс прямой видимости	89
3.4. Замирания сигнала на интервалах радиорелейных линий	98
3.5. Тропосферные линии связи	104
3.6. Стандартизированные методики, используемые при расчете радиорелейных линий	107
3.7. Программное обеспечение для расчета параметров радиорелейных линий	112
4. Общий порядок действий при проектировании и строительстве радиорелейных линий	119
5. Краткие сведения об основных производителях РРС	137
5.1. Отечественные производители РРС	137
5.2. Зарубежные производители РРС	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	146
ЛИТЕРАТУРА	147

ВВЕДЕНИЕ

Среди технических средств, применяемых при построении телекоммуникационных сетей, радиорелейные станции (РРС) занимают особое место. Довольно часто их применение остается единственным средством, обеспечивающим строительство высокоскоростных транспортных сетей связи там, где прокладка кабеля невозможна или нецелесообразна по экономическим соображениям. В последнее время востребована реализация линий уровня «последней мили» для предоставления абонентам услуг голосовой телефонной связи, Интернет и кабельного телевидения. В пригородных и сельских районах с недостаточной степенью проникновения современной телекоммуникационной инфраструктуры применение радиорелейных станций решает такую проблему за счет скорости развертывания, относительно быстрой окупаемости и высокой пропускной способности.

Достаточно распространена схема применения радиорелейных станций в составе интегрированной системы абонентского радиодоступа, когда с помощью РРС обеспечивается транспортное соединение для передачи данных от опорной транспортной сети на точку доступа, к которой подключается оборудование доступа. Такая схема находит свое применение при телефонизации коттеджных поселков и пригородных районов.

Радиорелейные линии, создаваемые на базе РРС прямой видимости, могут иметь самую различную протяженность - от сотен метров до сотен и тысяч километров с пропускной способностью от 200 кбит/с до 1,25 Гбит/с.

Как и для других радиоэлектронных средств, для работы радиорелейных станций необходим соответствующий частотный ресурс. Идеология выделения этих ресурсов имеет свои нюансы и тенденции (увеличение принятия количества «обобщенных» решений ГКРЧ, постепенный переход РРС в более высокий гигагерцовый диапазон и т.д.), которые и будут рассмотрены в пособии.

В учебном пособии подробно рассматриваются задачи частотного обеспечения, проектирования, строительства, решение которых требуется для законного ввода РРС в эксплуатацию и дальнейшей законной эксплуатации. С этой целью последовательно описаны все необходимые шаги, в том числе взаимодействие с регуляторными органами.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 210700 «Инфокоммуникационные технологии и сети связи», а также будет полезно специалистам–практикам, занимающимся строительством и эксплуатацией РРС.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

1.1 Краткая история развития РРС

Изучение распространения ультракоротких (метровых) радиоволн в нашей стране началось в 1926 г. Первые линии связи на метровых волнах появились в 1932 - 1934 гг. В 1946 г. в Киргизии была организована радиорелейная линия протяженностью 250 км. Развитие многоканальной радиорелейной связи относится к началу 40-х годов, когда появляются первые 12-канальные радиолинии, использующие тот же, что и для кабельных линий, способ частотного разделения каналов и ту же каналообразующую аппаратуру, а также частотную модуляцию сигнала. В начале 50-х годов появилось сразу несколько типов отечественной аппаратуры РРЛ («Стрела», Р-60/120, Р-600).

Аппаратура микроволновой связи *первого* поколения была весьма громоздкой и тяжелой. Обычно она состояла из специализированных стоек, высотой порядка 2 м и весом несколько сотен килограмм, *отдельно* содержащих приемопередатчики, модемы, системы управления резервом, системы служебной связи, телеуправления, телесигнализации и пр. Аппаратура потребляла довольно большую мощность и питалась от трехфазной сети переменного тока и резервных дизельных электростанций. Для круглосуточного обслуживания оборудования требовался довольно большой штат специалистов.

Перечисленные особенности определяют типовую компоновку станции связи. Основное оборудование располагается в здании аппаратной, около которой устанавливается антенная опора. Антенная опора выполняется в виде мачты (металлической фермы) или железобетонной башни высотой несколько десятков метров для обеспечения прямой видимости со следующей станцией системы связи. На антенной опоре устанавливаются антенны, с помощью которых передаются и принимаются радиосигналы для связи с ближайшими станциями, расположенными на расстояниях прямой видимости (30 - 60 км). Так как в аппаратуре *первого* поколения использовались диапазоны частот 2, 4, 6 и 8 ГГц, то при требуемом коэффициенте усиления антенн порядка 40 дБ, габариты антенн исчисляются несколькими метрами и, соответственно, имеют массу сотни килограмм. Очевидно, что антенная опора, удерживающая этот вес, противостоящая ветровым нагрузкам и сохраняющая неизменное положение при смене сезонов, температуры и прочих факторов является весьма сложным и дорогостоящим инженерным сооружением.

Радиочастотные сигналы в направлениях приема и передачи подаются при помощи волноводных фидерных линий, которые связывают приемопередатчики и антенны. Длина фидерных линий примерно соответствует высоте антенной опоры плюс длины горизонтальных участков, которые складываются из участков волноводов между антенной опорой и зданием аппаратной и участков, располагающихся внутри помещений здания. При этом величина потерь сигнала в фидерных волноводах составляет

несколько децибел, а в отдельных случаях превышает 10 дБ, что существенно ухудшает энергетический баланс системы связи.

Основная задача систем микроволновой связи *первого* поколения – передача *аналоговой* информации на расстояния в сотни и тысячи километров (т.е. система компоновалась как линия связи, содержащая большое число ретрансляторов). При естественном стремлении уменьшить число переприемов (ретрансляций) на линии связи приходилось увеличивать высоты антенных опор, что дополнительно увеличивало их стоимость.

Все вышеперечисленное приводило к тому, что прежние радиорелейное оборудование представляло собой весьма дорогую, сложную и громоздкую систему, с трудом конкурирующую с кабельными, волоконно-оптическими и спутниковыми структурами связи.

Микроволновое оборудование *второго* поколения отличается построением ряда узлов на транзисторах, микросборках и микросхемах, что несколько снизило энергопотребление и увеличило надежность систем связи. Представителями второго поколения являются радиорелейные системы прямой видимости «Рассвет», «Восход», КУРС (комплекс унифицированных радиорелейных систем), «Электроника-связь» и др.

В конце 80-х годов XX века появляется оборудование микроволновой связи *третьего* поколения, которое характеризуется переходом к передаче *цифровых сигналов* и новой элементной базой (микросхемы, микропроцессоры, активные полупроводниковые элементы СВЧ). Данная аппаратура применяется для замены оборудования *первого* и *второго* поколения и создания новых структур связи. Компоновка оборудования осталась прежней.

Четвертое поколение РРЛ - настоящая революция в компоновках оборудования, схемотехнике и структурах систем связи началась в 90-х годах XX века в результате повсеместного перехода к цифровым методам работы и достижениям электронных технологий. При этом значительно уменьшились габариты и энергопотребление элементов при существенном увеличении быстродействия. Появились новые элементы СВЧ техники (высокостабильные транзисторные генераторы, малошумящие усилители СВЧ для приемников, линейные малогабаритные усилители мощности СВЧ для передатчиков и пр.), что обеспечило появление аппаратуры микроволновой связи четвертого поколения и освоение диапазонов частот радиосигналов выше 10 ГГц. Резкое уменьшение габаритов приемопередатчиков изменило как конфигурацию структур беспроводной связи, так и компоновку оборудования. Приемопередатчики устанавливаются на антенной опоре в непосредственной близости от антенн или прямо пристыковываются к ним, что минимизирует длины фидерных линий и, соответственно, потери СВЧ сигналов.

Модемное и мультиплексорное оборудование, устройства управления и контроля, источники питания и пр. устанавливаются во внутреннем блоке, располагающемся в помещении. Связь между наружными и внутренними

устройствами осуществляется при помощи одного или нескольких кабелей длиной 100 - 400 м. Общая масса оборудования такой компоновки исчисляется единицами или десятками килограмм при энергопотреблении в десятки или сотни ватт. Как правило, подобная аппаратура снабжается совершенной системой автоматизированного управления и контроля, часто с помощью компьютеров, что позволяет резко сократить штаты специалистов по обслуживанию системы связи и увеличить экономическую эффективность и конкурентоспособность микроволновых структур.

Увеличение быстродействия элементной базы позволило разработать эффективные способы сжатия цифровых сигналов, новые методы модуляции, кодирования и обработки информации. При этом произошло существенное повышение пропускной способности систем связи (155,52 Мб/с, STM-1) и резкое увеличение спектральной эффективности с переходом в гигагерцовые диапазоны (20 - 30 МГц).

В начале XXI века начинает появляться оборудование микроволновой связи, которое можно отнести к начальным разработкам аппаратуры **пятого** поколения. Характерная особенность такой аппаратуры – дальнейшее уменьшение габаритов и энергопотребления и совершенствование систем управления. Практически все оборудование находится в одном наружном блоке. В помещении могут находиться только интерфейсы цифровых потоков, источник питания и, при необходимости, управляющий компьютер.

В настоящее время пропускная способность РРЛ превышает 1 Гб/с, они все увереннее осваивают высокочастотные диапазоны спектра – 70,80 и даже 90 ГГц.

1.2. Классификация РРС

Радиорелейные системы позволяют с высокой скоростью разворачивать линии связи различной протяженности и являются одной из разновидностей фиксированных беспроводных систем связи. С их помощью решаются задачи строительства транспортных сетей различных уровней и емкости.

Широкое применение РРС нашли при организации линий связи между базовыми станциями и коммутационным оборудованием в сетях мобильной связи, радиодоступа, при организации телевизионных репортажей и т.д.

Основными достоинствами РРС являются:

- быстрота и экономичность развертывания (по сравнению с проводной связью);
- экономически выгодная, а в ряде случаев и единственно возможная организация многоканальной связи на территориях, имеющих сложный рельеф (лес, горы, болота и пр.), а также в тех местах, где прокладка кабеля нецелесообразна;
- возможность резервирования магистралей проводной связи;
- качество связи, не уступающее качеству проводной связи.

Классификация радиорелейных линий для связи типа «точка-точка» приведена на рис. 1.1.

РРС классифицируют по многим взаимосвязанным признакам, к числу которых можно отнести функциональное назначение, скорость передачи данных, емкость радиорелейной линии (количество стволов и каналов в них), количество пролетов в радиорелейной линии и т.д.

В зависимости от способа распространения сигнала радиорелейные линии связи подразделяются на радиорелейные линии связи прямой видимости и тропосферные радиорелейные линии связи.

Радиорелейные линии связи прямой видимости обеспечивают передачу сигналов в открытом пространстве между наземными станциями, расположенными на трассе РРЛ на расстоянии прямой видимости между антеннами этих станций.

Тропосферные линии связи обеспечивают передачу сигналов за счет рассеяния и отражения радиоволн в нижней области тропосферы между наземными станциями, расположенными на трассе РРЛ одна относительно другой за пределами прямой видимости между антеннами этих станций. Это позволяет достигать дальности связи до 250–700 км на один пролет. Недостатком такой РРЛ является высокое энергопотребление (десятки кВт).

По виду передаваемой информации РРС подразделяются на аналоговые и цифровые (ЦРРС). Цифровые РРС постепенно вытесняют аналоговые.

Цифровые РРС подразделяются на системы, в которых цифровые радиорелейные линейные тракты образуются в соответствии с плезиохронной цифровой иерархией (PDH) и с синхронной цифровой иерархией (SDH).

Радиорелейные станции могут быть стационарными и передвижными. Стационарные РРС применяются для создания постоянных линий связи. Передвижные РРС применяются для организации резервирования или восстановления вышедших из строя радиорелейных или кабельных линий связи, а также для организации и проведения телерепортажей. Использование передвижных РРС носит временный характер.

По количеству организуемых стволов на линиях связи РРС прямой видимости можно подразделить на одноствольные и многоствольные (два и более стволов).

В составе телефонной сети связи общего пользования РРС прямой видимости применяют на магистральном, внутризоновом и местном уровнях.

На магистральном уровне строят РРС протяженностью до нескольких тысяч километров, которые работают, как правило, в диапазонах не выше 15 ГГц. Использование диапазонов выше 15 ГГц приводит к сокращению длины пролета до нескольких километров, что влечет за собой резкое увеличение числа ретрансляторов и удорожание системы в целом.

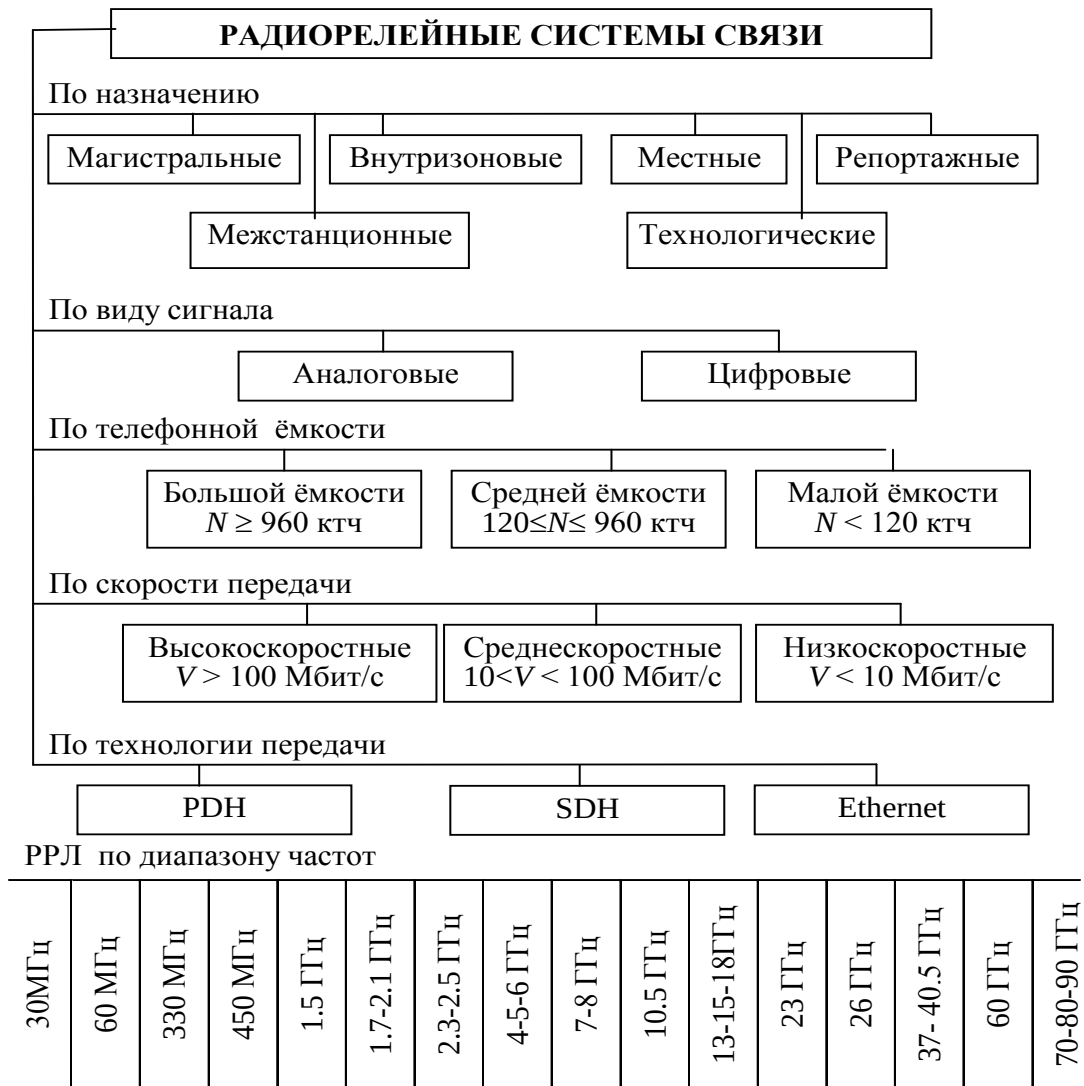


Рисунок 1.1 Классификация радиорелейных систем связи

На магистральном уровне для снижения удельной стоимости каналов РРЛ строят многоствольными.

На внутризональном уровне строят РРС протяженностью до нескольких сотен километров.

На местном уровне строят РРС небольшой протяженности для организации линий связи между АТС в городе и в сельской местности. Для местных РРЛ используют диапазоны 0,4 ГГц, 2 ГГц, 7 ГГц, 11 ГГц, 13 ГГц, 15 ГГц и выше.

Радиорелейные станции можно классифицировать по функциональному признаку на узловые, оконечные и промежуточные.

Узловая РРС - станция, на которой осуществляется переприем информации, передаваемой по радиорелейной системе, с возможностью ввода и выделения информации потребителю, а также предусматривается возможность организации одного или нескольких радиорелейных ответвлений.

Оконечная РРС - станция, на которой осуществляется ввод и выделение информации, передаваемой по радиорелейной системе.

Промежуточная РРС - станция, на которой осуществляется ретрансляция сигналов с переприемом по промежуточной частоте, а также, при необходимости, выделение и ввод части информационного потока.

Промежуточные РРС могут быть активными или пассивными. Промежуточная пассивная РРС осуществляет пассивную ретрансляцию СВЧ сигналов.

По режиму эксплуатации РРС подразделяются на обслуживаемые и необслуживаемые (автоматизированные).

РРС прямой видимости могут предназначаться для организации производственных или технологических линий связи (включая линии связи вдоль нефтепроводов, газопроводов и т.п.), для организации связи с центрами коммутации и различных других. Для таких линий связи могут использоваться различные диапазоны от 70 МГц.

По скорости передачи информации в стволе цифровые РРС прямой видимости различают:

- высокоскоростные радиорелейные системы (скорость передачи более 100 Мбит/с в одном стволе),
- среднескоростные радиорелейные системы (скорость передачи от 10 до 100 Мбит/с в одном стволе),
- низкоскоростные радиорелейные системы (скорость передачи менее 10 Мбит/с в одном стволе).

По числу пролетов радиорелейные системы можно разделить на однопролетные и многопролетные (два и более пролетов).

Радиорелейные системы по аппаратурному резервированию можно подразделить на системы, не имеющие резервирования, и системы с резервированием. Системы с резервированием подразделяются, в свою очередь, на системы с постанционным резервированием и системы с поучастковым резервированием. При этом чаще всего на один или несколько рабочих стволов выделяется один резервный (который, во многих случаях, может находиться в «горячем» резерве).

По использованию радиочастотного спектра РРС прямой видимости могут подразделяться на системы, использующие радиочастотный ресурс на первичной основе и системы, использующие его на вторичной основе.

С точки зрения организации дуплексного разнеса (т.е. разнеса между частотами стволов прямого и обратного направлений) радиорелейные системы можно разделить на системы с частотным дуплексом и системы с временным дуплексом.

При организации радиорелейных линий связи применяются различные частотные планы: двухчастотный, четырехчастотный или шестичастотный.

Шестичастотный план применяется на линиях связи гораздо реже, чем двухчастотный или четырехчастотный. Он применяется, как правило, при организации малоканальных линий связи на трассах со сложным рельефом местности, например, при организации линий связи вдоль линий электропередач, либо трасс газопроводов в сложной горно-лесистой местности или же вдоль сложного речного побережья и т.п.

В Российской Федерации для строительства РРС прямой видимости диапазонов 70 МГц, 160 МГц и 450 МГц (или 0,4 ГГц) должны применяться частотные планы, отвечающие требованиям национальных стандартов и решений Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ).

В других диапазонах (в частности, 2 ГГц, 7 ГГц, 8 ГГц, 10 ГГц, 11 ГГц, 13 ГГц, 15 ГГц, 18 ГГц и т.д.) для строительства РРС прямой видимости должны применяться частотные планы, отвечающие требованиям Рекомендаций МСЭ-R (например, F.283, F.385 и т.д.).

Радиорелейные системы по архитектуре построения сетей (линий) связи делятся на системы класса «точка - точка» и «точка – многоточка».

В первом случае РРС прямой видимости используются для построения линейных систем (линий связи) с любым количеством пролетов и любой протяженности, вплоть до многих тысяч километров.

Во втором случае РРС используются, в основном, для построения локальных сетей. Они могут использоваться, например, в сотовых сетях сухопутной подвижной радиосвязи для организации каналов (линий) связи между центрами коммутации и базовыми станциями. Это позволяет всегда оперативно организовывать каналы связи всякий раз при перемещении базовых станций, например, при перепланировании сетей мобильной связи, проводимого для улучшения покрытия с целью повышения качества мобильной связи или при вводе в действие новых базовых станций. Такие РРС имеют радиус действия несколько десятков километров и чаще всего бывают однопролетными.

Классификация по используемым диапазонам (полосам) радиочастот РРС прямой видимости (табл. 1.1) основана на перечислении полос радиочастот, которые при определенных условиях могут быть использованы РРС в нашей стране (приведенные данные относятся к РРС прямой видимости «точка - точка»)

Таблица 1.1

Диапазон	Полосы радиочастот	Диапазон	Полосы радиочастот
70 МГц	60-70 МГц	13 ГГц	12,75-13,25 ГГц
160 МГц	150,0625-150,4875 МГц; 165,0625-165,4875 МГц	15 ГГц	14,5-15,35 ГГц
160 МГц	150,5-151,7; 165,5-166,7 МГц	18 ГГц	17,7-19,7 ГГц
450 МГц	394-410 ; 434-450 МГц	23 ГГц	21,2-23,6 ГГц
1,5 ГГц	1427-1530 МГц	25 ГГц	24,25-25,25 ГГц
2 ГГц	1700-2100 МГц		24,25-26,5 ГГц
4 ГГц	3400-3900 МГц	26 ГГц	25,25-27,5 ГГц
	3600-4200 МГц	28 ГГц	27,5-29,5 ГГц
5 ГГц	4400-5000 МГц	31 ГГц	31,0-31,3 ГГц
6 ГГц	5670-6170 МГц	36 ГГц	36-37 ГГц
	5925-6425 МГц	38 ГГц	37-39,5 ГГц
	6425-7110 МГц	40 ГГц	39,5-40,5 ГГц
7 ГГц	7250-7550 МГц	43 ГГц	42,5-43,5 ГГц
8 ГГц	7900-8400 МГц	58 ГГц	57,2-58,2; 58,2-59 ГГц
10 ГГц	10,38-10,68; 10,5-10,68 ГГц	60 ГГц	58,25-63,25 ГГц
11 ГГц	10,7-11,7 ГГц	70-80 ГГц	71-76 ГГц и 81-86 ГГц
12 ГГц	11,7-12,5 ГГц	95 ГГц	92-95 ГГц

В отдельных случаях действующими РРС в диапазоне 2 ГГц используются полосы радиочастот 2100-2300 МГц, 2300-2500 МГц и 2500-2700 МГц.

Для тропосферных РРС в нашей стране «Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации» [3] в диапазоне 4 ГГц определены полосы радиочастот 4435-4555 МГц и 4630-4750 МГц.

2. ЧАСТОТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РРС В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

2.1 Общие сведения о частотном обеспечении РРС

В России РРС могут использовать полосы радиочастот фиксированной службы.

Распределение полос радиочастот для радиослужб осуществляется на международном и национальном уровнях.

На международном уровне распределение полос радиочастот осуществляется Международным союзом электросвязи (МСЭ). Это распределение в форме Таблицы с примечаниями публикуется в международном Регламенте радиосвязи.

В региональном масштабе (например, в Европе) распределение полос радиочастот осуществляется региональными организациями.

На национальном уровне в Российской Федерации действует «Таблица распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации». Таблица утверждается Правительством РФ [3] и подлежит пересмотру не реже одного раза в четыре года.

Фиксированная служба включает в себя не только радиорелейные, но и различные другие системы, например, радиодоступа, охранно-пожарной сигнализации т.д. Поэтому РРС должны использовать выделенные именно им полосы частот, распределенные для фиксированной службы.

На основе таблиц распределения полос частот между радиослужбами разрабатываются планы распределения полос частот между различными типами РЭС, в которых указываются конкретные полосы частот, в том числе и для РРС. Примером может служить План распределения полос радиочастот между РЭС гражданского назначения в диапазоне 160 МГц, который утвердила ГКРЧ решением № 09-03-001-1 от 28.04.2009. В нем приведены полосы радиочастот, предусмотренные для использования малоканальными РРС прямой видимости. Наличие в Таблице или в Пlane полос радиочастот для РРС не дает права использования этих полос радиочастот без получения разрешений.

В Таблице 1.1 приведены разрешенные в России диапазоны (полосы) частот, а в Таблице 2.1 приведены полосы радиочастот, по которым приняты обобщенные решения ГКРЧ (с указанием рекомендаций МСЭ-R по планам частот для РРС) и номеров обобщенных Решений ГКРЧ.

Загруженность участков радиочастотного спектра различна. Исторически освоение этих диапазонов осуществлялось по принципу «снизу - вверх», т.е. сначала появлялось оборудование низких диапазонов частот, затем более высоких. Это объясняется еще и тем, что в низких диапазонах частот (от 2 до 8 ГГц) удается достигать дальностей передачи (пролета) до 40-70 км, а в более высоких участках (от 15 ГГц и выше) дальность связи существенно снижается. В результате сегодня наблюдается дефицит частот в наиболее освоенных (до 15 ГГц) участках спектра. Данная проблема характерна не

только для нашей страны, но в России она усугубляется еще и тем, что диапазоны до 15 ГГц прочно освоены радиосредствами различных государственных структур.

Таблица 2.1

Полосы радиочастот	Номер решения ГКРЧ и дата	Рекомендация МСЭ-R по частотным планам РРС
60-70 МГц	05-09-02-001 от 24.10.2005	-
150,0625-150,4875 МГц 165,0625-165,4875 МГц	09-03-01-1 от 28.04.2009	-
150,5-151,7 МГц 165,5-166,7 МГц	09-03-01-1 от 28.04.2009	-
394-410 МГц 434-450 МГц	04-03-04-002 от 06.12.2004	-
3600-4200 МГц	09-05-08-1 от 15.12.2009	F. 382 и/или F.635
4400-5000 МГц	09-05-08-2 от 15.12.2009	F. 1099 и/или F.746
5925-6425 МГц	09-04-06-1 от 19.08.2009	F. 383
6425-7125 МГц	12-15-05-2 от 02.10.2012	F. 384
7250-7550 МГц	09-04-06-2 от 19.08.2009	F. 385
7900-8400 МГц	09-01-06 от 20.01.2009	F. 386
10,38-10,68 ГГц	10-06-07 от 19.02.2010	F. 746
10,5-10,68 ГГц	10-06-07 от 19.02.2010	F. 747
10,7-11,7 ГГц	09-03-04-1 от 28.04.2009	F. 387
12,75-13,25 ГГц	09-02-08 от 19.03.2009	F. 497
14,5-15,35 ГГц	08-23-09-001 от 26.02.2008	F. 636
17,7-19,7 ГГц	07-21-02-001 от 25.06.2007	F. 595
21,2-23,6 ГГц	06-16-04-001 от 04.09.2006	F. 637
24,25-25,25 ГГц	09-03-04-2 от 28.04.2009	F. 748
24,25-26,5 ГГц	09-03-04-2 от 28.04.2009	F. 748
25,25-27,5 ГГц	09-03-04-2 от 28.04.2009	F. 748
27,5-29,5 ГГц	09-03-04-2 от 28.04.2009	F. 748
36-37 ГГц	06-14-02-001 от 29.05.2006	F. 749
37-39,5 ГГц	06-14-02-001 от 29.05.2006	F. 749
39,5-40,5 ГГц	06-14-02-001 от 29.05.2006	F. 749
57,2-58,2 ГГц	06-13-04-001 от 24.04.2006	F. 1497
58,25-63,25 ГГц	11-13-06-1 от 20.12.2011	
71-76 и 81-86 ГГц	10-07-04-1 от 15.07.2010	F. 746
92-94 и 94,1-95 ГГц	10-07-04-2 от 15.07.2010	-

Отсюда можно сделать вывод, что предварительный выбор типа оборудования, требуемой дальности и устойчивости связи и частотного диапазона должен производиться очень тщательно, так как возможность получения частотного присвоения напрямую зависит от степени загруженности выбранного участка спектра.

РРС часто используют полосы частот совместно с РЭС других служб, например, космических. Из-за этого на параметры РРС налагаются ограничения, например, на величину излучаемой мощности передатчика, угол

места и др. Могут изменяться условия использования полос радиочастот, например, полосы могут выделяться не на первичной, а на вторичной основе.

Ограничения вводят на национальном и на международном уровнях. В России ограничения вводят решениями ГКРЧ. Так, например, в полосах частот 60-70 МГц либо 10,38-10,68 МГц РРС разрешено использовать на вторичной основе, т. е. на условиях исключения возможности создания недопустимых помех другим РЭС, работающим в этих полосах радиочастот. В полосах 394-410 МГц и 434-450 МГц РРС не могут быть использованы в пределах 350 км от г. Москвы.

РРС используют частоты в пределах выделенной полосы в соответствии с частотными планами или планами размещения частот радиостволов.

Наличие частотных планов облегчает решение задач электромагнитной совместимости РРС между собой и с другими РЭС, например, с РЭС систем беспроводного доступа.

На протяжении многих лет МСЭ-R разрабатываются частотные планы РРС прямой видимости, которые принимаются в виде рекомендаций МСЭ-R. Материалы с планами размещения частот стволлов публикуются в Рекомендациях серии «F».

В Рекомендациях МСЭ-R не всегда находят отражение различия размещения частот радиостволов, существующие в отдельных странах, поэтому в Российской Федерации для некоторых диапазонов есть свои частотные планы.

В подавляющем большинстве современных РРС применяются планы с разделенными (разнесенными) частотами приема и передачи. В этом случае частоты приема размещены в одной половине диапазона, а частоты передачи – в другой половине диапазона.

Частоты, располагающиеся в нижней (более низкочастотной) половине диапазона, принято называть «нижними» частотами и обозначать индексом «н» (при этом перед этим индексом указывается номер частоты ствола: например, «1н»). Частоты, располагающиеся в верхней (более высокочастотной) половине диапазона, принято называть «верхними» частотами. Их принято обозначать индексом «в» (с указанием номера частоты ствола: например, «3в»).

1н 2н 3н 4н 5н 6н 1в 2в 3в 4в 5в 6в

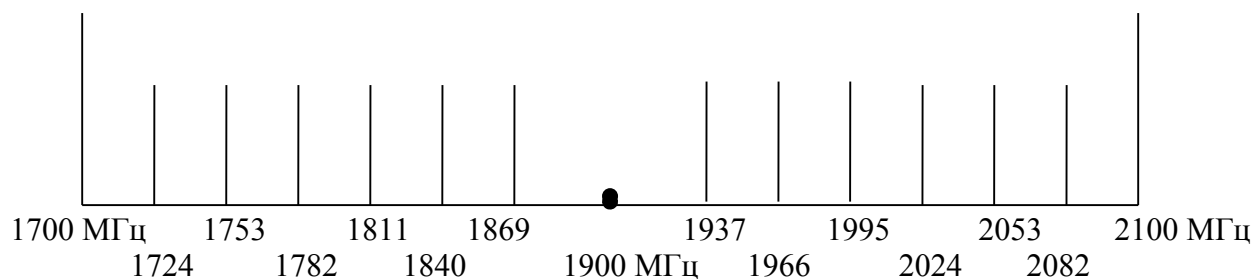


Рис.2.1 Пример частотного плана РРС прямой видимости

Пример частотного плана для РРС прямой видимости в полосе частот 1700-2100 МГц приведен на рисунке 2.1. Этот план содержит 12 номиналов частот - по 6 частот в каждой половине полосы. Таким образом, всего в частотном плане содержится 6 пар частот (или 6 стволов), позволяющих осуществлять как прием, так и передачу сигнала.

Рассмотрим в качестве примера частотные планы РРС прямой видимости в полосе 1700-2100 МГц.

Каждый частотный план РРС характеризуется шагом сетки частот (разнос частот между соседними стволами) и дуплексным разнесом (разнос между частотами приема и передачи одного и того же ствола). В полосе 1700-2100 МГц (рис. 2.1) шаг сетки частот составляет 29 МГц, а дуплексный разнос равен 213 МГц. Важно, насколько первый номинал частоты отстоит от нижней границы полосы (диапазона), а последний – от верхней границы и должна быть известна величина промежутка между последним номиналом частоты нижней половины полосы частот и первым номиналом верхней. Для этого примера: 24 МГц, 18 МГц и 68 МГц соответственно. Любой частотный план содержит формулу расчета номиналов частот радиостволов или значения номиналов частот стволов.

План размещения стволов РРС в полосе 1700-2100 МГц соответствует Рекомендации F.382 МСЭ-R [6].

Одна и та же Рекомендация может содержать несколько вариантов частотных планов. Рекомендация F.382 МСЭ-R содержит два частотных плана РРС. Второй план смещен относительно первого плана (рис. 2.1) на величину 14,5 МГц, так что номиналы частот стволов второго частотного плана располагаются на 14,5 МГц ниже номиналов основных частот стволов. За счет смещения частотного плана получают дополнительные 6 стволов.

Первый частотный план называют «основным», а второй – «смещенным», «сдвинутым» или «дополнительным». Если первый номинал частоты основного плана равен 1724 МГц, то первый номинал смещенного плана будет иметь значение 1709,5 МГц. Шаг сетки частот и дуплексный разнос неизменны.

При применении РРС меньшей емкости в частотные планы вносятся дополнительные стволы, т.е. увеличивается количество стволов в частотных планах. Добавленные стволы размещаются между стволами основного частотного плана. В диапазоне 13 ГГц для РРС прямой видимости в полосе радиочастот 12,75-13,25 ГГц в соответствии с Рекомендацией F.497 МСЭ-R [11] частотный план предусматривает 8 пар частот (8 стволов) с шагом сетки частот 28 МГц.

Для РРС меньшей емкости, номиналы частот дополнительных стволов размещаются между частотами основного плана, располагаясь на 14 МГц выше частот основного плана.

Если требуются стволы еще меньшей емкости, то используется частотный план, номиналы частот стволов которого размещаются между номиналами частот стволов предыдущего частотного плана. Шаг сетки частот

составляет 7 МГц. При еще меньшей емкости стволов используется частотный план с шагом сетки 3,5 МГц. Иногда при совсем малой емкости стволов применяется частотный план, имеющий шаг сетки 1,75 МГц.

Частотные планы обычно используют частотный дуплекс. Рекомендациями МСЭ допускается использование временного дуплекса для РРС. Например, временной дуплекс разрешен в диапазоне 57,2-58,2 ГГц (Рекомендация F.1497 МСЭ).

Мощность передатчиков РРС в этом диапазоне составляет величину менее 10 мВт. Частотный план РРС определяет 10 дуплексных стволов через 100 МГц или 20 дуплексных стволов через 50 МГц.

Благодаря технологии предварительного прослушивания каналов и перестройки на канал с лучшим качеством РРС этого диапазона самостоятельно решают проблему электромагнитной совместимости. Поэтому с технической точки зрения частотное планирование не требуется, однако расчеты ЭМС при выдаче Заключений о возможности использования частот в ГРЧЦ проводятся.

Полосы радиочастот для РРС выделены от 60 МГц до 95 ГГц, и их использование регламентируются документами МСЭ и нормативно-техническими документами (НТД) Российской Федерации.

Пользователи радиочастотным спектром заинтересованы в упрощении процедуры получения частот, так как это приводит к сокращению сроков получения разрешений на использование частот и увеличению доходов всех участников рынка.

В таблице 2.2 представлены этапы упрощения процедуры получения частот для РРС по сравнению с общим порядком.

Если на условной временной шкале расположить все процессы, которые необходимо выполнить для сдачи РРЛ в эксплуатацию, то наиболее длительным окажется процесс получения частот. В общем случае для сдачи РРЛ в эксплуатацию требуется предоставить Разрешение Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзора), проект с положительным заключением экспертизы, свидетельство о регистрации РРС. Временные затраты на получение частот могут составлять до 1,5 лет.

Если получения частного Решения ГКРЧ не требуется, то длительность процедуры получения частот сокращается до 1 года.

Если из процедуры назначения частот исключается согласование с силовыми ведомствами, то длительность сокращается более чем на 3 месяца.

В случае исключения необходимости получения разрешения на использование частот РРС требуется только зарегистрировать. Длительность получения частот в таком случае составляет до 10 дней.

Таблица 2.2

Этапы упрощения процедуры получения частот для операторов связи

1 этап (допуск на рынок по общим правилам)	2 этап (упрощение для РРС с установленными в обобщенном Решении ТХ)	3 этап (упрощение для гражданских РРС в полосах ГР)	4 этап (упрощение для РРС в диапазонах частот выше 40 ГГц)	5 этап (упрощение для РРС с динамическим назначением частот и интеллектуальными антеннами)
Обобщенное Решение ГКРЧ Частное Решение ГКРЧ -заключение ГРЧЦ -заключение ГШ -заключение ШО -заключение ФСО - разрешение РКН -регистрация РЭС в РКН	Обобщенное Решение ГКРЧ -заключение ГРЧЦ -заключение ГШ -заключение ШО -заключение ФСО - разрешение РКН -регистрация РЭС в РКН	Обобщенное Решение ГКРЧ -заключение ГРЧЦ - разрешение РКН -регистрация РЭС в РКН	Обобщенное Решение ГКРЧ -регистрация РЭС в РКН	Обобщенное Решение ГКРЧ -регистрация РЭС в РКН

1 этап. Осуществляется допуск РРС на рынок, определяются и исследуются характеристики РРС на предмет возможности упрощения организационных процедур в дальнейшем.

2 этап. В обобщенных Решениях ГКРЧ определяются технические характеристики, при которых всем пользователям спектром не требуется получения частных Решений ГКРЧ для РРС как отечественного так и зарубежного производства. Для РРС отечественного производства изготовители оборудования получают частное Решение ГКРЧ на производство РРС, в котором указываются тип, характеристики РРС, и условия для операторов связи, при которых не требуется получение частного Решения ГКРЧ.

3 этап. За счет перевода полосы частот выделенной для применения РРС сокращаются операции согласования с силовыми ведомствами.

4 этап. В полосах частот выше 40 ГГц распространение радиоволн происходит практически без отражений и при диаметре антенн 60 см коэффициент усиления составляет 40 и более дБ. Поэтому при длине пролета до 10 км «засветка» в главном луче диаграммы направленности составляет до 300 м. Это позволяет назначать одну и ту же частоту для РРС размещаемых не ближе 300 м. При меньших длинах пролетов расстояния между РРС пропорционально сокращаются. Аналогично с повышением частоты расстояние между соседними РРС также уменьшается.

5 этап. При динамическом назначении частот в диапазонах частот выше 30 ГГц создание недопустимых взаимных помех практически невозможно (плотность установки РРС: одна на 30 м на одной частоте). Для РРС любых диапазонов исключение помех возможно благодаря использованию интеллектуальных антенн (мешающие сигналы подавляются на 20...40 дБ, поэтому плотность установки РРС увеличивается до 1 на 10 м).

За счет ввода ограничений на характеристики РРС и их совершенствования процедуры могут быть сильно упрощены.

2.2. Получение частот для РРС

До строительства радиорелейной линии должно быть оформлено право на использование радиочастотного спектра.

Федеральным законом «О связи» [1] установлено, что право на использование радиочастотного спектра предоставляется посредством выделения полос радиочастот и присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов. Использование радиочастотного спектра без разрешения не допускается.

Выделение полос радиочастот для РРС осуществляется ГКРЧ.

Выделение полос радиочастот оформляется решением ГКРЧ с перечислением условий, при которых разрешается использование выделенной полосы радиочастот.

Назначение для РРС номиналов радиочастот в выделенной полосе частот осуществляет Роскомнадзор на основании заключений ГРЧЦ и радиочастотных центров (РЧЦ) федеральных округов.

Решение Роскомнадзора о присвоении номиналов частот оформляется в виде разрешения на использование радиочастот или радиочастотных каналов.

Порядок использования частот РРС определяется действующим законодательством: ФЗ «О связи», Постановлениями правительства РФ и Решениями ГКРЧ.

Оператору связи для применения РРС обычно требуется получение Решения ГКРЧ, Заключения ГРЧЦ, Разрешения Роскомнадзора и Свидетельства о регистрации Территориального управления по надзору в сфере связи.

Временные затраты на получение частот определяются набором проводимых работ и составляют от десяти дней до полутора лет (получение частного Решения ГКРЧ 3-5 месяцев, получение заключения ГРЧЦ и всех согласований 3-10 месяцев, получение Разрешения на использование частот 1,5 – 4 месяца, Регистрация РРС – 10 дней).

Временные затраты на выделение полос частот для применения РРС, согласование частотных присвоений и выдачу разрешений на использование частот должны быть сопоставимы со сроками строительства.

Основным путем уменьшения сроков получения частотных разрешений является обоснованное исключение из общего процесса оформления разрешительных документов некоторых этапов.

Рассмотрим особенности процедур получения частот и проследим тенденции, связанные с возможностями сокращения сроков рассмотрения заявок на использование частот.

Полосы радиочастот выделяются решениями ГКРЧ. Решения ГКРЧ могут быть частными и обобщенными.

При принятии частных решений ГКРЧ выделяется полоса частот для конкретного заявителя. Если другому заявителю требуется та же полоса частот для тех же целей, то ГКРЧ обязано заново проводить рассмотрение заявки. Так

как условия использования выделенной полосы частот для всех пользователей спектра, как правило, одинаковы, то затраты времени (от трех месяцев и более) и сил на получение и рассмотрение частных решений ГКРЧ по однотипным ситуациям оказываются не оправданными.

Поэтому для упрощения процедуры доступа к частотам ГКРЧ принимает «обобщенные» решения. Принятие обобщенных решений позволяет сократить время на подготовку и прохождение заявок на получение частот.

Например, может быть принято решение о выделении полосы радиочастот для РРС без оформления каких-либо отдельных решений каждому конкретному пользователю. Такое решение ГКРЧ выделяет полосу частот для конкретных типов РРС всем пользователям.

Принятие обобщенных решений осуществляется на основе анализа результатов эксплуатации РРС и условий обеспечения ЭМС с РЭС другого назначения в разрешенных полосах радиочастот или результатов научно-исследовательских работ.

При наличии обобщенного решения получать частные решения ГКРЧ не требуется. Частное решение придется получать, если обобщенного решения нет или технические характеристики не соответствуют значениям, приведенным в обобщенном решении.

Обобщенные решения уточняют с учетом изменения электромагнитной обстановки, внедрения новых радиотехнологий, совершенствования нормативно-правовой базы в области распределения и использования радиочастотного спектра, при окончании срока их действия или по результатам научно-исследовательских работ.

Для получения частного решения ГКРЧ заявитель должен представить в ГКРЧ радиочастотную заявку. Рассмотрение заявок организует аппарат ГКРЧ в соответствии с Регламентом работы ГКРЧ и действующим Положением о выделении частот.

По итогам предварительного анализа заявки (10 рабочих дней) аппарат ГКРЧ направляет материалы радиочастотной заявки на экспертизу в Минобороны, ФСО, Роскомнадзор и остальным членам ГКРЧ.

Техническая экспертиза материалов заявки, оценка возможности обеспечения ЭМС заявляемых РРС с другими РЭС, а также подготовка заключения экспертизы и направление его в аппарат ГКРЧ проводятся в течение двух месяцев.

После получения заключений от всех членов ГКРЧ, которым были направлены материалы радиочастотной заявки, аппаратом ГКРЧ в течение 10 рабочих дней должен быть подготовлен проект решения для его дальнейшего рассмотрения на заседании ГКРЧ. В проекте решения учитываются все замечания и предложения членов ГКРЧ.

Проект решения рассматривается на одном из заседаний, где принимается решение ГКРЧ на выделение полосы радиочастот для РРС. Если принято решение об отказе в выделении полосы радиочастот - в тексте решения указывается причина такого отказа.

Принятое решение ГКРЧ направляется заявителю.

Выделение полосы радиочастот осуществляется на десять лет или на меньший заявленный срок, но не более срока возможного применения радиотехнологии в соответствии с международными обязательствами и нормативно правовыми актами РФ.

Следует отметить, что в последнее время частных решений практически не выдается. Как правило, в решении ГКРЧ имеется формулировка «для неопределенного круга лиц». Т.е. данным решением могут пользоваться все физические и юридические лица.

Присвоение радиочастот для РРС осуществляется в соответствии с Порядком проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот [5]. Радиочастоты для РРС могут быть назначены только при положительном заключении радиочастотной службы.

Для получения заключения радиочастотной службы заявители представляют в ГРЧЦ или РЧЦ радиочастотную заявку (РЧЗ) в составе:

1. Письмо, в котором указывается регистрационный номер и дата отправки письма, организационно-правовая форма юридического лица, его полное и краткое наименования и место нахождения, контактная информация о заявителе;
2. Исходные данные по установленным формам (приложения №№ 1-14);
3. Копия решения ГКРЧ, если необходимо частное решение ГКРЧ.
4. Пояснительная записка, в которой приводится обоснование запрашиваемого количества радиочастот или радиочастотных каналов; информация о назначении планируемой радиосети (радиолинии); о заявляемой деятельности; особенностях применяемых РЭС и другая необходимая информация.
5. Копия выписки из единого государственного реестра юридических лиц.

Вариант документов РЧЗ на экспертизу возможности использования заявленных РЭС фиксированной службы представлен в Приложении № 1.

До 1 апреля 2013 года в полосах радиочастот 60,0 – 70,0 МГц, 150,0625 – 150,4875 МГц; 165,0625 – 165,4875 МГц, 150,5 – 151,7 МГц и 165,5 – 166,7 МГц радиочастотные заявки направлялись в РЧЦ федеральных округов, сейчас же все экспертизы осуществляет ГРЧЦ.

По каждому обращению заявителей выполняются следующие работы:

- проверка соответствия представленных документов заявителя требованиям Положения и их предварительный анализ;

- проверка плана частотно-территориального размещения заявленных РЭС с использованием геоинформационных систем на соответствие мест размещения РЭС;
- оценка электромагнитной обстановки и необходимости проведения расчетов ЭМС РЭС гражданского назначения и международной правовой защиты присвоений радиочастот или радиочастотных каналов;
- устанавливается необходимость определения условий ЭМС заявленных РЭС с РЭС специального назначения и/или необходимость направления материалов заявителя в ФСО, ФСБ и Минобороны для проведения последним процедуры согласования планируемых присвоений (назначений) радиочастот или радиочастотных каналов.

Проведение расчетов ЭМС с РЭС гражданского назначения проводится при первичном обращении заявителей за получением заключений экспертизы, при изменении места размещения и характеристик излучения или приема используемых РЭС в ранее выданном заключении экспертизы или разрешении на использование частот.

При повторном обращении заявителей за получением заключений экспертизы по результатам проведения процедуры международно-правовой защиты или по результатам проведения натурных испытаний на ЭМС с РЭС специального назначения проведение расчетов ЭМС, как правило, не требуется.

Заявители обращаются в организацию радиочастотной службы для получения заключения экспертизы в следующих случаях:

- в связи с построением новых сетей радиосвязи в регионе или в отдельном населенном пункте;
- по результатам проведения натурных испытаний РЭС заявителя с РЭС Минобороны, ФСО или ФСБ, а также РЭС других заявителей;
- по результатам проведения процедуры международной координации РЭС заявителя с РЭС администраций связи иностранных государств;
- при замене и внесении типа оборудования в ранее выданное заключение экспертизы.

Основанием для проведения работ является подписанный представителями ГРЧЦ или РЧЦ и заявителя договор об оказании услуг.

Определение необходимости проведения расчетов ЭМС, подготовка и направление заявителю соответствующих договорных и платежных документов, необходимых для исполнения ГРЧЦ своих полномочий, осуществляется в течение 10 рабочих дней с момента поступления материалов заявителя.

Расчет ЭМС начинается с момента оплаты счета и включает:

- анализ электромагнитной обстановки в районе размещения заявленных РЭС, подбор номиналов либо полос частот для них;
- оценка ЭМС заявленных РЭС с действующими и планируемыми РЭС гражданского назначения, определение условий их использования;
- определение необходимости МПЗ частотных присвоений заявленных РЭС.

Анализ электромагнитной обстановки производится на основании плана частотно-территориального размещения заявленных РЭС для определения РЭС, потенциально несовместимых с заявленными. Анализ производится во всех полосах потенциально возможных рабочих частот заявленных РЭС.

Оценка ЭМС заявленных РЭС и потенциально несовместимых с ними действующих и планируемых РЭС выполняется с использованием норм частотно-территориального разнота (ЧТР) либо методик расчетов ЭМС.

По результатам оценки ЭМС определяются условия использования РЭС. Для обеспечения ЭМС с действующими и планируемыми РЭС условия использования заявленных РЭС могут включать ограничения на энергетические, пространственные, частотные и временные параметры работы РЭС.

Решение о необходимости международно-правовой защиты (МПЗ) частотных присвоений принимается по критериям, зафиксированным в соглашениях, заключенных Администрацией связи РФ с Администрациями связи других государств. При отсутствии таких соглашений критерии определяются рекомендациями международных организаций, которые одобрены Администрацией связи России. Для принятия решения, так же как и при оценке ЭМС, проводятся расчеты, суть которых заключается в определении напряженности поля, создаваемого заявленными РЭС на линии границы и в других контрольных точках.

В случае превышения расчетными значениями напряженности поля допустимых показателей на РЭС налагаются ограничения, обусловленные необходимостью выполнения соглашений по совместному использованию радиочастотного спектра с сопредельными государствами.

При невозможности наложения ограничений необходимо проводить МПЗ. При проведении расчетов ЭМС РЭС заявителя с РЭС гражданского назначения учитывается каждое пожелание заявителя, изложенное в пояснительной записке.

В следующей таблице приведены значения координационных расстояний для РЭС фиксированной службы различных диапазонов.

№ п/п	Диапазоны частот, ГГц	Координационное расстояние, км
1	от 1,0 до 5,0	200,00
2	от 5,0 до 10,0	150,00
3	от 10,0 до 12,0	100,00
4	от 12,0 до 20,0	80,00
5	от 20,0 до 24,5	60,00
6	от 24,5 до 30,0	40,00
7	от 30,0 до 39,5	30,00

Срок выполнения работ по расчету ЭМС и определению необходимости проведения МПЗ частотных присвоений исчисляется с даты исполнения заявителем договорных обязательств (оплаты счета) и составляет 20 рабочих дней. Результаты расчетов ЭМС в виде пакетов документов организация радиочастотной службы направляет в адрес заявителя.

В соответствии с Положением планируемые частотные присвоения РЭС гражданского назначения в полосах категории «ПР» и «СИ» подлежат согласованию с Минобороны, а места размещения РЭС – с ФСО и ФСБ.

Для проведения согласования планируемых присвоений радиочастот с Минобороны ГРЧЦ формирует пакет документов в составе исходных данных по форме ИД-ФС, пояснительной записки и копии решения ГКРЧ, который направляет в Роскомнадзор.

Роскомнадзор полученные документы направляет в главный радиочастотный орган Министерства обороны РФ – Управление начальника войск РЭБ Генерального штаба (в/ч 21882).

Для проведения согласования мест размещения планируемых к использованию РЭС гражданского назначения организация радиочастотной службы формирует пакеты документов аналогичного содержания, которые направляет в уполномоченные территориальные органы ФСО и ФСБ.

Согласование мест размещения стационарных РЭС гражданского назначения проводится:

- с ФСО и ФСБ – для РЭС, размещаемых на территории городов Москвы и Санкт-Петербурга;
- с ФСО – для РЭС, размещаемых на высотных зданиях и высотных опорах в столицах республик, краевых, областных и районных центрах, а также на объектах, где установлены РЭС ФСО и находящихся на его радиочастотном обеспечении органов исполнительной власти.

Радиочастотные органы Минобороны, ФСО и ФСБ после получения материалов радиочастотной заявки в срок не более 55 рабочих дней с момента их получения организуют подготовку заключения экспертизы о возможности использования планируемых частотных присвоений заявленным РЭС

гражданского назначения и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС правительственного назначения.

Заключения Минобороны и ФСО должны содержать однозначный вывод:

- либо о возможности присвоения (назначения) запрашиваемых радиочастот или радиочастотных каналов;
- либо о возможности присвоения (назначения) запрашиваемых радиочастот или радиочастотных каналов с учетом наложенных ограничений;
- либо о невозможности присвоения (назначения) запрашиваемых радиочастот или радиочастотных каналов;
- либо о необходимости проведения натурных испытаний на ЭМС заявляемых РЭС с действующими радиоэлектронными средствами военного и государственного управления.

Выводы, содержащиеся в заключениях о возможности согласования использования радиочастот и мест установки РЭС гражданского назначения, подготовленные Минобороны и ФСО, ФСБ обязательно учитываются в заключениях экспертизы.

По результатам анализа поступивших из Минобороны, ФСО и ФСБ документов о согласовании, ГРЧЦ направляет заявителю счет.

После оплаты заявителем счета ГРЧЦ оформляет заключение экспертизы о возможности использования РЭС.

Заключение экспертизы имеет срок действия не более 6 месяцев.

В заключении экспертизы указываются реквизиты обращения заявителя (номер и дата, решения ГКРЧ, тип оборудования и регион построения сети), условия возможного использования радиочастот или радиочастотных каналов (номера согласований Минобороны, ФСО и ФСБ), а также частотно-территориальный план РЭС. Если заключение экспертизы содержит более одного листа, его брошюруют, заверяют подписью заместителя директора и печатью ГРЧЦ.

Заключение экспертизы оформляется на юридическое лицо независимо от лица, представившего документы заявителя. При представлении документов заявителя обособленным подразделением юридического лица в заключении экспертизы по обращению юридического лица дополнительно указывается наименование обособленного подразделения.

Решение о присвоении частот или каналов для РЭС гражданского назначения принимается Роскомнадзором по заявлениям граждан или юридических лиц.

Для получения разрешения на использование радиочастот заявители представляют в Роскомнадзор заявку:

- на присвоение радиочастот или радиочастотных каналов;
- на продление срока действия разрешения;
- на переоформление разрешения на использование радиочастот;
- на внесение изменений в разрешение на использование радиочастот;
- на прекращение разрешения на использование радиочастот.

Заявка содержит:

1. Заявление.
2. Заверенную печатью и подписью юридического лица копию заключения экспертизы ГРЧЦ или РЧЦ о возможности использования заявленных РЭС и об их ЭМС с действующими и планируемыми к использованию радиоэлектронными средствами; копию разрешения на использование радиочастот.
3. Копию документа о подтверждении соответствия в области связи на заявляемое РЭС (сертификат или декларацию) в случае использования в сети связи общего пользования.
4. Копию лицензии на осуществление деятельности в области оказания услуг связи с приложениями, в случае осуществления такой деятельности с использованием радиочастотного спектра;
5. Выписку из частотно-территориального плана РЭС, с указанием частотных присвоений, использование которых прекращается;
6. Нотариально заверенную копию доверенности от юридического лица на право обращения в Роскомнадзор, в случае обращения филиала или структурного подразделения, а также уполномоченного лица от имени юридического лица.

По каждому обращению заявителей Роскомнадзором проводится проверка соответствия представленных документов заявителя требованиям Положения на полноту, достоверность и правильность оформления.

Заявления, не соответствующие требованиям Положения, возвращаются Заявителю с указанием причин возврата в срок не более 15 рабочих дней с момента их поступления.

По результатам рассмотрения обращения заявителей, но не позднее чем через 45 рабочих дней со дня регистрации в Роскомнадзоре, по основаниям, предусмотренным законодательством, Роскомнадзор принимает положительное или отрицательное (отказ) решение.

Оформленное разрешение на использование радиочастот или радиочастотных каналов направляется заявителю в течение 15 рабочих дней с момента принятия решения.

2.3. Обзор действующих Решений ГКРЧ

Диапазон радиочастот 30-70 МГц

Полоса частот **60-70 МГц** выделена **Решением ГКРЧ № 05-09-02-001 от 24.10.2005 г. «О выделении полосы радиочастот 60-70 МГц для радиорелейных станций прямой видимости гражданского назначения»** для **разработки, производства, модернизации и применения** на территории РФ гражданами и российскими юридическими лицам малоканальных РРС прямой видимости.

Использование полосы 60-70 МГц для применения малоканальных РРС прямой видимости гражданского назначения должно осуществляться **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при выполнении следующих условий:

- соответствия технических характеристик используемых РРС основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.3;
- получения в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании экспертизы о возможности использования заявленных малоканальных РРС прямой видимости и об их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами;
- регистрации малоканальных РРС прямой видимости в установленном порядке;
- радиорелейные станции не должны создавать вредных помех другим РЭС и не могут требовать защиты от вредных помех со стороны других РЭС, использующих выделенную полосу радиочастот.

Таблица 2.3

Основные технические характеристики малоканальных РРС диапазона 60-70 МГц

Наименование параметра	Значение параметра	Единица измерения
Диапазон частот	60–70	МГц
Дуплексный разнос (разнос частот между стволами прямого и обратного направления)	5	МГц
Шаг сетки частот (разнос частот между соседними стволами)	100	кГц
Тип РРС	Аналоговая Цифровая	- -
Количество телефонных каналов (для аналоговых РРС), не более	4	Каналов
Максимальная групповая скорость передачи (исполнение РРС в цифровом варианте), не более	256	кбит/с
Номиналы несущих частот стволов (частотный план)	В соответствии с таблицей 2.10	-
Мощность передатчика, подводимая к фидеру антенны, не более <i>Примечание: в передатчиках РРС должна быть предусмотрена регулировка выходной мощности передатчика, в сторону уменьшения, вплоть до величины 5 Вт</i>	25	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	20×10^{-6}	-
Относительный уровень побочных излучений, не хуже	-70	дБ
Чувствительность приемника РРС, не хуже: - пороговая - реальная	-135 -120 (при с/ш = 30 дБ)	дБВт дБВт
Относительная нестабильность частоты гетеродина, не хуже	20×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	55	дБ
Тип антенны	Не регламентируется	-
Коэффициент усиления антенны - минимальный - максимальный	6 10	дБ дБ
Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, не более	65	Град.

Примечания:

1. Применение малоканальных РРС должно осуществляться на вторичной основе.
2. В целях более эффективного использования частотного ресурса в РРС должны применяться современные методы модуляции, приводящие к экономии частотного ресурса.
3. Настоящий документ не регламентирует наличие или отсутствие в РРС канала служебной связи.

Номиналы частот радиостволов (частотный план) РРС диапазона 70 МГц определены следующим образом:

Номер ствола	Частота ствола, МГц	
	f_n	f_b
1	60,1	65,1
2	60,2	65,2
3	60,3	65,3
4	60,4	65,4
5	60,5	65,5
6	60,6	65,6
7	60,7	65,7
8	60,8	65,8
9	60,9	65,9
10	61,0	66,0
11	61,1	66,1
12	61,2	66,2
13	61,3	66,3
14	61,4	66,4
15	61,5	66,5
16	61,6	66,6
17	61,7	66,7
18	61,8	66,8
19	61,9	66,9
20	62,0	67,0
21	62,1	67,1
22	62,2	67,2
23	62,3	67,3
24	62,4	67,4
25	62,5	67,5

Номер ствола	Частота ствола, МГц	
	f_n	f_b
26	62,6	67,6
27	62,7	67,7
28	62,8	67,8
29	62,9	67,9
30	63,0	68,0
31	63,1	68,1
32	63,2	68,2
33	63,3	68,3
34	63,4	68,4
35	63,5	68,5
36	63,6	68,6
37	63,7	68,7
38	63,8	68,8
39	63,9	68,9
40	64,0	69,0
41	64,1	69,1
42	64,2	69,2
43	64,3	69,3
44	64,4	69,4
45	64,5	69,5
46	64,6	69,6
47	64,7	69,7
48	64,8	69,8
49	64,9	69,9
-	-	-

Международных рекомендаций по частотным планам РРС диапазона частот 60-70 МГц не предусмотрено.

Протяженность трасс таких РРС может достигать 300 км; в них осуществляется до 10 ретрансляций, а дальность связи на одном интервале может достигать 40 км. Мощность передатчиков РРС не превышает 25 Вт, а коэффициент усиления антенн составляет от 6 до 10 дБ.

При применении РРС этого диапазона необходимо учитывать, что полоса радиочастот 58-66 МГц распределена для РЭС телевизионного вещания (2-й ТВК), а полоса радиочастот 66-74 МГц – для РЭС звукового радиовещания.

Также необходимо отметить решение ГКРЧ № 09-03-01-2 от 28.04.2009 «О выделении полос радиочастот 33-48,5 МГц и 57,0125-57,5 МГц для использования радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной и фиксированной служб гражданского назначения».

Характеристики РЭС определены в табл. 2.4.

Процедура применения данных РЭС сопровождается рядом ограничений, в частности:

- применение РЭС, использующих радиочастоты 44,4 МГц и 45,8 МГц, только за пределами 50 км зоны от государственной границы на суше, морского побережья Российской Федерации;

- запрещение присвоения (назначения) радиочастот 33,375 МГц, 35,65 МГц, 39,85 МГц, 39,975 МГц, 40,825 МГц, 41,3 МГц, 41,325 МГц, 47,925 МГц, 47,975 МГц на территории Калининградской области, 57,025 МГц на территории Ивановской и Рязанской областей, 42,475 МГц, 43,175 МГц на территории Приволжского и Уральского федеральных округов;

Ряд частотных присвоений (Приложение 2 к решению ГКРЧ) может осуществляться без согласования с Министерством обороны РФ.

Таблица 2.4

Основные технические характеристики РЭС сухопутной подвижной и фиксированной радиосвязи гражданского назначения в полосах радиочастот 33-48,5 МГц и 57,0125-57,5 МГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полосы частот	33-48,5 57,0125-57,5	МГц МГц
Шаг сетки частот	25 12,5	кГц кГц
Тип станции	Аналоговая Цифровая	
Мощность передатчика, не более: стационарной, базовой станции мобильной (возимой) станции портативной (носимой) станции	60 20 2	Вт Вт Вт
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не более	-60	дБ
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	10×10^{-6}	—
Внеполосные излучения передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые внеполосные излучения	—
Ширина полосы излучения передатчика на уровне -30 дБ, не более: при шаге сетки 25 кГц при шаге сетки 12,5 кГц	18,8 11,8	кГц кГц
Чувствительность приемника при соотношении С/Ш=12 дБ (СИНАД), не хуже	0,8	мкВ
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	70	дБ
Избирательность приемника по побочным каналам приема, не хуже	70	дБ

Диапазон радиочастот 160 МГц

В диапазоне частот 160 МГц предусмотрено функционирование одноканальных и малоканальных РРС. Для одноканальных РРС выделена пара полос радиочастот: 150,0625-150,4875 и 165,0625-165,4875 МГц (одна используется для передачи сигнала в прямом направлении, другая - в обратном). Мощность излучения передатчиков одноканальных РРС не должна превышать 2 Вт; коэффициент усиления антенн - около 9 дБ. Протяженность трасс РРС (с числом ретрансляторов до 10) может достигать 300 км.

Частотный план одноканальных РРС диапазона 160 МГц:

дуплексный разнос равен 15 МГц,

шаг сетки частот - 25 кГц.

Несущие частоты стволов:

«нижние» частоты: $f_{1н}=150,075$; $f_{2н}=150,100$; $f_{3н}=150,125$... $f_{17н}=150,475$ МГц;

«верхние» частоты: $f_{1в}=165,075$; $f_{2в}=165,100$; $f_{3в}=165,125$... $f_{17в}=165,475$ МГц.

Применяются эти РРС обычно в производственно-технологических целях для обеспечения связи при строительстве и эксплуатации трубопроводов, дорог, линий электропередачи и т.п.

Полосы частот 150,0625-150,4875 и 165,0625-165,4875 МГц выделены одноканальным РРС не на исключительной основе. Эти же полосы частот могут использоваться радиосредствами сухопутной подвижной связи и одноканальными радиоудлинителями.

Для малоканальных РРС (емкостью до 4 телефонных каналов) в диапазоне 160 МГц выделены полосы частот 150,5-151,7 и 165,5-166,7 МГц.

Такие РРС предназначены для организации связи при обустройстве нефтегазопромыслов, строительстве трубопроводов, дорог, а также для организации линий связи в других целях.

Мощность передатчиков четырехканальных РРС не должна превышать 3 Вт, коэффициент усиления антенн составляет 9-12 дБ.

Частотный план:

дуплексный разнос - 15 МГц;

шаг сетки частот -100 кГц;

количество стволов - 12.

Несущие частоты стволов:

«нижние»: $f_{1н}=150,55$; $f_{2н}=150,65$; $f_{3н,г}=150,75$... $f_{12н}=151,65$ МГц;

«верхние»: $f_{1в}=165,55$; $f_{2в}=165,65$; $f_{3в}=165,75$... $f_{12в}=166,65$ МГц.

Протяженность трасс РРС с несколькими ретрансляциями достигает 400 км, длина пролета на одном интервале при этом может составлять 30-40 км.

На заседании ГКРЧ 28 апреля 2009 года принято Решение № 09-03-01-1 «О выделении полосы радиочастот 146-174 МГц для использования радиоэлектронными средствами подвижной и фиксированной служб гражданского назначения», которое выделяет полосы частот в диапазоне

160 МГц для различных РЭС, в том числе для РРС прямой видимости без оформления частных решений ГКРЧ.

Более подробно применение РЭС в диапазоне 160 МГц описано в учебном пособии «Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства систем подвижной радиосвязи».

Диапазон радиочастот 450 МГц

Диапазон частот 450 МГц является наиболее загруженным различными РЭС. В нем действуют сотовые сети ИМТ-МС-450 (453-457,4 МГц и 463-467,4 МГц), радиолюбители (430-440 МГц), технологические сети связи (458,45 - 460 МГц и 468,45 - 469 МГц) и ряд других. Работа многих из этих систем (например, сотовых) стала возможна только благодаря перераспределению в их пользу частотного ресурса, ранее предназначавшегося для РРС, которые ранее использовали всю полосу радиочастот 390-470 МГц.

Решение ГКРЧ № 04-03-04-002 от 6.12.2004 г. «О выделении полос радиочастот 394-410 МГц и 434-450 МГц для малоканальных радиорелейных станций прямой видимости» разрешает использование полос радиочастот 394-410 МГц и 434-450 МГц для **разработки, производства, модернизации и эксплуатации** на территории Российской Федерации радиорелейных станций прямой видимости **без оформления частных решений ГКРЧ** на использование полос радиочастот для каждого конкретного типа РРС при выполнении следующих условий:

- технические характеристики разрабатываемых, производимых, модернизируемых и ввозимых из-за границы РРС должны соответствовать основным техническим характеристикам, указанным в таблицах 2.5, 2.6;
- для каждого конкретного типа РРС должно быть наличие подтверждения соответствия указанных РРС установленным в Российской Федерации требованиям;
- включение указанных РРС для работы на излучение с целью их демонстрации или проверки работоспособности должно осуществляться при наличии разрешения Роскомнадзора;
- применение на территории Российской Федерации радиорелейных станций должно осуществляться только гражданами и российскими юридическими лицами, имеющими соответствующие разрешения Роскомнадзора на использование радиочастот;
- при применении РРС должны быть исключены излучения от передатчиков этих РРС в полосе частот 406-406,1 МГц;
- применение РРС должно осуществляться только за пределами зоны радиусом 350 км от центра г. Москвы;
- при эксплуатации РРС должна быть обеспечена защита от помех средств радиоастрономической службы в полосе частот 406,1-410 МГц;

– ввоз из-за границы на территорию Российской Федерации конкретных типов РРС осуществляется в установленном порядке;

– регистрация РРС осуществляется установленным в Российской Федерации порядком.

Конкретные номиналы рабочих частот для РРС при их применении назначаются Роскомнадзором по заключению радиочастотной службы, подготовленному на основании расчетов электромагнитной совместимости этих РРС с другими РЭС этого диапазона, работающими в районе их размещения, с применением разработанных и согласованных установленным порядком условий их совместного использования с РЭС другого назначения.

Места размещения РРС должны быть согласованы в соответствии с Положением и изменениями и дополнениями к нему, утвержденными Постановлением правительства РФ от 5 июня 1994 г. № 643 [2].

Таблица 2.5

Основные технические характеристики малоканальных РРС прямой видимости диапазона 450 МГц

№ пп	Наименование параметра	Значение параметра	Единица измерения
1	Диапазон частот	394-410, 434-450	МГц
2	Дуплексный разнос (разнос частот между стволами прямого и обратного направления)	40	МГц
3	Шаг сетки частот (разнос частот между соседними стволами)	930 465	кГц кГц
4	Тип РРС	аналоговая цифровая	— —
5	Количество телефонных каналов (исполнение РРС в аналоговом варианте), не более	30	каналов
6	Максимальная групповая скорость передачи (исполнение РРС в цифровом варианте), не более	2048	кбит/с
7	Номиналы несущих частот стволов (частотный план) при шаге сетки частот, равном 930 кГц	В соответствии с табл. 2.10	—
8	Номиналы несущих частот стволов (частотный план) при шаге сетки частот, равном 465 кГц	В соответствии с табл. 2.10	—
9	Количество пролетов	не регламентируется	—
10	Общая протяженность (длина) трассы РРС	не регламентируется	—
11	Мощность передатчика, подводимая к фидеру антенны, не более Примечание: в передатчиках РРС должна быть предусмотрена регулировка выходной мощности передатчика в сторону уменьшения, вплоть до величины 0,5 Вт	10	Вт
12	Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	20×10^{-6}	—
13	Относительный уровень побочных излучений, не более	- 70	дБ
14	Тип приемника	супергетеродинны й	—
15	Чувствительность приемника РРС, не хуже: – пороговая – реальная	- 115 - 95	дБВт дБВт

16	Относительная нестабильность частоты гетеродина, не хуже	20×10^{-6}	—
17	Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	60	дБ
18	Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	80	дБ
19	Тип антенны	не регламентируется	—
20	Коэффициент усиления антенны: – минимальный – максимальный	13 19	дБ дБ
21	Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	40	град

Примечание:

1. Малоканальные РРС должны применяться только за пределами зоны радиусом 350 км от центра г. Москвы.
2. В целях более эффективного использования частотного ресурса в РРС должны применяться современные методы модуляции, приводящие к экономии частотного ресурса. Один из рекомендованных видов модуляции – квадратурно-фазовая манипуляция (QPSK).
3. Настоящий документ не регламентирует наличие или отсутствие в РРС канала служебной связи.

Таблица 2.6**Номиналы частот радиостволов РРС**

При шаге сетки частот 930 кГц			При шаге сетки частот 465 кГц		
Номера стволов	Частота ствола, МГц		Номера стволов	Частота ствола, МГц	
	f_H	f_B		f_H	f_B
1	394,650	434,650	1	394,650	434,650
2	395,580	435,580	2	395,115	435,115
3	396,510	436,510	3	395,580	435,580
4	397,440	437,440	4	396,045	436,045
5	398,370	438,370	5	396,510	436,510
6	399,300	439,300	6	396,975	436,975
7	400,230	440,230	7	397,440	437,440
8	401,160	441,160	8	397,905	437,905
9	402,090	442,090	9	398,370	438,370
10	403,020	443,020	10	398,835	438,835
11	403,950	443,950	11	399,300	439,300
12	404,880	444,880	12	399,765	439,765
13	405,810	445,810	13	400,230	440,230
14	406,740	446,740	14	400,695	440,695
15	407,670	447,670	15	401,160	441,160
16	408,600	448,600	16	401,625	441,625
17	409,530	449,530	17	402,090	442,090
			18	402,555	442,555
			19	403,020	443,020
			20	403,485	443,485
			21	403,950	443,950
			22	404,415	444,415
			23	404,880	444,880
			24	405,345	445,345
			25	405,810	445,810
			26	406,275	446,275
			27	406,740	446,740
			28	407,205	447,205
			29	407,670	447,670
			30	408,135	448,135
			31	408,600	448,600
			32	409,065	449,065
			33	409,530	449,530

Диапазон 390-470 МГц используется действующими РРС (например, «Трал-400/24») до конца срока их амортизации. Емкость таких РРС составляет 24 телефонных канала; дуплексный разнос равен 40 МГц при шаге сетки частот 930 кГц, а мощность их передатчиков не превышает величину 3 Вт. Всего в этих РРС предусмотрено 84 фиксированные частоты, однако не все из них могут использоваться. В частности, международным регламентом радиосвязи и национальной «Таблицей распределения...» для аварийных спутниковых радиомаяков-указателей места бедствия в исключительное использование выделена полоса частот 406-406,1 МГц и всякие излучения от РРС в ней запрещены. Поэтому в РРС не могут быть использованы те стволы, излучения от которых попадают в указанную полосу частот.

Кроме того, при назначении частот для РРС должны приниматься все меры по устранению помех спутниковой службе стандартных частот и сигналов времени (400,1+25 кГц). Однако не следует забывать, что в этом диапазоне работают также высокочастотные установки промышленного, научного и медицинского применения (433,05-434,79 МГц).

Несущие частоты стволов РРС следующие:

«нижние»: $f_{1н}=390,93$; $f_{2н}=391,86$... $f_{42н}=429,06$ МГц;

«верхние»: $f_{1в}=430,93$; $f_{2в}=431,86$... $f_{42в}=469,06$ МГц.

Полоса частот 390-470 МГц может использоваться действующими РРС до конца их амортизационного срока.

Диапазон частот 1,5 ГГц

В диапазоне частот 1,5 ГГц частотный план РРС в полосе 1427-1530 МГц соответствует Рекомендации F.746 МСЭ-R [16]. Дуплексный разнос между стволами составляет 65,5 МГц, а шаг сетки частот равен 0,5 МГц.

Последние решения МСЭ, касающиеся диапазона 1,5 ГГц (в частности, о выделении полосы частот 1452-1492 МГц для спутникового и наземного радиовещания), сделали практически невозможным использование полной полосы 1427-1530 МГц. В РФ РРС могут использовать только отдельные участки в пределах полос 1429-1434,5 и 1496-1525 МГц.

Учитывая возможную потребность в применении РРС в диапазоне 1,5 ГГц, Международный союз электросвязи рекомендовал использовать парные полосы радиочастот: 1350-1375 и 1492-1517 МГц (дуплексный разнос 142 МГц), а также 1375-1400 и 1427-1452 МГц (дуплексный разнос 52 МГц). Частотный план РРС определен Рекомендацией F.1242 МСЭ-R [21].

Диапазон частот 2 ГГц

В диапазоне 2 ГГц для РРС выделена полоса частот 1700-2100 МГц. В этом диапазоне могут быть значительные интервалы РРЛ до 50-80 км. Устойчивость распространения радиоволн в сильной степени зависит от

экранирующего действия препятствий на интервалах РРЛ при атмосферной рефракции. В этом диапазоне коэффициенты усиления антенне превышают 35-38 дБ при диаметрах параболических антенн до 5 м.

Мощность передатчиков таких РРС составляет 1,5-6 Вт. Существует два частотных плана для РРС прямой видимости в полосе 1700-2100 МГц. Один из них - для РРС, использующих всю эту полосу полностью (Рекомендация F.382 МСЭ-R [6]), другой - для станций, использующих полосу 1700-1900, либо полосу 1900-2100 МГц (Рекомендация F.283 МСЭ-R - отменена в 2007 г).

За последние годы заметно усилилась тенденция к созданию в диапазоне 2 ГГц сетей подвижной связи. В нем работают беспроводные телефонные аппараты и системы беспроводного доступа технологии DECT (полоса 1880-1900 МГц), сотовые системы стандарта GSM-1800, которые занимают полосы частот 1710-1785 и 1805-1880 МГц, системы сухопутной подвижной связи третьего поколения (отдельные участки в пределах полосы 1920-2170 МГц).

Решениями ГКРЧ (протокол № 8/6 от 27.07.98, протокол № 4/1 от 27.11.2000) в нашей стране **введен запрет на новые разработки и производство РРС в данной полосе, а также на закупку соответствующего зарубежного оборудования.**

Относительно других участков в диапазоне 2 ГГц для РРС прямой видимости можно сказать следующее. Национальной «Таблицей распределения...» ранее была предусмотрена возможность использования РРС отдельных участков в пределах полосы 2100-2700 МГц. Частотные планы для РРС, которые размещаются в этом частотном пространстве, следующие: для полосы 2100-2300 МГц - в соответствии с Рекомендацией F.283 МСЭ-R, для полосы 2300-2500 МГц - в соответствии с Рекомендацией F.746 МСЭ-R, а для полосы 2500-2700 МГц - также в соответствии с Рекомендацией F.283 МСЭ-R. Однако участок радиоспектра 2100-2700 МГц занят другими РЭС. Например, в пределах полосы частот 2500-2700 МГц работают системы эфирно-кабельного телевидения на базе технологии MMDS (как аналоговые, так и цифровые), системы фиксированного и мобильного беспроводного доступа. В пределах полосы 2300-2500 МГц - системы беспроводного доступа (причем, полоса радиочастот 2300-2400 МГц определена для систем фиксированного и мобильного беспроводного доступа, включая технологию WiMAX).

Кроме того, в полосе 2400-2483,5 МГц действуют системы передачи данных различных технологий. Помимо этого в полосе 2400-2500 МГц (средняя частота 2450 МГц) функционируют высокочастотные установки промышленного, научного, медицинского и бытового применения.

Диапазон частот 4 ГГц

В диапазоне частот 4 ГГц работают магистральные системы связи, а также системы беспроводного доступа (полосы частот 3400-3450 и 3500-3550 МГц). Это наиболее освоенный и загруженный РРЛ диапазон частот. Характеризуется возможностью получать довольно протяженные пролеты (40-55 км) при хороших качественных показателях. Остронаправленные антенны (с коэффициентами усиления порядка 40 дБ) обладают значительными габаритами и весом и, следовательно, требуют дорогостоящих антенных опор. На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн.

В соответствии с «Таблицей распределения...» действующими радиорелейными станциями используется полоса частот 3400-3900 МГц. На базе этих РРС строятся магистральные РРС протяженностью несколько тысяч километров. Международные рекомендации по частотному планированию данной полосы для РРС в России не применяются. Для таких систем в нашей стране используется частотный план, определенный для радиорелейных систем типа «Курс-4». Однако новые разработки и закупки оборудования за рубежом должны осуществляться в полосе частот 3600-4200 МГц, а частотный план таких РРС должен соответствовать Рекомендации F.635 МСЭ-R [13], либо F.382 МСЭ-R.

На заседании ГКРЧ 15 декабря 2009 года было принято Решение № 09-05-08-1 **«Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 3600-4200 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, которое выделяет полосу радиочастот 3600-4200 МГц для разработки, производства, модернизации и применения гражданами РФ и юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют приведенным в табл. 2.7.

Таблица 2.7

**Основные технические характеристики радиорелейных станций
диапазона 3600-4200 МГц**

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Полоса радиочастот	3600-4200	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	— —
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	—
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендациями F.382 и/или F.635 МСЭ-R	—
Максимальная мощность передатчика РРС	5	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС	55	дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	—
Относительный уровень побочных излучений передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	—
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	—
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-70	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,0	град

Использование выделенной полосы радиочастот для применения РРС прямой видимости должно осуществляться при выполнении следующих условий:

- соответствие технических характеристик применяемых РРС основным техническим характеристикам, указанным в табл. 2.6;
- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявленных РРС прямой видимости и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС;
- регистрация РРС прямой видимости должна осуществляться в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазона 3600-4200 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в табл. 2.6, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 декабря 2019 г.

Особое внимание было обращено на функционирование магистральных РРС прямой видимости в полосе радиочастот 3400-3900 МГц. В решении ГКРЧ № 10-07-04-3 от 15.07.2010 отмечается нецелесообразность действий, связанных с разработкой, производством, ввозом и применением с целью создания новых РРЛ на территории Российской Федерации для РРС прямой видимости в этом диапазоне частот. Модернизация РРС, применяемых на действующих магистральных радиорелейных линиях связи, может осуществляться только при условии перевода этих РРС в цифровой режим работы без ухудшения параметров излучения и приема, влияющих на ЭМС указанных РРС с РЭС другого назначения.

Диапазон 4 ГГц предназначен не только для РРС прямой видимости. Здесь работают и системы фиксированной спутниковой службы (направление «космос-Земля») и другие системы. Средняя протяженность пролета достигает 40-45 км. Размеры антенн не слишком велики, например, антенна с коэффициентом усиления 43 дБ имеет диаметр 3,5 м. На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн.

В полосе частот 4400-5000 МГц дуплексный разнос составляет 300 МГц, а шаг сетки - 40 МГц. Частотный план РРС диапазона 5 ГГц соответствует Рекомендации F.1099 МСЭ-R [20].

С точки зрения ЭМС он является одним из наиболее сложных, поэтому в нем не всегда возможно полностью использовать полосу 4400-5000 МГц: многие стволы РРС этого диапазона в отдельных регионах по территории страны выпадают из числа назначаемых, а используется эта полоса в ряде

случаев на вторичной основе. Например, в этой полосе практически не может быть использован участок 4575-4610 МГц, а в некоторых случаях – также и участок 4900-5000 МГц (либо 4800-5000 МГц). Для увеличения количества стволов в этой полосе разрешается также использовать частотный план в соответствии с Рекомендацией F.746 МСЭ-R [16] с шагом сетки частот, равным 28 МГц.

На заседании ГКРЧ 15 декабря 2009 года было принято **Решение № 09-05-08-2 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 4400-5000 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, которое выделяет полосу радиочастот 4400-5000 МГц для разработки, производства и модернизации гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют приведенным в табл. 2.8.

Таблица 2.8

**Основные технические характеристики радиорелейных станций
диапазона 4400-5000 МГц**

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Полоса радиочастот*	4400-5000	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	– –
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	–
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендациями F.1099 и/или F.746 МСЭ-R	–
Максимальная мощность передатчика РРС	5	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС	55	дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	–
Относительный уровень побочных излучений передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	–

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	—
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-70	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	3,8	град.

Примечание: *)

1. Полоса радиочастот 4400-5000 МГц используется только для разработки, модернизации и производства РРС прямой видимости (пункт 1 настоящего решения ГКРЧ).
2. Полосы радиочастот 4400-4575 МГц и 4610-4900 МГц используются для применения РРС прямой видимости в создаваемых линиях связи (пункты 2 и 3 настоящего решения ГКРЧ).
3. Полосы радиочастот 4400-4575 МГц и 4610-5000 МГц используются для применения РРС прямой видимости только в действующих линиях связи (пункт 4 настоящего решения ГКРЧ).

Для применения на территории Российской Федерации РРС прямой видимости гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного физического или юридического лица выделяются полосы радиочастот 4400-4575 МГц и 4610-4900 МГц.

Использование выделенных настоящим решением ГКРЧ полос радиочастот для применения РРС прямой видимости должно осуществляться при выполнении следующих условий:

- соответствие технических характеристик используемых РРС основным техническим характеристикам, указанным в табл. 2.8;
- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявленных РРС прямой видимости и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС;

- применяемые в полосе радиочастот 4800-4900 МГц РРС не должны создавать вредных помех и не могут требовать защиты от помех со стороны РЭС, используемых для нужд государственного управления;

- регистрация РРС прямой видимости должна осуществляться в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости в полосах радиочастот 4400-4575 МГц и 4610-5000 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в настоящем решении, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 декабря 2019 г.

Для магистральных РРС в полосе радиочастот 5670-6170 МГц действуют те же правила, что и для РЭС в полосе радиочастот 3400-3900 МГц, определенные в решении ГКРЧ № 10-07-04-3 от 15.07.2010.

Диапазон частот 6 ГГц

В настоящее время РРС в диапазоне 6 ГГц работают в полосе частот 5670-6170 МГц. Такие станции (например, «Курс-6») предназначены для работы на магистральных линиях связи. Международные рекомендации по частотному планированию здесь не применяются, и поэтому в России для РРС прямой видимости используется частотный план, утвержденный для станций типа «Курс-6».

В этом же диапазоне работают высокочастотные установки промышленного, научного и медицинского применения (полоса частот 5725-5875 МГц) и системы беспроводного доступа (5650-6425 МГц).

Полоса частот 5670-6170 МГц используется только действующими РРС. Новые разработки, а также производство или ввоз из-за границы таких систем должны осуществляться в полосе частот 5925-6425 МГц. Частотный план этих РРС должен соответствовать Рекомендации F.383 МСЭ-R [7].

Одной из особенностей радиорелейных станций прямой видимости диапазона 6 ГГц является возможность организации с их применением линий связи большой емкости (большой пропускной способности) и значительной протяженности. Это дает возможность создания радиорелейных линий связи самого различного назначения, в том числе и магистральных РРЛ. Протяженность линий связи, организуемых с применением РРС прямой видимости этого диапазона, может составлять до нескольких тысяч километров. В последние годы в стране отмечаются возрастающие потребности в линиях связи различного назначения, выполненных на РРС прямой видимости диапазона 6 ГГц.

На заседании ГКРЧ от 19.08.2009 принято **Решение №09-04-06-1 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 5925-6425 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, которое выделяет полосу радиочастот 5925-6425 МГц для **разработки, производства, модернизации и применения** гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Основные технические характеристики РРС диапазона 5925-6425 МГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	5925-6425	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	- -
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	-
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.383 МСЭ-R	-
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	5	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС, не более	55	дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	-
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	-
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-59	дБм

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,6	град.

Использование выделенной полосы частот для применения РРС прямой видимости должно осуществляться при условии получения в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд государственного управления, в том числе президентской связи, правительственной связи, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. При этом в ходе проведения указанной экспертизы расчеты на ЭМС должны осуществляться с применением разработанных и согласованных установленным порядком условий совместного использования заявляемых РРС с РЭС другого назначения.

Регистрация РРС прямой видимости осуществляется в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазона 5925-6425 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в таблице 2.9, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи и на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 августа 2019 г.

Помимо полос радиочастот 5670-6170 МГц и 5925-6425 МГц в диапазоне 6 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости предусмотрена также полоса радиочастот 6425-7110 МГц (иногда ее еще называют «верхняя шестерка» в отличие от полосы радиочастот 5925-6425 МГц, которую называют «нижней шестеркой»). Частотный план РРС, использующий полосу радиочастот 6425-7110 МГц должен соответствовать Рекомендации F.384 МСЭ-R [8].

Диапазон «верхней шестерки» - это сложный диапазон с точки зрения использования его радиорелейными станциями, т.к. относится к категории «ПР». Поэтому обобщенное решение ГКРЧ для РРС в этом диапазоне было принято недавно – 2 октября 2012 г. (№ 12-15-05-2). Решение выделяет неопределенному кругу лиц для использования РРС полосу радиочастот 6425-7125 МГц при условии, что они не должны создавать вредных помех и не могут требовать защиты от вредных помех со стороны РЭС, используемых для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Также необходимо получение в установленном порядке разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов.

Основные технические характеристики РРС должны соответствовать, указанным в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Основные технические характеристики РЭС в полосе радиочастот 6425-7125 МГц

№ п/п	Наименование параметра		Значение параметра	Размерность параметра
1	Радиослужба		Фиксированная	
2	Полоса радиочастот		6425-7125	МГц
3	Мощность радиопередатчика средняя, не более		2	Вт
4	Ширина диаграммы направленности антенны на уровне -3 дБ, не более	В горизонтальной плоскости	3,3	град.
		В вертикальной плоскости	3,3	град.
5	ЭИИМ, не более		55	дБВт

Диапазон частот 7 ГГц

В диапазоне частот 7 ГГц в РФ для РРС используется полоса частот **7250-7550 МГц** и РРС имеют частотный план в соответствии с Рекомендацией F385 МСЭ-R [9]. В некоторых случаях при применении РРС этого диапазона могут появиться сложности, так как в отдельных регионах наряду с другими системами в полосе 7150-7750 МГц работают передвижные репортажные телевизионные станции.

В полосе 7250-7550 МГц в настоящее время действует **Решение ГКРЧ № 09-04-06-2 от 19.08.2009 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 7250-7550 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, которое выделяет полосу радиочастот 7250-7550 МГц для **разработки, производства, модернизации и применения** гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Основные технические характеристики РРС диапазона 7250-7550 МГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	7250-7550	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	- -
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	-
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.385 МСЭ-R	-
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	1,0	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС, не более	55	дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	-
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	-
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	- 61	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	5,0	град.

Использование выделенной настоящим решением ГКРЧ полосы радиочастот для применения РРС прямой видимости должно осуществляться при условии получения в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд государственного управления, в том числе президентской связи, правительственной связи, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. При этом в ходе проведения указанной экспертизы расчеты на ЭМС должны осуществляться с применением разработанных и согласованных установленным порядком условий совместного использования заявляемых РРС с РЭС другого назначения.

Регистрация РРС прямой видимости осуществляется в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазона 7250-7550 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в таблице 2.11, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи и на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 августа 2019 г.

Ввоз из-за границы на территорию Российской Федерации РРС прямой видимости должен осуществляться в установленном порядке.

Диапазон частот 8 ГГц

В диапазоне частот 8 ГГц для РРС прямой видимости предназначена полоса радиочастот 7900-8400 МГц.

Для РРС этого диапазона в настоящее время действует **Решение ГКРЧ № 09-01-06 от 20.01.2009 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 7900-8400 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, которое выделяет полосу радиочастот 7900-8400 МГц для **разработки, производства, модернизации и применения** гражданами РФ и юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.11.

В Решении определено, что получение разрешения на использование радиочастот производится на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского

назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Регистрация указанных РРС прямой видимости осуществляется в установленном в Российской Федерации порядке.

Таблица 2.11

Основные технические характеристики РРС диапазона 7900-8400 МГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	7900-8400	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	- -
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	-
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.386 МСЭ-R	-
Шаг сетки частот	28; 14; 7; 3,5	МГц
Величина дуплексного разнеса	266	МГц
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	1,0	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС, не более	55	дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	-
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	-
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-95	дБВт
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	10×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,2	град.

Применение РРС прямой видимости диапазона 7900-8400 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в таблице 2.12, должно осуществляться без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов.

В этом диапазоне на распространение сигнала начинают оказывать влияние метеоусловия (дождь, снег, туман и пр.). Кроме того, влияет атмосферная рефракция, приводящая к закрытию трассы или к интерференции волн. Средняя протяженность пролета РРЛ составляет 30-40 км. Антенны имеют высокий коэффициент усиления при диаметрах порядка 1,5 – 2,5 м. В настоящее время диапазон используется для организации транспортных систем. На рынке предлагают широкий спектр цифровых РРС средней и большой емкости.

Диапазон частот 10 ГГц

В диапазоне частот 10 ГГц для РРС может использоваться как вся полоса радиочастот 10,38-10,68 ГГц (в этом случае частотный план РРС должен соответствовать Рекомендации F.746 МСЭ-R [16]), либо только часть этой полосы – 10,5-10,68 ГГц (тогда частотный план РРС должен соответствовать Рекомендации F.747 МСЭ-R[17]).

Устойчивая тенденция вытеснения РРС из более низких частотных диапазонов способствует повышению интереса к полосам частот в диапазонах 10 ГГц и выше.

В соответствии с «Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации» для РРС прямой видимости в этом диапазоне может использоваться полоса радиочастот **10,38-10,68 ГГц**. Работающие в этой полосе РРС применяются, в основном, для организации низкоскоростных (порядка 2 Мбит/с) каналов связи.

На заседании ГКРЧ 19 февраля 2010 г. принято Решение № 10-06-07 «Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 10,38-10,68 ГГц и 10,5-10,68 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости», которое выделяет указанные полосы радиочастот для разработки, производства, модернизации и применения юридическими и физическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют техническим характеристикам, приведенным в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Основные технические характеристики радиорелейных станций
диапазонов 10,38-10,68 ГГц и 10,5-10,68 ГГц**

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Полоса радиочастот	10,38-10,68 10,5-10,68	ГГц ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	— —
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	—
Частотные планы РРС: - в диапазоне 10,38-10,68 ГГц - в диапазоне 10,5-10,68 ГГц	В соответствии с Рекомендациями МСЭ: F.746 МСЭ-R F.747 МСЭ-R	— —
Максимальная мощность передатчика РРС	0,5	Вт
Максимальная ЭИИМ передатчика РРС: - в полосе частот 10,38-10,6 ГГц - в полосе частот 10,6-10,68 ГГц	55 40	дБВт дБВт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	—
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	—
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	—
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-60	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,5	град.

Использование выделенных настоящим решением ГКРЧ полос радиочастот для применения РРС прямой видимости осуществляется при выполнении следующих условий:

- соответствие технических характеристик используемых РРС основным техническим характеристикам, указанным в табл. 2.13;
- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявленных РРС прямой видимости и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС;
- применяемые РРС не должны создавать вредных помех и не могут требовать защиты от вредных помех со стороны РЭС, используемых для нужд государственного управления;
- регистрация РРС прямой видимости осуществляется в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости в полосах радиочастот 10,38-10,68 ГГц и 10,5-10,68 ГГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в настоящем решении, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи, на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 февраля 2020 г.

Диапазон частот 11 ГГц

В диапазоне частот 11 ГГц используется полоса 10,7-11,7 ГГц. Первые РРС, работающие на этих частотах обеспечивали связь между АТС (частотный план регламентирован рекомендацией МСЭ-R F.387 [10]). Сегодня они применяются для создания магистральных высокоскоростных линий связи. Мощности передатчиков РРС диапазона 10-11 ГГц, как правило, лежат в пределах 0,05-0,5 Вт, но допускается и использование более мощных передатчиков - до 1 Вт. В 2000 году ГКРЧ приняла решение № 5/1 от 25.12.2000, в соответствии с которым РРС диапазона 10,7-11,7 ГГц должны применяться только для создания высокоскоростных (выше 34 Мбит/с) каналов связи, а системы малой пропускной способности (2 Мбит/с и менее) в этой полосе больше строиться не должны. Этим Решением предусмотрено, что для систем со скоростями 4 Мбит/с должны использоваться РРС с шагом сетки 5 МГц, со скоростями 8 Мбит/с – 10 МГц, 16 Мбит/с – 20 МГц, а со скоростями 34 Мбит/с и выше – 40 МГц. Решение № 5/1 от 25.12.2000 отменено.

Действует принятое **Решение ГКРЧ № 09-03-04-1 от 28.04.2009 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 10,7-11,7 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**, согласно которому выделяется полоса радиочастот 10,7-11,7 ГГц для разработки, производства, модернизации и применения гражданами Российской

Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Основные технические характеристики РРС диапазона 10,7-11,7 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	10,7-11,7	ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	— —
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	—
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.387 МСЭ-R	—
Величина дуплексного разнеса	530	МГц
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	1,0	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	—
Относительный уровень побочных излучений передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	—
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-58,5	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,5	град.

Получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот для РРС данного частотного диапазона производится на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка. При этом в ходе проведения указанной экспертизы расчеты на ЭМС должны осуществляться с применением разработанных и согласованных установленным порядком условий совместного использования заявляемых РРС с РЭС другого назначения. Регистрация РРС прямой видимости осуществляется в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазона 10,7-11,7 ГГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных Таблице 2.14, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 апреля 2019 г.

Диапазон частот 13 ГГц

В диапазоне частот 13 ГГц Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации для РРС прямой видимости в этом диапазоне предусмотрена полоса радиочастот 12750-13250 МГц. Частотный план РРС прямой видимости этого диапазона должен соответствовать требованиям Рекомендации F.497 МСЭ-R [11]. «Правила игры» однозначно определены в **Решении ГКРЧ № 09-02-08 от 19.03.2009 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 12750-13250 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**.

В Решении выделяется полоса радиочастот 12750-13250 МГц **для разработки, производства, модернизации и применения** гражданами РФ и юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Основные технические характеристики РРС диапазона 12750-13250 МГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	12750-13250	МГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	- -
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	-
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.497 МСЭ-R	-
Шаг сетки частот	28; 14; 7,0; 3,5	МГц
Величина дуплексного разнеса	266	МГц
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	0,5	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	-
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	-
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-65	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,8	град.

Как и в предыдущих решениях, получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот осуществляется на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и

обеспечения правопорядка. При этом в ходе проведения указанной экспертизы расчеты на ЭМС должны осуществляться с применением разработанных и согласованных в установленном порядке условий совместного использования заявляемых РРС с РЭС другого назначения. Регистрация указанных РРС прямой видимости в установленном в Российской Федерации порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазона 12750-13250 МГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в таблице 2.15, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 марта 2019 г.

Диапазоны 10-13 ГГц перспективны для создания эффективных систем РРЛ. При протяженности пролета 15-30 км, антенны с хорошими коэффициентами усиления имеют небольшие габариты и вес, что обеспечивает относительную дешевизну антенных опор. Доля влияния атмосферной рефракции на устойчивость работы систем уменьшается, но увеличивается влияние метеоусловий. В этих диапазонах строятся цифровые РРЛ на скорости до 155 Мбит/с.

Диапазон частот 15 ГГц

В диапазоне частот 15 ГГц для РРС разрешен участок - 14,4-15,35 ГГц, и условия работы в нем определяются **Решением ГКРЧ № 08-23-09-001 от 26.02.2008 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 14500-15350 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»**.

Данным решением выделяется полоса радиочастот 14,5-15,35 ГГц для **разработки производства, модернизации и применения** гражданами РФ и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.16.

Для каждого конкретного типа РРС должны выполняться следующие условия:

- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка;

- регистрация указанных РРС прямой видимости установленным в РФ порядком.

Таблица 2.16

Основные технические характеристики РРС диапазона 14,5-15,35 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	14,5-15,35	ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	- -
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	-
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.636 МСЭ-R [14]	-
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	100	мВт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	-
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	-
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	- 70	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	-
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	4,0	град.

Учитывая необходимость увеличения мощности излучения РРС, ГКРЧ 15 декабря 2009 года приняла решение № 09-05-10-1/137, в соответствии с которым мощность передатчиков РРС была повышена со 100 мВт до 500 мВт.

Диапазон частот 18 ГГц

В диапазоне частот 18 ГГц действует **Решение ГКРЧ № 07-21-02 от 25.06.2007 «О выделении полосы радиочастот 17,7-19,7 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости»**.

Решено выделить полосу радиочастот 17,7-19,7 ГГц для разработки производства, модернизации и применения гражданами РФ и юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.17.

Таблица 2.17

Основные технические характеристики РРС диапазона 17,7-19,7 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса частот	17,7-19,7	ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	
Тип модуляции	Не регламентируется	
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.595 МСЭ-R [12]	
Количество телефонных или телевизионных каналов (для аналоговых РРС)	Не регламентируется	
Максимальная групповая скорость передачи (для цифровых РРС)	Не регламентируется	
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	0,5	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	
Ширина полосы излучения передатчика и внеполосные излучения	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Чувствительность приемника РРС, не хуже	- 62	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	50	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Тип антенны	Не регламентируется	
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	3,8	Град.

Также для каждого конкретного типа РРС должны выполняться следующие условия:

- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка;

- регистрация указанных РРС прямой видимости установленным в РФ порядке.

В диапазонах 15-18 ГГц средняя протяженность пролетов достигает 20 км для зон с умеренным климатом. Аппаратура выполняется в виде моноблока. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0,6 м, 1,2 м, или 1,8 м при коэффициентах усиления от 38 до 46 дБ. На распространение сигналов сильное влияние оказывают метеоусловия и интерференция прямых и отраженных волн. Ослабление в дожде может составлять 1-12 дБ/км (при интенсивности дождей 20-160 мм/час). Некоторое влияние оказывает и сама атмосфера (атомы кислорода и молекулы воды), ослабление в которой достигает 0.1 дБ/км.

Диапазон частот 23 ГГц

В диапазоне частот 23 ГГц согласно рекомендациям МСЭ-R F.637 [15] разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости. Средняя протяженность пролетов меньше 20 км, так как на распространение сигналов сильное влияние оказывают метеоусловия и ослабления в атмосфере. Желательно использовать вертикальную поляризацию радиоволн, хотя разрешено использование любой поляризации. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0,3 м, 0,6 м и 1,2 м. Ослабление в дождях может быть от 2 до 18 дБ/км, а в атмосфере достигает 0.2 дБ/км.

В решении ГКРЧ № 06-16-04-001 от 4.09.2006 «О выделении полосы радиочастот 21,2-23,6 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости» было решено выделить полосу радиочастот 21,2-23,6 ГГц для разработки производства, модернизации и применения гражданами РФ и юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.18.

Таблица 2.18

Основные технические характеристики РРС диапазона 23 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса частот	21,2-23,6	ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	– –
Тип модуляции	Не регламентируется	–
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	–
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.637 МСЭ-R	–
Количество телефонных или телевизионных каналов (для аналоговых РРС)	Не регламентируется	–
Максимальная групповая скорость передачи (для цифровых РРС)	Не регламентируется	–
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	0,5	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	–
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-95	дБВт
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	–
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Тип антенны	Не регламентируется	–
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	3,7	Град.

Примечание: величина ширины полосы излучения передатчиков РРС при различных классах излучения и типах модуляции, применяемых в РРС, должна соответствовать требованиям Норм ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения.

Также для каждого конкретного типа РРС должны выполняться следующие условия:

- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, правительственной связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка;

- использование полосы радиочастот 21,4-22 ГГц РРС прямой видимости после 1 апреля 2007 г. осуществляется при условии исключения помех абонентским приемным устройствам систем телевидения высокой четкости в радиовещательной спутниковой службе, а также без предъявления требований по защите РРС от помех со стороны РЭС космических станций указанной службы;

- регистрация указанных РРС прямой видимости установленным в РФ порядком.

Диапазон частот 25-28 ГГц

В диапазонах частот 25, 26, 28 ГГц еще недавно могли использоваться только отдельные участки в полосах 24,25-25,5 ГГц, 25,25-27,5 ГГц. Характеризуется несколько меньшим, чем для диапазона 23 ГГц, ослаблением сигнала в атмосфере (меньше 0,1 дБ/км). Средняя протяженность пролета 12 км. Ослабление в дождях 3-24 дБ/км. Антенны имеют диаметр 0,3м, 0,6 м.

Принятое **Решение ГКРЧ № 09-03-04-2 от 28.04.2009 «Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 24,25-25,25 ГГц, 24,25-26,5 ГГц, 25,25-27,5 ГГц и 27,5-29,5 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»** выделяет указанные полосы радиочастот для разработки производства, модернизации и применения гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.19.

Таблица 2.19

**Основные технические характеристики РРС диапазона 24,25-25,25 ГГц,
24,25-26,5 ГГц, 25,25-27,5 ГГц и 27,5-29,5 ГГц**

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	24,25-25,25 24,25-26,5 25,25-27,5 27,5-29,5	ГГц ГГц ГГц ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	– –
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	–
Частотные планы РРС	В соответствии с Рекомендацией F.748 МСЭ-R [18]	–
Величина дуплексного разнеса для полосы радиочастот: 24,25-25,25 ГГц 24,25-26,5 ГГц 25,25-27,5 ГГц 27,5-29,5 ГГц	Не регламентируется 1008 Не регламентируется 1008	МГц МГц МГц МГц
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	0,5	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	–
Относительный уровень побочных излучений передатчика	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	–
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-58	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	15×10^{-6}	–
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	3,5	град.

Решение определяет получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС гражданского назначения и РЭС, используемых для нужд обороны страны, президентской связи, безопасности государства и обеспечения правопорядка. При этом в ходе проведения указанной экспертизы расчеты на ЭМС должны осуществляться с применением разработанных и согласованных установленным порядком условий совместного использования заявляемых РРС с РЭС другого назначения. Регистрация РРС прямой видимости осуществляется в установленном порядке.

Применение РРС прямой видимости диапазонов 24,25-25,25 ГГц, 24,25-26,5 ГГц, 25,25-27,5 ГГц и 27,5-29,5 ГГц с техническими характеристиками, отличающимися от приведенных в таблице 2.19, осуществляется без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного пользователя РРС только на действующих линиях связи на условиях, определенных соответствующими разрешениями на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Продление указанных разрешений осуществляется до конца амортизационного срока этих РРС, но не позднее 1 апреля 2019 г.

Диапазон частот 31 ГГц

В диапазоне 31 ГГц для РРС прямой видимости предусмотрена полоса радиочастот 31,0-31,3 ГГц. Частотный план РРС этого диапазона должен соответствовать Рекомендации F.746 МСЭ-R.

В нашей стране указанная полоса радиочастот радиорелейными станциями прямой видимости используется редко.

Кроме средств фиксированной службы в этой полосе радиочастот могут также использоваться средства подвижной службы, а на вторичной основе еще и РЭС службы космических исследований и спутниковой службы стандартных частот и сигналов времени.

Диапазон частот 36-40 ГГц

В диапазонах частот 36 ГГц, 38 ГГц, 40 ГГц используется полоса радиочастот 36,0-40,5 ГГц для создания линий связи небольшой протяженности, особенно в городах и крупных населенных пунктах.

Частотные планы для таких РРЛ определены Рекомендацией МСЭ-R F.749 [19]. Согласно этой рекомендации разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости. Протяженность пролета меньше 8 км. В случае если показатель неготовности линии связи соответствует локальному качеству, протяженность интервала можно довести до 15 км. Аппаратура представляет собой моноблок с антенной диаметром 0,3 м. Используется только вертикальная поляризация, так как, при этом получается лучшая устойчивость системы связи при наличии дождей. Ослабление в атмосфере составляет порядка 0,12 дБ/км, а в гидрометеорах - от 5 до 32 дБ/км (при интенсивности дождей от 20 до 160 мм/час).

В этом диапазоне действует **Решение ГКРЧ № 06-14-02-001 от 29.05.06 «О выделении полос радиочастот в диапазоне 40 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости»**.

Решено выделить полосы радиочастот 36,0-37,0 ГГц, 37,0-39,5 ГГц и 39,5-40,5 ГГц для разработки производства, модернизации и применения гражданами Российской Федерации и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в таблице 2.20.

Также для каждого конкретного типа РРС должны выполняться следующие условия:

- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости и об их ЭМС с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами другого назначения;

- регистрация указанных РРС прямой видимости установленным в РФ порядком.

Таблица 2.20

Основные технические характеристики РРС диапазона 40 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Диапазон частот	36,0-37,0 37,0-39,5 39,5-40,5	ГГц ГГц ГГц
Тип РРС	Цифровая Аналоговая	– –
Тип модуляции	Не регламентируется	–
Метод дуплексного разнеса (разнос между стволами прямого и обратного направлений)	Частотный	–
Частотный план	В соответствии с Рекомендацией F.749 МСЭ- R	–
Шаг сетки частот: - для диапазона 36,0-37,0 ГГц - для диапазона 37,0-39,5 ГГц - для диапазона 39,5-40,5 ГГц	112; 56; 28; 14; 7; 3,5 140; 56; 28; 14; 7; 3,5 112; 56; 28; 14; 7; 3,5	МГц МГц МГц
Количество телефонных или телевизионных каналов (для аналоговых РРС)	Не регламентируется	–
Максимальная групповая скорость передачи (для цифровых РРС)	Не регламентируется	–
Максимальная мощность передатчика РРС, не более	0,5	Вт
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	20×10^{-6}	–
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	-60	дБ
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-80	дБВт
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	дБ
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	40	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Тип антенны	Не регламентируется	–
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	3,5	град.

Примечание: Величина ширины полосы излучения передатчиков при различных классах излучения и типах модуляции, применяемых в РРС, должна соответствовать требованиям «Норм на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения».

Диапазон частот 43 ГГц

В диапазоне 43 ГГц для РРС прямой видимости используется полоса радиочастот 42,5-43,5 ГГц.

Эта полоса радиочастот радиорелейными станциями используется практически только в нашей стране.

Международных Рекомендаций для частотных планов РРС этого диапазона до настоящего времени не существует.

Зарубежных РРС этого диапазона в стране практически нет. Используются, в основном РРС отечественных разработок. Более распространенными из них являются РРС «Эриком-43». Частотный план этих РРС аналогичен частотному плану, соответствующему Рекомендации F.387 МСЭ-R, который, в свое время, был разработан для полосы радиочастот 10,7-11,7 ГГц.

Можно предположить, что дальнейшее использование полосы радиочастот 42,5-43,5 ГГц радиорелейными станциями прямой видимости вряд ли можно считать перспективным. Тем более учитывая, что последними решениями ГКРЧ эта полоса радиочастот присоединена к полосе 40,5-42,5 ГГц и общий участок радиочастотного спектра 40,5-43,5 ГГц выделен для РЭС систем фиксированного беспроводного доступа.

Диапазон частот 58 ГГц

В диапазоне 58 ГГц для РРС прямой видимости используется полоса радиочастот 57-59 ГГц.

Часто при подборе полос частот для РРС прямой видимости рассматривается участок 57,2-58,2 ГГц, который представляет интерес для операторов связи, планирующих строительство линий связи с короткими пролетами.

Диапазон 58 ГГц можно использовать для создания РРЛ протяженностью 1-2 км, используя антенны диаметром меньше 15 см. Ослабление сигнала в атмосфере до 12 дБ/км, а в дождях - от 9 до 45 дБ/км. Сильное влияние дождей приводит к неустойчивости работы системы связи.

В соответствии с Рекомендацией F.1497 МСЭ-R [22] в данном диапазоне в полосе радиочастот 57,2-58,2 ГГц могут применяться радиорелейные станции, не требующие частотного планирования. Согласно этой Рекомендации должны применяться радиорелейные станции прямой видимости с временным дуплексным разносом между стволами прямого и обратного направления.

В соответствии с **Решением ГКРЧ № 06-13-04-001 от 24.04.2006 «О выделении полосы радиочастот 57,2-58,2 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости»** решено выделить полосу радиочастот 57,2-58,2 ГГц для разработки производства, модернизации и применения гражданами РФ и российскими юридическими лицами РРС прямой видимости без

оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют техническим характеристикам, указанным в таблице 2.21.

Также для каждого конкретного типа РРС должны выполняться следующие условия:

- получение в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами;
- регистрация указанных РРС прямой видимости в установленном в РФ порядке.

Таблица 2.21

Основные технические характеристики РРС прямой видимости диапазона 58 ГГц

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса частот	57,2-58,2	ГГц
Тип РРС	цифровая	—
Метод дуплексирования (тип дуплексного разнеса между стволами)	временной	—
Шаг сетки частот	50; 100	МГц
Частотный план	в соответствии с рек. F.1497 МСЭ-R	—
Количество частотных каналов (стволов): - при шаге сетки 100 МГц - при шаге сетки 50 МГц	10 20	ед. ед.
Выбор канала (ствола)	автоматический	—
Длина пролета	не регламентируется	км
Максимальная мощность излучения передатчика РРС, не более	10	мВт
Тип модуляции	не регламентируется	—
Скорость передачи информации	не регламентируется	Мбит/с
Относительная нестабильность частоты передатчика РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Относительный уровень побочных излучений передатчика РРС, не хуже	-60	дБ
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-70	дБВт
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	60	дБ
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-6}	—
Тип антенны	не регламентируется	—
Максимальная ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, не более	2,0	град.

В настоящее время РРС прямой видимости выпускаются пока еще в полосе радиочастот 57,2-58,2 ГГц. Однако в недалекой перспективе в диапазоне 58 ГГц радиорелейные системы скорее всего будут выпускаться в более расширенной полосе радиочастот 57-59 ГГц, но с теми же самыми параметрами и таким же частотным планом.

Рекомендация F.1497 МСЭ-R охватывает участок радиочастотного спектра 55,78-59 ГГц, но из этого участка полоса радиочастот 57-59 ГГц предназначается для использования радиорелейными станциями, не требующими частотного планирования.

Диапазон частот 60 ГГц

Радиорелейные станции в диапазоне радиочастот 60 ГГц служат прежде всего для создания транспортных сетей передачи данных. РРС имеют малую длину пролета, узконаправленную антенну, обеспечивают высокую скорость передачи данных и эффективно используются в условиях плотной городской застройки. **Решением ГКРЧ № 11-13-06-1 от 20 декабря 2011 г. «Об использовании радиоэлектронными средствами фиксированной службы полосы радиочастот 58,25-63,25 ГГц»** данный диапазон частот выделен для разработки, производства, модернизации и применения юридическими и физическими лицами РРС без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики оборудования соответствуют таблице 2.20. Важно отметить, что применение РРС в полосе радиочастот 58,25-63,25 ГГц должно осуществляться **без оформления разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов РРС** при условии соблюдения технических характеристик (табл. 2.22), регистрации и ввоза РЭС установленным порядком.

Таблица 2.22

Основные технические характеристики РРС в полосе радиочастот 58,25-63,25 ГГц

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Тип РРС	Цифровая	
Радиочастоты	59,5; 62	ГГц
Максимальная мощность передатчика	-21	дБВт
Максимальная ЭИИМ	25	дБВт
Максимальная ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости	3	град
Относительный уровень побочных излучений передатчика	В соответствии с действующими нормами ГКРЧ	
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика	В соответствии с действующими нормами ГКРЧ	

Диапазон частот 70-80 ГГц

В диапазоне частот 70-80 ГГц используются полосы **71-76 ГГц** и **81-86 ГГц**. Долгое время считалось, что диапазон 58 ГГц является почти предельным для создания радиосистем, так как на частотах выше 60 ГГц наблюдается непрозрачность атмосферы для радиоволн из-за поглощения энергии в атомах кислорода (резонансные частоты поглощения равны 60 и 120 ГГц).

Однако, на миллиметровых волнах практически отсутствует вероятность возникновения помех из-за переотражения от различных поверхностей, таких как стены и крыши домов. Длина волны такова, что луч эффективно рассеивается и поглощается при первом же отражении, что делает невозможным возникновение отраженного канала.

Очень узкая диаграмма направленности антенн обеспечивает отсутствие взаимных интерференционных помех от РРС, одновременно работающих на одной территории в одном и том же диапазоне. Таким образом, на ограниченной местности могут работать множество операторов, чьи беспроводные приемопередающие станции не будут «мешать» друг другу. Это позволяет перейти от принципа выделения диапазона частот для одного оператора к лицензированию РРС многих операторов на одной территории с пространственным разделением.

Принятый в США частотный план в диапазонах 71-76 и 81-86 ГГц предполагает сегментацию спектра. В целях увеличения гибкости использования спектра и роста числа возможных пользователей в данном географическом месте диапазоны 71-76 ГГц и 81-86 ГГц делятся на непарные сегменты по 1,25 ГГц каждый (без обязательного выделения конкретных каналов в сегменте) без ограничения возможностей по их объединению. Возможен вариант сдваивания каналов, но только в стандартизированной форме (например, 71-72,25 ГГц может работать в паре только с 81-82,25 ГГц, и т.д.). Следует отметить, что прямой и обратный каналы обязательно надо располагать в разных половинах общей полосы (например, прямой канал в 71-76 ГГц, а обратный в 81-86 ГГц или наоборот).

С точки зрения распределения частотного спектра европейский диапазон 71-76 и 81-86 ГГц является аналогом американского. Однако принятый документ Recommendation (05)07. «Radio frequency channel arrangements for fixed service systems operating in the bands 71-76 GHz and 81-86 GHz» предполагает и отличия, во многом принципиальные:

1. В европейском диапазоне разрешено располагать прямой и обратный каналы в любой половине спектра (например, использовать только 71-76 ГГц или только 81-86 ГГц), в то время как в американском варианте прямой и обратный каналы обязательно надо располагать в разных половинах общей полосы.

2. В Европе не запрещено строить сложные беспроводные мультисервисные сети по топологии «точка-многоточка».

3. Обе полосы 71-76 ГГц и 81-86 ГГц нарезаны на каналы шириной 250 МГц, и для использования можно объединять любое число каналов.

В последние годы, появился интерес к высокочастотным диапазонам для создания радиосистем с пролетами протяженностью 1-2 км. Следствием чего стало **решение ГКРЧ от 15 июля 2010 г. №10-07-04-1 «Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости».**

Данным решением выделяются полосы радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц для разработки, производства, модернизации и применения юридическими и физическими лицами РРС прямой видимости **без оформления отдельных решений ГКРЧ** для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РРС соответствуют табл. 2.23.

Таблица 2.23

**Основные технические характеристики радиорелейных станций,
использующих полосы радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц**

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Полоса радиочастот	71-76 81-86	ГГц ГГц
Тип РРС	Цифровая	–
Максимальная мощность передатчика РРС	0,15	Вт
Спектральная эффективность, не менее	1	Бит/с/Гц
Относительная нестабильность частоты передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений	–
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	В соответствии с нормами ГКРЧ на допустимые побочные излучения	–
Ширина полосы излучения и внеполосные излучения передатчика РРС	В соответствии с нормами ГКРЧ на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения	–
Чувствительность приемника РРС, не хуже	-57	дБм
Относительная нестабильность частоты гетеродина приемника РРС, не хуже	20×10^{-5}	–
Избирательность приемника по соседнему каналу, не хуже	45	дБ

Наименование параметра	Значение параметра	Размерность параметра
Избирательность приемника по зеркальному каналу, не хуже	60	дБ
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях, не более	1	град

Использование выделенных настоящим решением ГКРЧ полос радиочастот для применения РРС прямой видимости должно осуществляться при выполнении следующих условий:

- соответствие технических характеристик применяемых РРС прямой видимости основным техническим характеристикам, указанным в приложении к настоящему решению;
- применяемые РРС не должны создавать вредных радиопомех другим РЭС, а также не могут требовать защиты от вредных помех со стороны этих РЭС;
- применение РРС прямой видимости осуществляется **без оформления разрешений на использование радиочастот** или радиочастотных каналов;
- регистрация РРС прямой видимости должна осуществляться в установленном порядке.

Диапазон частот 90 ГГц

В диапазоне частот 90 ГГц используется полоса 92-95 ГГц.

Наиболее высокочастотный участок, в котором реально функционируют РРС прямой видимости - полоса 92-95 ГГц. Конкретный частотный план здесь также еще не определен.

В данном диапазоне частоты 92-94 ГГц и 94,1-95 ГГц выделены службам фиксированной, мобильной связи, радиоастрономии и радиолокации на первичной основе, а диапазон 94-94,1 ГГц - на первичной основе службе космических исследований (активная) и спутниковой службе исследования земли (активная), службе RAS на вторичной основе, а службы фиксированной и мобильной связи вообще отсюда исключены.

Принятое **Решение ГКРЧ от 15 июля 2010 г. №10-07-04-2 «Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 92-94 ГГц и 94,1-95 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости»** аналогично Решению ГКРЧ для полос радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц, технические характеристики РРС также совпадают с табл. 2.21.

Следует особо отметить, что полосы радиочастот 71-76/81-86 ГГц и 92-94/94,1-95 ГГц являются на данный момент единственными частотными диапазонами, в которых **применение РРС прямой видимости осуществляется без оформления разрешений на использование**

радиочастот или радиочастотных каналов и фактически сводится только к процедуре регистрации РЭС.

Основные тенденции, которые наблюдаются сейчас в построении РРС – это постепенный уход операторов в более высокий диапазон частот. С одной стороны на более низких частотах можно удешевить линию за счет более длинных пролетов и, соответственно, уменьшения затрат на оборудование. С другой стороны, существует большая вероятность попасть на уже изрядно занятый участок спектра и потратить изрядные деньги на покупку дорогостоящих входных фильтров и проведение согласований с действующими РЭС.

Также можно с определенной долей уверенности сказать, что пока еще мала вероятность проникновения подвижной связи в полосы частот выше 3 ГГц. Возможно именно поэтому в последние годы диапазон частот, выделяемый РРС, лежит в области десятков гигагерц.

2.4. Рекомендации по составлению радиочастотной заявки в ГКРЧ

Основанием для рассмотрения вопроса о выделении полос радиочастот и принятия решения об их выделении является обращение заявителя в ГКРЧ с радиочастотной заявкой.

При подготовке радиочастотных заявок на выделение полос радиочастот необходимо помнить, они представляются заявителями в ГКРЧ для следующих целей:

- 1) разработки РРС;
- 2) производства РРС;
- 3) модернизации РРС;
- 4) ввоза РРС на территорию Российской Федерации;
- 5) применения РРС;
- 6) проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и экспериментальных работ на срок свыше 6 месяцев;
- 7) продления срока действия ранее выданных решений ГКРЧ;
- 8) внесения изменений в ранее выданные решения ГКРЧ;
- 9) переоформления решения ГКРЧ.

Допускается представление радиочастотной заявки одновременно на разработку и производство РРС.

Кроме того, до начала работ по оформлению радиочастотной заявки на выделение полосы радиочастот для РРС заявителю необходимо:

- определить конкретные цели, задачи и этапы планируемых работ;
- выбрать конкретный тип оборудования, характеристики которого отвечают предъявленным к создаваемой линии связи требованиям;
- провести анализ полос радиочастот, которые могут быть использованы радиорелейными станциями;

- выбрать и обосновать планируемый к использованию диапазон частот и проверить его на соответствие действующей «Таблице распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации»;

- ознакомиться с действующими нормативными правовыми актами, а также действующей нормативно-технической документацией, относящимися к решению поставленных задач;

- уточнить возможность применения (для выполнения поставленных задач) принятых обобщенных решений ГКРЧ на выделение полос радиочастот для РРС.

При решении вопросов, касающихся проблем использования частотного ресурса РРС, следует помнить, что наличие обобщенных решений ГКРЧ на выделение полос радиочастот для РРС существенно упрощает процедуру оформления разрешительных документов и значительно сокращает сроки внедрения РЭС, т.к. не требуется получения частного решения ГКРЧ на выделение планируемой к использованию заявителем полосы радиочастот для выбранных заявителем РРС.

В отсутствие обобщенных решений ГКРЧ на выделение полос радиочастот для РРС, заявителю необходимо получить отдельное (частное) решение ГКРЧ на выделение полосы радиочастот. С этой целью заявитель должен представить в Комиссию соответствующую радиочастотную заявку.

Радиочастотная заявка на выделение полосы радиочастот в общем случае содержит следующие документы.

1. Письмо заявителя на имя заместителя председателя ГКРЧ или руководителя аппарата ГКРЧ с просьбой о выделении конкретных полос радиочастот (в 1 экз.) для РРС.

2. Технические характеристики РЭС в объеме карточки тактико-технических данных (ТТД) по Форме № 1 (5 экз.) на каждый тип заявляемых РЭС. При этом заполненные бланки карточек ТТД представляются на бумажном и электронном носителях.

3. Пояснительная записка с необходимыми обоснованиями и пояснениями (9 экз.).

4. Копия свидетельства о государственной регистрации юридического лица в 1-м экземпляре.

Письмо составляется в произвольной форме с кратким изложением сведений о назначении (области применения) РРС, для которых запрашиваются полосы радиочастот, кем и в каком районе они будут применяться, указываются заявляемые полосы радиочастот, приводятся другие сведения, необходимые для обоснования заявки.

Пояснительная записка составляется в произвольной форме. В ней более подробно излагаются назначение, область применения РРС, кем и в каком районе они будут применяться, приводятся обоснования выбранных характеристик радиоизлучения и приема заявляемого оборудования в случае их отклонения от требований действующей нормативно-технической документации и государственных стандартов в части обеспечения

электромагнитной совместимости. В ней также освещаются системные вопросы, указываются условия применения оборудования, структура и характеристики используемых сигналов и другие необходимые для рассмотрения радиочастотной заявки сведения.

Пояснительная записка должна охватывать весь спектр рассматриваемой проблемы, но при этом должна быть составлена четко и лаконично, без упоминания не относящихся к решению проблем ЭМС вопросов.

Типовой объем пояснительной записки занимает, как правило, 1-3 листа машинописного текста.

Карточки ТТД формы № 1 оформляются на двусторонних бланках и заполняются на каждый тип заявляемых РРС в соответствии с Инструкцией по заполнению бланка формы № 1 «Тактико-технические данные РЭС», утвержденной решением ГКРЧ от 30 ноября 1998 г. № 10/4, только машинописным способом; заполнение бланков «от руки» не допускается.

Заполненные бланки карточек ТТД подписываются руководителем предприятия, организации, фирмы и т.п. (юридического лица) и заверяются печатью этого юридического лица.

Все документы перечисляются в письме как приложения.

Письмо оформляется на фирменном бланке организации-заявителя. При этом на бланке должны быть указаны выходные реквизиты заявителя (исходящий номер письма, дата, адрес заявителя и т.п.); кроме того, на бланке письма должны быть указаны также фамилия и телефон исполнителя.

Этот же исходящий номер и эта дата указываются также в реквизите «03» («Номер РЧЗ, дата») заполняемого бланка карточки ТТД формы № 1.

По требованию аппарата ГКРЧ заявителями должны представляться дополнительные сведения, необходимые для подготовки решений о выделении полос радиочастот.

При проведении работ по подготовке и оформлению радиочастотной заявки следует иметь в виду, что в соответствии с действующим Положением о выделении аппарат ГКРЧ не проводит консультаций и не дает рекомендаций по выбору полос (диапазонов) радиочастот для разработки, модернизации, производства и ввоза из-за границы РРС, а также по оформлению радиочастотных заявок.

После поступления указанных документов в ГКРЧ их регистрируют и направляют для проведения предварительного анализа в аппарат ГКРЧ, который организует рассмотрение радиочастотных заявок. В ходе проведения предварительного анализа поступившие материалы проверяются на соблюдение требований правил оформления радиочастотной заявки, на соответствие «Таблице распределения полос частот», другим действующим нормативно-техническим документам в области ЭМС.

По результатам предварительного анализа радиочастотной заявки аппарат ГКРЧ:

- направляет материалы радиочастотной заявки на экспертизу для определения возможности использования заявленных РРС;
- запрашивает, при необходимости, у заявителя дополнительные материалы, требуемые для рассмотрения радиочастотной заявки;
- готовит проект решения ГКРЧ для рассмотрения его на ближайшем заседании Комиссии без направления материалов радиочастотной заявки на экспертизу (в случаях, предусмотренных действующим Положением о выделении);
- возвращает заявителю радиочастотную заявку для ее доработки в случаях, если она представлена:
 - с нарушением установленных правил ее оформления или требований действующего Положения о выделении:
 - при несоответствии заявленных характеристик радиоизлучения и приема РРС требованиям нормативно-технических документов в области ЭМС;
 - при несоответствии заявленных полос радиочастот действующей «Таблице распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации»;
 - при нарушении международных обязательств в области распределения и использования радиочастотного спектра, принятых в Российской Федерации.

Следовательно, если результаты предварительного анализа материалов радиочастотной заявки положительны, то они направляются на экспертизу заинтересованным членам Комиссии для определения возможности использования заявленных РРС.

В противном случае материалы этой радиочастотной заявки возвращаются на доработку. В этом случае заявитель обязан устранить отмеченные аппаратом ГКРЧ недостатки и переоформленную радиочастотную заявку вновь представить в ГКРЧ.

Таким образом, сроки оформления разрешительных документов, а значит, и связанные с ними сроки внедрения оборудования, нередко во многом зависят от самих заявителей. Если представленная заявителем радиочастотная заявка выполнена с нарушением правил ее оформления или, к примеру, заявленные характеристики радиоизлучения не соответствуют требованиям НТД, то сроки получения заявителем решения ГКРЧ естественно отодвигаются из-за возврата заявки и необходимости ее повторного представления в ГКРЧ.

По материалам разосланной членам Комиссии радиочастотной заявки организуется проведение технической экспертизы этих материалов, оценка возможности обеспечения электромагнитной совместимости заявляемых РРС с другими радиоэлектронными средствами, а также подготовка соответствующего заключения экспертизы и направление его в аппарат ГКРЧ.

После получения от всех членов ГКРЧ заключений по материалам разосланной радиочастотной заявки аппарат Комиссии готовит соответствующий проект решения, который выносится для рассмотрения на ближайшем заседании ГКРЧ.

При этом если все полученные заключения положительные, то аппаратом ГКРЧ готовится проект положительного решения ГКРЧ. При наличии отрицательного заключения экспертизы аппаратом Комиссии готовится проект отрицательного решения ГКРЧ, т.е. отказ в выделении запрашиваемой полосы радиочастот.

Подготовленные аппаратом ГКРЧ проекты решений рассматриваются на заседании Комиссии с участием членов ГКРЧ. Принятые на заседании Комиссии решения подписываются Председателем ГКРЧ и в форме выписки из Протокола заседания ГКРЧ направляются заявителям.

После получения решения ГКРЧ заявитель обязан реализовать его с соблюдением всех указанных в нем условий. Полученное решение ГКРЧ одним юридическим лицом не может быть распространено на другие юридические лица. Кроме того, решения ГКРЧ не закрепляют полосу частот за заявителем навечно, а лишь констатируют, что заявитель имеет право доступа к частотному ресурсу.

Часто встречается заблуждение, что если диапазон частот выделен для РЭС данного типа в соответствии с «Таблицей распределения полос частот», то получать частное решение ГКРЧ не нужно. Решение ГКРЧ в этом случае также обязательно. Частные решения ГКРЧ не требуется получать только, если по данному типу РЭС принято обобщенное решение ГКРЧ, в котором указано на отсутствие необходимости получения частного решения.

Однако, иногда производители оборудования сознательно идут на получение частных решений ГКРЧ на разработку и серийное производство, т.к. этими решениями в лучшую для потребителя сторону могут быть изменены параметры РРС, например, может быть установлена мощность излучения большая, чем в обобщенном решении, быть шире доступный диапазон частот и пр. Иногда могут быть изменены и правила применения РРС.

3. РАСЧЕТ ТРАСС РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ

Расчет трасс РРЛ, как правило, выполняется на этапах проектирования новых или модернизации существующих линий связи. При проектировании должны быть определены все основные параметры линии связи. Сюда относятся: пропускная способность, конфигурация, технические характеристики, диапазон частот и другие. При этом желательно предусмотреть также возможность расширения системы в будущем.

При расчете РРЛ немалое внимание должно быть уделено также частотному плану линии связи.

При организации связи с использованием РРС прием и передача на радиорелейной станции производится на разных частотах для того, чтобы исключить возможность возникновения паразитных связей между входом приемника и выходом передатчика. Поэтому, естественно, для передачи сигналов по одному стволу в одном направлении необходимо использовать, как минимум, две частоты. Соответственно, для передачи сигналов в обратном направлении требуется использовать тоже, как минимум, две частоты.

Эти две используемые частоты могут быть теми же самыми, что и при передаче сигнала в прямом направлении. Тогда такая система связи будет называться двухчастотной системой организации линии связи. В этом случае говорят, что радиорелейная линия связи (радиорелейная система) работает по двухчастотному плану. Однако для передачи сигнала в обратном направлении в том же самом стволе могут быть использованы и две другие частоты. Тогда такая система связи будет называться четырехчастотной системой. Следовательно, в этом случае радиорелейная линия связи (радиорелейная система) работает по четырехчастотному плану.

Иногда на практике можно встретить также шестичастотный и, даже, восьмичастотный план РРЛ.

При двухчастотной системе связи используются довольно сложные антенны, имеющие защиту от приема сигналов с обратного направления не менее 60 дБ. Двухчастотная система применяется обычно на РРЛ большой и средней емкости.

При четырехчастотной системе допускается использование более простых антенн (а, значит, и более дешевых). Однако и количество дуплексных стволов, которое может быть образовано в той же самой полосе частот, выделенной для РРС, при четырехчастотной системе, будет в два раза меньше, чем при двухчастотной системе. Четырехчастотная система с более простыми антеннами применяется на РРЛ средней и малой пропускной способности (малой и средней емкости).

Если радиорелейная линия связи состоит из нескольких интервалов (пролетов), то частоты могут через несколько интервалов повторяться. Например, при двухчастотной системе организации линии связи одни и те же частоты могут повторяться через интервал. Следовательно, теоретически

возможен прием сигнала от станции, отстоящей на три интервала (минуя две станции), что может приводить к значительным искажениям принимаемых сигналов. Это может в некоторых случаях оказаться возможным из-за изменения условий распространения радиоволн, например, при повышенной рефракции. Во избежание этого радиорелейные станции по трассе располагают на ломаной линии (т.е. применяется всем известный принцип «зигзагообразности») с тем, чтобы паразитный сигнал дополнительно ослаблялся за счет направленных свойств антенн.

В то же время, иногда на практике встречаются случаи, когда принцип «зигзагообразности» невозможно применить. Это может происходить, например, в случае, когда требуется организовать РРЛ технологической связи вдоль магистральных линий электропередач, либо вдоль трасс нефтепроводов или газопроводов, а также в иных ситуациях. В таких случаях организацию РРЛ допускается осуществлять по шестичастотной схеме.

В радиорелейных системах частоты приема и передачи в одном стволе РРЛ чередуются от станции к станции. Станции, на которых прием осуществляется на более низкой частоте, а передача – на более высокой принято обозначать индексом «НВ». Станции, на которых прием производится на более высокой частоте, а передача – на более низкой, принято обозначать индексом «ВН».

В случае применения многоствольных РРЛ планы распределения частот этих РРЛ разрабатываются не произвольно, а с таким расчетом, чтобы свести к минимуму интерференционные помехи, возникающие при одновременной работе нескольких приемников и передатчиков на общий антенно-фидерный тракт.

При проектировании рассматривают задачи в следующей постановке:

1. При проектировании новых РРЛ, на основе требований технического задания (ТЗ), требований к качественным показателям функционирования линии и учетом электромагнитной совместимости разрабатываемой РРЛ и других радиоэлектронных средств в заданном районе, выбираются параметры РРЛ – трасса РРЛ, тип используемого оборудования, места и высоты установки антенно-фидерных устройств (АФУ).

2. При модернизации РРЛ часто многие параметры РРЛ уже не могут быть изменены. В этом случае производится проверочная оценка качественных показателей функционирования линии, которые могли измениться при модернизации параметров РРЛ.

В процессе проектирования РРЛ учитываются многие факторы. Это и особенности распространения радиоволн в атмосфере, и земные профили, и метеоусловия, и помехи (в том числе, шумы и мешающие сигналы), и надежность, а также многие другие.

Для проектирования, настройки, строительства и эксплуатации РРЛ существуют требования и нормы на РРЛ. Нормы установлены как на показатели качества функционирования РРЛ (пропускную способность, надежность и т.п.), так и на технические характеристики (полосы рабочих

частот; несущие частоты; остаточное затухание; отношение сигнал/помеха; девиация частоты; число переключений по низкой частоте и т.п.).

Нормы на электрические характеристики каналов зависят от вида передаваемых сигналов (аналоговых или цифровых), вида передаваемой информации (телефонная связь, ТВ-вещание и т.д.). Кроме того, некоторые нормы (например, нормы на шумы) зависят от вида РРЛ (прямой видимости или тропосферные) и способа разделения каналов (частотного либо временного).

Международный союз электросвязи устанавливает нормы на качественные показатели функционирования линии. Нормы устанавливаются для эталонных или гипотетических цепей, имеющих определенную протяженность и структуру. При проектировании РРЛ производится пересчет этих норм для проектируемой РРЛ.

Для аналоговых РРЛ нормы устанавливаются на такие показатели, как шумовая защищенность канала, устойчивость работы линии и др.

Для цифровых РРЛ требования предъявляются к качественным показателям функционирования РРЛ. Основными из них являются показатели неготовности и показатели качества по ошибкам.

3.1. Показатели качества функционирования радиорелейных линий

3.1.1. Шумовая защищенность канала

Под нормируемой шумовой защищенностью канала понимается отношение сигнал/шум, полученное на выходе канала линии полной протяженности при передаче по нему измерительного сигнала частотой 800 Гц и номинальным уровнем, т.е.

$$h^2 = \frac{P_{\text{с.в.в.з.ном.}}}{P_{\text{ш}}}, \quad (3.1)$$

где $P_{\text{с.в.в.з.ном.}}$ – номинальная (для данного режима использования) мощность сигнала на выходе канала; $P_{\text{ш}}$ – мощность шума на выходе канала.

Так как мощность сигнала, рассматриваемого отношения сигнал/шум в РРЛ, напрямую зависит от ослабления на интервале РРЛ, то понятие шумовой защищенности тесно связано с понятием минимально допустимого множителя ослабления.

Рекомендациями МСЭ нормируется минимально допустимый множитель ослабления для телефонного ($V_{\min \text{ ТФ}}$) и телевизионного ($V_{\min \text{ ТВ}}$) каналов

$$V_{\min \text{ ТФ}} = 44 - K_{\text{ТФ}} - L_{\text{пост}}, \quad (3.2)$$

$$V_{\min \text{ ТВ}} = 44 - K_{\text{ТВ}} - L_{\text{пост}}. \quad (3.3)$$

Выполнение этих норм позволяет обеспечить шумовую защищенность канала.

3.1.2. Устойчивость связи на радиорелейной линии

При эксплуатации РРЛ, вследствие случайного характера изменения условий распространения сигнала, характеристики канала РРЛ также изменяются случайным образом, что может приводить к ухудшению качества связи. Поэтому, например, важным является не только обеспечение шумовой защищенности канала, но и устойчивость этого показателя во времени. Связь на РРЛ считается устойчивой, если выполняется неравенство

$$T_{\Sigma}(V_{\min}) \leq T_{\text{доп}}, \quad (3.4)$$

где $T_{\text{доп}}$ – допустимый процент времени (любого месяца года) ухудшения качества связи на РРЛ;

$T_{\Sigma}(V_{\min})$ – суммарный расчетный процент времени ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала.

В расчетах исходят из предположения о неодновременности глубоких замираний на пролетах РРЛ, т. е. если в данный момент времени на одном из пролетов возникли глубокие замирания сигнала, то на остальных $(n - 1)$ пролетах (где n – число пролетов на РРЛ) глубоких замираний сигнала в данный момент не будет. При этом расчет устойчивости связи проводят следующим образом: поочередно рассматривают каждый пролет проектируемой РРЛ, предполагая на нем глубокие замирания сигнала и определяя процент времени ухудшения качества связи из-за замираний на этом пролете. Суммарный процент времени ухудшения качества связи на всей РРЛ определяют как сумму процентов времени, вносимых каждым из пролетов,

$$T_{\Sigma}(V_{\min}) = \sum_{i=1}^n T_i(V_{\min}). \quad (3.5)$$

В большинстве случаев поверочный расчет устойчивости производится при условии, что $P_{\text{ш max}} = 47\,500$ пВт. При этом:

1. Для магистральных линий протяженностью $L > 280$ км и Зоновых линий длиной $L > 200$ км максимальный процент времени ухудшения качества связи

$$S_{\text{max}} = 0,1L / L_{\Gamma}, \quad (3.6)$$

где L_{Γ} – длина эталонной гипотетической линии.

2. Для линий магистральной сети протяженностью $50 \leq L \leq 280$ км максимальный процент времени ухудшения качества связи

$$S_{\text{max}} = 0,1 \cdot 280 / 2500 = 0,0112\% \quad (3.7)$$

вне зависимости от длины линии L .

3. Для линий Зоновой сети протяженностью по $50 \leq L \leq 280$ км максимальный процент времени ухудшения качества связи

$$S_{\text{max}} = 0,1 \cdot 200 / 1400 = 0,0143\% \quad (3.8)$$

вне зависимости от длины линии.

Если при расчете устойчивости магистральных РРЛ принимается $P_{\text{ш max}} = 10^6$ пВт, то при $L = L_{\Gamma} S_{\text{max}} = 0,01\%$. При $L < L_{\Gamma}$ в (3.7) и (3.8) вместо $0,1\%$ подставляется величина $0,01\%$.

3.1.3. Показатели неготовности

Для цифровых РРЛ рассматривают следующие показатели качества функционирования: показатель неготовности (ПНГ) и показатель качества по ошибкам (ПКО).

Неготовность аппаратуры – такое состояние участка ЦРРЛ, при котором в течение десяти секундных интервалов, следующих подряд, имеет место хотя бы одно из событий:

- пропадание сигнала (потеря синхронизации);
- коэффициент ошибок

$$k_{\text{ош}} = N_{\text{ош}} / N > 10^{-3}, \quad (3.9)$$

где N – число переданных символов, $N_{\text{ош}}$ – число ошибочно принятых символов.

Причины, приводящие к неготовности аппаратуры:

- экранирующее влияние препятствия при субрефракции;
- влияние гидрометеоров (учитывается при частотах выше 6 ГГц);
- влияние промышленных атмосферных метеоров (экологические факторы).
- ненадежность аппаратуры;
- ошибки обслуживающего персонала.

Таблица 3.1

Качество линии		ПНГ, %
Линии связи высокого качества		$\leq 0.3 L / 2500$
Линии связи среднего качества	1 класс	$\leq 0.033 (L = 280 \text{ км})$
	2 класс	$\leq 0.05 (L = 280 \text{ км})$
	3 класс	$\leq 0.05 (L = 50 \text{ км})$
	4 класс	$\leq 0.1 (L = 50 \text{ км})$
Линии связи локального качества		$\leq 0.01-1$

В ряде случаев принято оценивать состояние оборудования термином «готовность». При этом общее время работы оборудования составляется из периодов готовности и неготовности, а линия находится в состоянии готовности, если оба ее направления «готовы».

3.1.4. Показатели качества по ошибкам

Показатели качества по ошибкам системы связи относятся к тем промежуткам времени, в течение которых система находится в состоянии готовности.

Различаются следующие параметры:

- сильно пораженные секунды – СПС (SES);
- минуты пониженного качества – МПК (DM);
- секунды с ошибками – СО (ES);
- остаточный $k_{\text{ош}}$ – ОКО (RBER).

Сильно пораженные секунды представляют собой процент времени превышения величины $k_{\text{ош}} = 10^{-3}$ за 1 секунду. Минуты пониженного качества – процент времени превышения $k_{\text{ош}} = 10^{-6}$ за 1 минуту. Секунды с ошибками - процент времени превышения $k_{\text{ош}} = 10^{-6}$ за 1 секунду (эта норма определяет качество работы системы связи при передаче данных). В некоторых источниках имеется определение параметра секунды с ошибками как процентное отношение числа бракованных секунд, в течение которых имеется одна или больше ошибок к общему времени работы системы. Параметр СО определяется любыми причинами (а не только замираниями на трассе линии связи).

Величины всех этих параметров зависят от интерференционных замираний сигнала на интервале ЦРРЛ, которые складываются из гладких и частотно-селективных. К гладким замираниям необходимо относить такие замирания, которые не искажают частотную характеристику системы связи.

Соответственно частотно-селективные замирания влияют на АЧХ ствола РРЛ, т.е. в пределах полосы пропускания линии связи вносят различные ослабления на разных частотах. Эти замирания необходимо учитывать при полосе пропускания ВЧ ствола больше 10-15 МГц.

Таблица 3.2

Линии связи высокого качества		СПС $\leq 0.054\% L / 2500$
		МПК $\leq 0.4\% L / 2500$
Линии связи среднего качества $L_{\text{секции}} = 280$ км	1 класс	СПС $\leq 0.06\%$ МПК $\leq 0.45\%$
	2 класс	СПС $\leq 0.0075\%$ МПК $\leq 0.2\%$
Линии связи среднего качества $L_{\text{секции}} = 50$ км	3 класс	СПС $\leq 0.002\%$ МПК $\leq 0.2\%$
	4 класс	СПС $\leq 0.005\%$ МПК $\leq 0.5\%$
Линии связи локального качества		СПС $\leq 0.015\%$ МПК $\leq 1.5\%$

Необходимо иметь в виду, что для проектирования новых цифровых беспроводных линий связи рекомендуется пользоваться новыми, более жесткими нормами, установленными в соответствии с Рек. ITU-R G.826, особенно, при проектировании систем связи синхронной цифровой иерархии (SDH).

3.2. Распространение радиоволн в свободном пространстве

3.2.1. Особенности частотных диапазонов, используемых для радиорелейных линий

Радиорелейные линии, как правило, работают в метровом, дециметровом, сантиметровом и частично в миллиметровом диапазонах волн. Согласно Регламенту радиосвязи [27] эти частотные диапазоны имеют номенклатуру, указанную в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Номер диапазона	Диапазон частот	Длина волны	Метрическое подразделение	Сокращенное обозначение
8	30 – 300 МГц	10 – 1 м	Метровые волны	ОВЧ(VHF)
9	300 – 3000 МГц	100 – 10 см	Дециметровые волны	УВЧ(UHF)
10	3 – 30 ГГц	10 – 1 см	Сантиметровые волны	СВЧ(SHF)
11	30 – 300 ГГц	1 см – 1 мм	Миллиметровые волны	КВЧ(EHF)

В настоящее время границы использования диапазона частот для РРЛ различного назначения составляют примерно от 60 МГц до 95 ГГц, причем диапазон выше 20 ГГц используется, в основном, для строительства коротких соединительных линий.

Принципиального различия в распространении метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн нет. Однако по мере укорочения длины волны на распространение радиоволн начинают все в большей степени влиять рельеф местности, различного рода строения, а также метеорологические условия. Кроме того, в миллиметровом диапазоне и коротковолновой части сантиметрового диапазона волн происходит поглощение в гидрометеорах (дождь, туман, град, снег) и газах атмосферы (кислород, водяные пары). Волны длиннее 3 – 4 м могут при благоприятных условиях распространяться на большие расстояния из-за отражения от ионизированных слоев атмосферы и метеорных следов. На распространение более коротких волн ионосфера влияния не оказывает [28,29].

3.2.2. Расчет мощности сигнала на входе приемника

Под свободным пространством понимается такое однородное безграничное пространство, в котором отсутствуют молекулы, атомы, свободные заряды. Условия, близкие к свободному пространству, наблюдаются, например, на космических линиях связи, в отдельные периоды времени на интервалах РРЛ.

Энергетические соотношения, полученные в условиях свободного пространства, являются исходными для расчета радиолиний во всех диапазонах частот [28,29].

Так как на больших расстояниях от излучателя $R_0 \gg \lambda$ излучаемую им сферическую волну в пределах небольшой площади, занимаемой приемной

антенной, приближенно можно считать плоской, то волновое сопротивление свободного пространства равно:

$$\frac{|\bar{E}_0|}{|\bar{H}_0|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi, \quad (3.10)$$

где $\varepsilon_0 = 1/4\pi \times 9 \cdot 10^9$, [Ф/м] – диэлектрическая проницаемость вакуума;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, [Гн/м] – магнитная проницаемость вакуума;

Модуль напряженности электрического поля $|\bar{E}_0|$ на расстоянии R от излучателя можно определить следующим образом:

$$|\bar{E}_0| = \sqrt{\frac{30P}{R^2}}, \quad (3.11)$$

т.е. напряженность электрического поля на расстоянии R от излучателя. Фаза вектора E_0 при прохождении волной расстояния R приобретает значение

$$\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot R. \quad (3.12)$$

Плотность потока электромагнитной энергии, пропорциональная квадрату напряженности поля волны, убывает с увеличением расстояния R_0 от источника обратно пропорционально R_0^2 , что приводит к ограничению расстояния, на котором может быть принят сигнал передающей станции. Мощность сигнала на входе приемника в ваттах можно определить из основного уравнения радиосвязи

$$P_{0 \text{ пр}} = P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} G_{\text{пр}} \lambda^2 / 16\pi^2 R_0^2, \quad (3.13)$$

или

$$P_{0 \text{ пр}} = P_{\text{пер}} S_{\text{пер}} S_{\text{пр}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} / \lambda^2 R_0^2, \quad (3.14)$$

где $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика, Вт;

$G_{\text{пер}}$ – коэффициент усиления передающей антенны (по мощности) относительно ненаправленной антенны;

$\eta_{\text{пер}}$ – коэффициент полезного действия передающего антенно-фидерного тракта;

$G_{\text{пр}}$ – коэффициент усиления (по мощности) приемной антенны по отношению к ненаправленному излучателю;

$\eta_{\text{пр}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) приемного антенно-фидерного тракта;

λ – длина волны;

$S_{\text{пер}}, S_{\text{пр}}$ – действующие площади антенн;

R_0 – расстояние между точками передачи и приема.

Величину $P_{0 \text{ пр}}$ удобно выражать в децибелах:

$$P_{0 \text{ пр}} = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} + G_{\text{пр}} + \eta_{\text{пер}} + \eta_{\text{пр}} + W_0, \quad (3.15)$$

где все величины даны в децибелах, а W_0 – ослабление в свободном пространстве между ненаправленными антеннами, которое может быть рассчитано по формуле

$$W_0 = 20 \lg(\lambda / 4\pi R_0). \quad (3.16)$$

3.2.3. Область пространства, влияющая на распространение радиоволн

При распространении радиоволн в однородном безграничном пространстве различные области этого пространства неодинаково влияют на процесс формирования поля в точке приема. Области пространства, которые играют определяющую роль в формировании поля в точке приема, называются зонами Френеля. Эти зоны можно определить исходя из принципов волноводной оптики Гюйгенса-Френеля.

Любая зона Френеля представляет собой эллипсоиды вращения вокруг прямой АВ, соединяющей приемник и передатчик.

Радиус зоны Френеля, на расстоянии R_1 от точки А, определяется по следующей формуле.

$$\rho_n = \sqrt{\frac{n\lambda R_1(R - R_1)}{R}}, \quad (3.17)$$

где n – номер зоны Френеля.

На плоскости зоны Френеля будут выглядеть, как показано на рисунке 3.1.

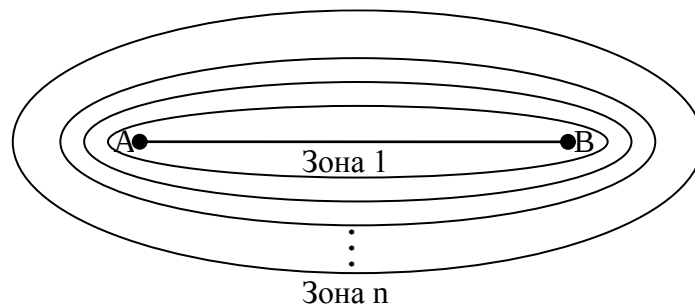


Рисунок 3.1

Следует отметить, что зоны Френеля, показанные на рисунке 3.1, позволяют увидеть пространство, которое участвует в образовании поля в точке В. Принято считать, что поле в точке В создается 8 ÷ 12 зонами Френеля.

Для связистов, проектирующих РРЛ прямой видимости, основные выводы из сказанного выше могут быть следующими:

1. Любое частичное экранирование пространства неровностями рельефа местности ослабляет излучение, исходящее из некоторых зон Френеля, что влияет на мощность сигнала на входе приемника.

2. Напряженность поля в точке приема от первой зоны Френеля в 2 раза превышает напряженность поля, определяемую всеми остальными зонами.

Таким образом, основная доля энергии передается внутри первой зоны Френеля. Соответственно, желательным, при выборе трассы РРЛ прямой видимости, является отсутствие предметов, экранирующих первую зону Френеля.

3. Зависимость напряженности поля в точке приема от просвета H показана на рисунке 3.3. Эта зависимость имеет характер колебаний, и амплитуда этих колебаний убывает с увеличением просвета. При большом просвете (когда открыто 8 – 12 зон Френеля) эти колебания практически затухают, и напряженность поля в точке приема соответствует напряженности поля свободного пространства $E_{св}$. В тоже время, внутри первой зоны Френеля, может быть выделена первая (минимальная) зона Френеля, граница которой определяется разностью хода лучей (прямого и обратного), равная $\lambda/6$. При этом напряженность поля в точке приема также равна $E_{св}$. Первая зона Френеля должна быть свободна от препятствий. Любое экранирование этой зоны приводит к ухудшению качества связи. Напряженность поля в точке приема, созданная всеми вторичными излучателями, расположенными внутри первой зоны Френеля, численно равна напряженности поля свободного пространства. Это обстоятельство положено в основу расчета просвета (выбора высот подвеса антенн).

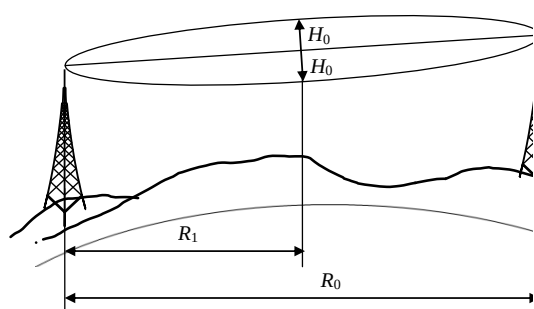


Рисунок 3.2

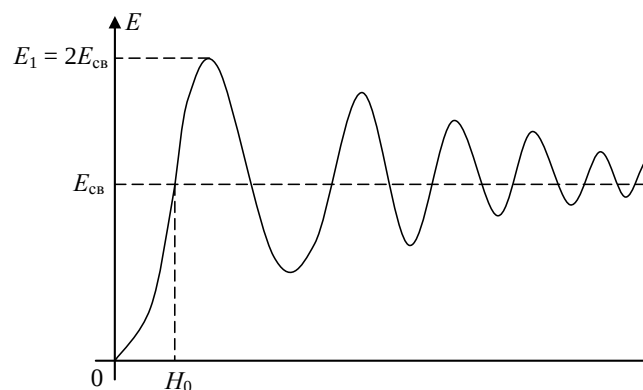


Рисунок 3.3

Радиус первой зоны Френеля в любой точке пролета равен

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda \kappa (1 - \kappa)}, \quad (3.18)$$

где $\kappa = R_1 / R_0$ — относительная координата точки определения радиуса зоны (рисунок 3.2).

3.2.4. Ослабление поля свободного пространства в реальных условиях

Реальные условия распространения радиоволн существенно отличаются от условия распространения в свободном пространстве из-за наличия границы раздела «атмосфера – Земля» и неоднородного строения атмосферы и земной поверхности. При распространении волны в таких материальных средах происходит изменение ее фазовой скорости и поглощение энергии. Это объясняется возбуждением колебаний электронов и ионов в атомах и

молекулах среды под действием электрического поля волны и переизлучением ими вторичных волн. Сдвиг фаз между первичной и переизлученной волнами приводит к изменению фазовой скорости. Потери энергии при взаимодействии волны с атомами являются причиной поглощения радиоволн. Для учета влияния поверхности Земли и неоднородности атмосферы на распространение радиоволн вводят понятия множителя ослабления поля свободного пространства V (сокращенно – множителем ослабления).

Множитель ослабления V есть отношение напряженности поля E на расстоянии R_0 от передающей антенны при распространении в реальных условиях к напряженности поля E_0 на том же расстоянии R_0 при распространении в свободном пространстве, т.е.

$$V = \frac{\bar{E}}{E_0} = |V| e^{i \arg V}, \quad (3.19)$$

где: $|V|$ – модуль множителя ослабления, $\arg V$ – фаза множителя ослабления.

Множитель ослабления V зависит от протяженности трассы, длины волны, высот антенн, вида поляризации радиоволн, характера рельефа местности на трассе, а также от неоднородностей атмосферы, подверженного весьма значительным случайным изменениям, структуры ионосферы и т.д. Из-за сложности и многообразия реальных природных условий практически невозможно создать строгие методы расчета V . Вследствие зависимости величины ослабления V от множества случайных факторов ее описание носит статистический характер, поэтому основной задачей является определение закона распределения величины V или оценок его вероятностных характеристик: математического ожидания, дисперсии, корреляционных функций и спектра. Для оценки V , как правило, пользуются приближенными методами, учитывающими влияние рефракции и рельефа местности.

В общем случае, с учетом множителя ослабления, формула для расчета мощности сигнала на входе приемника будет иметь вид

$$P_{\text{пр}} = P_{0 \text{ пр}} V^2, \quad (3.20)$$

где $P_{0 \text{ пр}}$ определяется формулами (3.13), (3.14). На практике величину ослабления удобно выражать в децибелах:

$$V_{\text{дБ}} = 20 \lg V = 10 \lg(P_{\text{пр}} / P_{0 \text{ пр}}). \quad (3.21)$$

Ослабление при передаче энергии в реальных условиях (между выходом передатчика и входом приемника)

$$P_{\text{пр}} / P_{\text{пер}} = G_{\text{пер}} + G_{\text{пр}} + \eta_{\text{пер}} + \eta_{\text{пр}} + W_0 + V, \quad (3.22)$$

где W_0 определяется по формуле (3.16), а все величины даны в децибелах.

3.2.5. Учет рефракции радиоволн

Неоднородность нижних слоев атмосферы приводит к тому, что ее диэлектрическая проницаемость изменяется с высотой. Это изменение, в свою очередь, влечет за собой искривление траектории распространения радиоволн.

Такое искривление траекторий волн, обусловленное неоднородным строением тропосферы, называется *рефракцией*.

Для оценки величины искривления траектории волны в тропосфере рассматривают характер поведения коэффициента преломления в тропосфере, который определяют из выражения

$$n = \sqrt{\varepsilon} \approx 1 + (\varepsilon - 1) / 2, \quad (3.23)$$

где относительная диэлектрическая проницаемость воздуха

$$\varepsilon = 1 + (1,552 \cdot 10^{-4} / T)(P + 4810e / T); \quad (3.24)$$

T – абсолютная температура воздуха, К;

P, e – давление воздуха и водяных паров, гПа (1 гПа = 1 мбар).

Коэффициент преломления в тропосфере n и относительная диэлектрическая проницаемость воздуха ε по величине близки к единице и поэтому чаще пользуются коэффициентом преломления, выраженным в «Нединицах»:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \approx [(\varepsilon - 1) / 2] \cdot 10^8. \quad (3.25)$$

Основное влияние на рефракцию оказывают вертикальные неоднородности g , которые характеризуются вертикальным градиентом диэлектрической проницаемости

$$g = d\varepsilon / dh \quad (3.26)$$

или вертикальным градиентом показателя преломления

$$g_n = dn / dh = 0,5g, \quad (3.27)$$

где h – высота над поверхностью земли.

Для упрощения расчетов, при учете влияния тропосферы, в некоторых случаях оказывается удобным свести распространение волн по криволинейной траектории к распространению волны по прямолинейной траектории. Такое упрощение производится путем введения понятия эквивалентного радиуса Земли a_3 , справедливое при линейном изменении ε с высотой. В действительности в тропосфере в среднем ε убывает с высотой по экспоненциальному закону. Но для сравнительно тонких слоев, к которым можно отнести приземный слой, участвующий в переносе энергии на трассах РРЛ, это упрощение допустимо.

Под величиной a_3 понимают такое значение радиуса Земли, при котором траектории радиоволн можно считать прямолинейными, причем

$$a_3 = a / (1 + ag / 2), \quad (3.28)$$

$$K_3 = a_3 / a. \quad (3.29)$$

В зависимости от значений g и a_3 различают следующие виды рефракции радиоволн в тропосфере (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4

Отрицательная рефракция, или *субрефракция*, которая наблюдается при $g > 0$ (ϵ увеличивается с высотой), $a_s < a$, $K_s < 1$. Субрефракция появляется при возрастании влажности воздуха с высотой, причем наиболее часто осенью или весной во время утренних приземных туманов. Она нередко носит местный характер и отмечается на трассе РРЛ или ее участке, где имеются низины и застаивается холодный воздух.

Положительная рефракция, которая наблюдается при $g < 0$ (ϵ уменьшается с высотой), $a_s > a$, $K_s > 1$.

Частные случаи положительной рефракции:

1. Стандартная рефракция при $g = -8 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$; $a_s = 8500 \text{ км}$; $K_s = 4/3$. Наиболее распространенный случай рефракции (среднее состояние тропосферы).

2. Повышенная рефракция при $g < -8 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$; $a_s > 8500 \text{ км}$. Причиной возникновения являются температурные инверсии (увеличение температуры воздуха с высотой) и резкое уменьшение влажности с высотой. Наиболее часто отмечается в вечерние, ночные и утренние часы летних месяцев.

3. Критическая рефракция при $g_k = -2/a = -31,4 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$; $a_s = \infty$, т.е. эквивалентная земная поверхность представляется плоской. Волна движется параллельно этой поверхности на постоянной высоте. Причины возникновения те же, что и в случае повышенной рефракции.

4. Сверхрефракция при $g < -31,4 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$, $a_s < 0$. В этом случае луч распространения радиоволны искривляется так, что они снова доходят до земли, отражаются от нее, а затем, отразившись снова от нижних слоев атмосферы, снова возвращаются на землю и т.д. Эквивалентный радиус Земли оказывается отрицательным. Область пространства, в котором происходит распространение радиоволны, называется тропосферным волноводом. Волноводные условия распространения возникают также при резких изломах высотного профиля диэлектрической проницаемости воздуха, вызывающих сильные отражения радиоволн.

Тропосферные волноводы могут появляться в приземном (приводном) и в приподнятом слоях воздуха. При этом они обнаруживаются как по всей трассе, так и на отдельных ее участках. Волноводные условия распространения возникают главным образом над теплыми морями, реже – над сушей, в районах с ровной подстилающей поверхностью.

Несмотря на значительное увеличение дальности связи при волноводном распространении (сотни километров), это явление не может быть использовано для практических целей из-за малой вероятности появления волноводов. Его рассматривают как источник дополнительных замираний или помех на интервалах РРЛ, работающих на одинаковых или близких частотах.

Исследования диэлектрической проницаемости тропосферы показывают, что горизонтальные неоднородности ϵ значительно меньше вертикальных и проявляются чаще всего на границе суши с морем.

Для учета нелинейного изменения ϵ с высотой и изменений ϵ по длине трассы, которые могут наблюдаться в реальных условиях, вводится понятие *эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха* $g_{эф}$. Под величиной $g_{эф}$ понимают постоянный по высоте градиент ϵ , при котором напряженность поля в точке приема будет такой же, как и в случае реального изменения ϵ на трассе. Величина $g_{эф}$ характеризует сравнительно плавные изменения диэлектрической проницаемости воздуха.

Статистические распределения значений $g_{эф}$ различны для разных климатических районов. Для большинства климатических районов РФ $g_{эф}$ подчиняется примерно нормальному закону распределения случайных величин со средним значением $\bar{g}_{эф}$ и стандартным отклонением σ , причем дисперсия значений $g_{эф}$, как правило, существенно больше в летние месяцы.

Проектирование РРЛ ведется исходя из условий выполнения норм на качественные показатели линий в наиболее неблагоприятные месяцы. В большинстве районов РФ – это летнее время. Для некоторых специфических районов необходимо учитывать распределения $g_{эф}$ и σ для других месяцев года, так как они могут повлиять на выбор высот антенных опор или ухудшить качественные показатели по сравнению с летними месяцами.

В эксплуатационных условиях по данным $\bar{g}_{эф}$ и σ для заданного климатического района можно оценить ожидаемые пределы колебаний качественных показателей РРЛ, определяемых условиями распространения радиоволн при наиболее тяжелых и легких метеорологических условиях.

3.3. Расчет трасс прямой видимости

3.3.1. Учет рельефа местности

Рельеф местности при расчете и проектировании РРЛ учитывается с помощью профилей интервалов линии.

Профиль трассы отображает вертикальный разрез местности между соседними радиорелейными станциями со всеми высотными отметками, включая строения, лес и т. д. (рисунок 3.5). На профиле трассы необходимо

указывать водные поверхности: реки, болота, водохранилища. Построение продольных профилей осуществляется с помощью бумажных и цифровых топографических карт после предварительного выбора трассы. На практике для удовлетворительных расчетов трасс точность построения профилей на критических участках должна быть не хуже ± 3 м.

Для удобства при построении профилей используется параболический масштаб. Профили строят в прямоугольных координатах, откладывая расстояния не по дуге окружности, как в действительности, а по оси абсцисс, а высоты — не по радиусам, а по оси ординат. В этом случае линия, изображающая на профиле уровень моря или другой условный нулевой уровень, от которого отсчитываются все высоты, имеет вид параболы:

$$y = (R_0^2 / 2a) \kappa (1 - \kappa), \quad (3.30)$$

где

$$\kappa = R_i / R_0, \quad (3.31)$$

κ — относительная координата заданной точки;

R_i — расстояние до текущей точки.

Обычно профили трасс РРЛ строят для геометрического радиуса Земли.

Важной характеристикой профиля трассы является его просвет.

Просветом H называют расстояние между линией AB и профилем трассы. Просвет определяют графически в наиболее высокой точке профиля (рисунок 3.5) или в точке отражения на достаточно ровных трассах. Встречаются интервалы РРЛ, где необходимо определять два просвета — в наиболее высокой точке и в точке отражения.

Просвет считается: *положительным*, когда линия AB проходит выше наиболее высокой точки; *отрицательным*, когда эта линия пересекает профиль трассы. Если наиболее высокая часть профиля трассы покрыта лесом, то просвет H определяется относительно верхушек деревьев, ибо лес для рассматриваемых диапазонов волн является непрозрачным препятствием.

В зависимости от величины просвета H трассы подразделяются на следующие:

1. *Открытые*, для которых $H \geq H_0$, где H_0 — просвет на трассе, при котором напряженность поля в точке приема $E_{\text{пр}}$ равна напряженности поля свободного пространства E_0 . Условие равенства $E_{\text{пр}} = E_0$, выполняется при отсутствии затенения первой зоны Френеля, радиус которой определяется в соответствии с выражением (3.18).
2. *Полуоткрытые*, для которых $H_0 > H > 0$. При этом $E_{\text{пр}} < E_0$.
3. *Закрытые*, для которых $H < 0$, $E_{\text{пр}} < E_0$.
4. *Касательные*, для которых $H = 0$, $E_{\text{пр}} < E_0$,

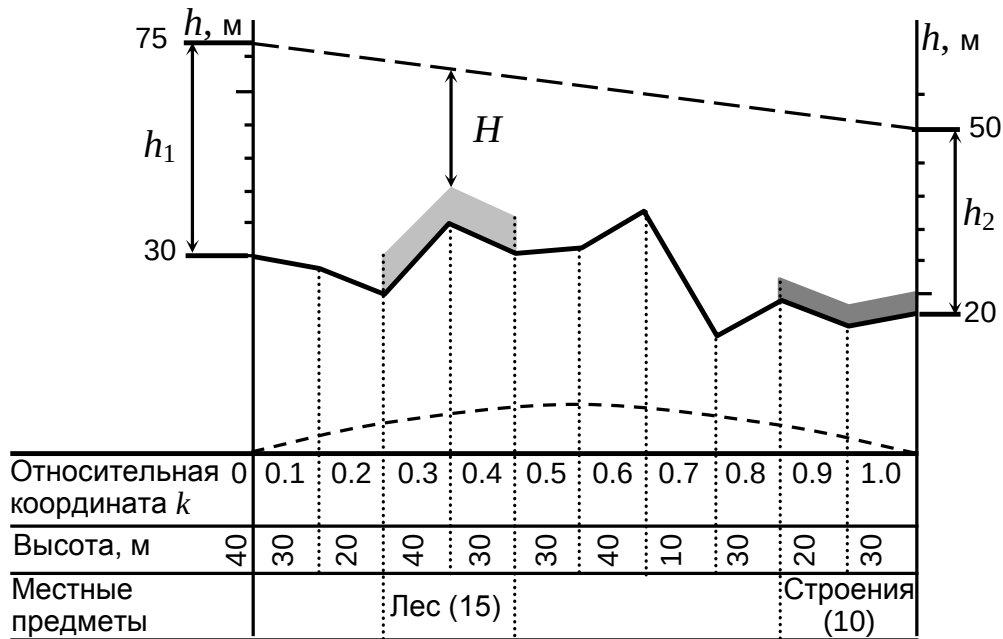


Рисунок 3.5

Последние определяют расстояние прямой видимости $R_{пр}$ (расстояние до радиогоризонта). Для гладкой сферической земной поверхности

$$R_{пр} \approx \sqrt{2a_3}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (3.32)$$

где h_1 и h_2 – высоты антенных опор, м;

a_3 определяется по формуле (3.28).

$R_{пр}$ в выражении (3.32) определяется в километрах.

При отсутствии рефракции для геометрического радиуса Земли $a_3 = a = 6370$ км:

$$R_{пр} \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (3.33)$$

При стандартной рефракции ($a_3 = 8500$ км)

$$R_{пр} \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (3.34)$$

3.3.2. Расчет множителя ослабления на открытых трассах

На открытых интервалах радиорелейных линий множитель ослабления имеет интерференционный характер, так как поле в месте приема является результатом интерференции полей прямой волны и волны отраженной от земной поверхности (рисунок 3.6). Точка отражения определяется равенством углов скольжения θ между касательными к профилю в данной точке и прямыми, проведенными из этой точки в пункты передачи и приема.

В действительности отраженная волна формируется не точкой, а участком земной поверхности, имеющим форму вытянутого вдоль трассы эллипса и охватывающим точку отражения.

На практике можно встретить интервалы РРЛ с одной (рисунок 3.6) и с несколькими точками отражения. Встречаются и такие случаи, когда отраженная волна при некоторых значениях g может экранироваться

неровностями рельефа. Ее следует учитывать без дополнительного ослабления линии, при условии $H_1(g) > H_0$, где $H_1(g)$ – просвет с учетом рефракции, а H_0 – радиус минимальной зоны Френеля для отраженного сигнала.

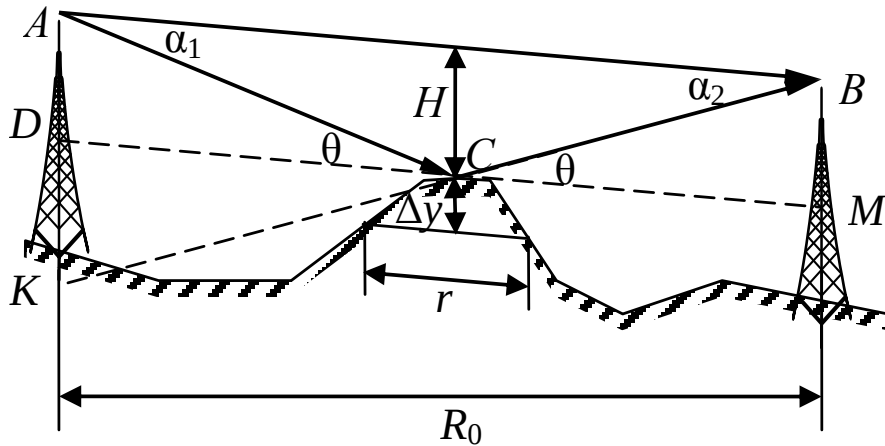


Рисунок 3.6

Модуль множителя ослабления V , при наличии q точек отражения, рассчитывается по интерференционным формулам

$$V = \sqrt{\left(1 + \sum_{i=1}^q \Phi_i \cos \gamma_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^q \Phi_i \sin \gamma_i\right)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, q. \quad (3.35)$$

При одной отраженной волне

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2\Phi \cos \gamma}, \quad (3.36)$$

где Φ – модуль коэффициента отражения от земной поверхности, зависящий от характера рельефа местности и угла скольжения;

$$\theta = H(g) / 2R_0\kappa(1 - \kappa); \quad (3.37)$$

κ – относительная координата точки отражения;

γ – сдвиг фаз между интерферирующими волнами:

$$\gamma = (2\pi / \lambda)\Delta r + \beta = \Delta\gamma + \beta; \quad (3.38)$$

Δr – разность хода между интерферирующими волнами:

$$\Delta r = H^2(g) / 2R_0\kappa(1 - \kappa); \quad (3.39)$$

β – фаза коэффициента отражения.

Коэффициент отражения

Из-за сложности и многообразия природных условий на трассе практически невозможно определить коэффициент отражения Φ достаточно точно. Ориентировочные средние значения Φ для различных видов отражающих поверхностей, полученные при углах скольжения $10 - 30'$, указаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4

№ п/п	Вид поверхности	Φ при длинах волн, см			
		18 - 15	8 - 7	5	3 - 1,5
1	Водная поверхность	0,99-0,9	0,95-0,8	0,85-0,65	0,45-0,2
2	Равнина, пойменные луга, солончаки	0,99-0,8	0,95-0,6	—	—
3	Ровная лесистая местность	0,8-0,6	0,6-0,4	0,3-0,5	0,3-0,1
4	Среднепересеченная лесистая местность	0,5-0,3	0,3-0,2	—	—

На одних и тех же интервалах РРЛ даже сравнительно небольшое увеличение шероховатости отражающей поверхности может заметно уменьшить коэффициент отражения.

При расчете значений V приходится пользоваться некоторыми приближенными оценками значений Φ .

Например, для отражающей выпуклой и гладкой поверхности

$$\Phi \approx D, \quad (3.40)$$

где D – коэффициент расходимости, учитывающий уменьшение модуля коэффициента отражения из-за расхождения пучка волн при отражении от сферической поверхности земли. Коэффициент расходимости с учетом геометрии трассы рассчитывается по формуле

$$D \approx 1 / \sqrt{1 + 32\kappa^2 (1 - \kappa)^2 \Delta y / l^2 H}; \quad (3.41)$$

в интерференционных минимумах

$$D_n = 1 / \sqrt{1 + 13,1 \frac{\alpha \kappa^2 (1 - \kappa)^2}{\sqrt{n} l^2} \left\{ 1 + \frac{l^2 [p(0) - \sqrt{6n}]}{4\alpha \kappa (1 - \kappa)} \right\}}, \quad (3.42)$$

$$\text{где} \quad l = r / R_0; \quad \alpha = \Delta y / H_0; \quad (3.43)$$

r и Δy – хорда и высота сегмента аппроксимирующей сферы, определяющие радиус этой сферы (см. рисунок 3.6).

Частотная селективность

Изменения множителя ослабления на интервале, обусловленные интерференционными явлениями, носят частотно избирательный характер, что выражается в неравномерном ослаблении амплитуд различных составляющих спектра.

При большом коэффициенте отражения и сравнительно широкой полосе частот передаваемых сигналов различие в значениях множителя ослабления для колебаний несущей и боковых частот получается заметным даже для первого интерференционного минимума. А при попадании в более далекие минимумы (например, на интервалах РРЛ с большими просветами) возможно уменьшение амплитуд отдельных составляющих спектра до уровня, меньшего, чем пороговый уровень, что приведет к появлению нелинейных искажений.

3.3.3. Расчет множителя ослабления на полуоткрытых и закрытых трассах

На полуоткрытых и закрытых интервалах РРЛ множитель ослабления рассчитывается с помощью приближенных методов, которые основываются на теории дифракции радиоволн с учетом реальных препятствий на трассе, аппроксимируемых сферами, радиус которых определяется конкретным видом препятствия. Профиль закрытой трассы с препятствием, аппроксимированным сферой, приведен на рисунке 3.7.

При аппроксимации препятствий определяется параметр p , характеризующий радиус кривизны препятствия и зависящий от высоты Δy и хорды r сегмента аппроксимирующей сферы (рисунок 3.7).

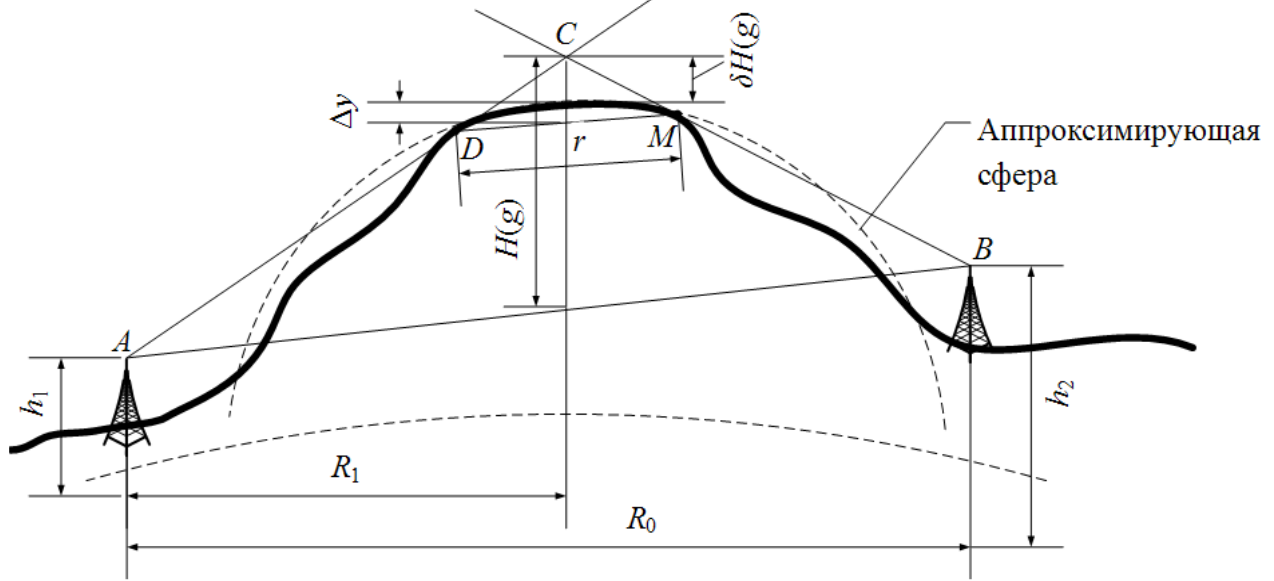


Рисунок 3.7

По значениям r и Δy по (3.43) вычисляются значения l и α .

Трассы с одним препятствием. При $V \geq -(35 \div 40)$ дБ модуль множителя ослабления V дБ можно рассчитать по приближенной формуле

$$V \approx V_0[1 - p(g)], \quad (3.44)$$

где V_0 дБ – значение модуля множителя ослабления на касательной трассе ($H = 0$).

Значение $p(g)$ относительного просвета на трассе при заданном значении g зависит от l и α . Для закрытых трасс существует приближенное выражение

$$p(g) = \frac{H + \Delta H(g) - \delta H(g)}{H_0} = [p(0) + \Delta p(g)]F[A(g)], \quad (3.45)$$

где $\delta H(g)$ – высота точки C над препятствием при данном значении g (рисунок 3.7);

Формула (3.44) дает наибольшие ошибки в области глубокой тени, когда трасса не может быть хорошо аппроксимирована сферой – имеет острую вершину (трасса с клиновидными препятствиями), или в случае плоской

трассы. В этом случае следует пользоваться более точными формулами В. А. Фока.

При наличии на трассе нескольких препятствий с различным взаимным расположением очень трудно достаточно строго рассчитать множитель ослабления. Для этого используются некоторые упрощения и приближенные соотношения:

1. Два или несколько препятствий, близко расположенных друг от друга, могут быть приняты за одно эквивалентное, модуль множителя ослабления V которого рассчитывается в соответствии с выражением (3.44). При этом значения H и r находятся из профиля интервала:

а) r определяется касательными к профилю препятствия и равно расстоянию между точками касания, если при этом оказывается, что $\Delta y \geq H_0$;

б) если $\Delta y < H_0$, то первоначально от точки пересечения касательных откладывается отрезок $\Delta y \approx H_0$, а затем проводится линия, параллельная AB , определяющая хорду r (рисунок 3.8).

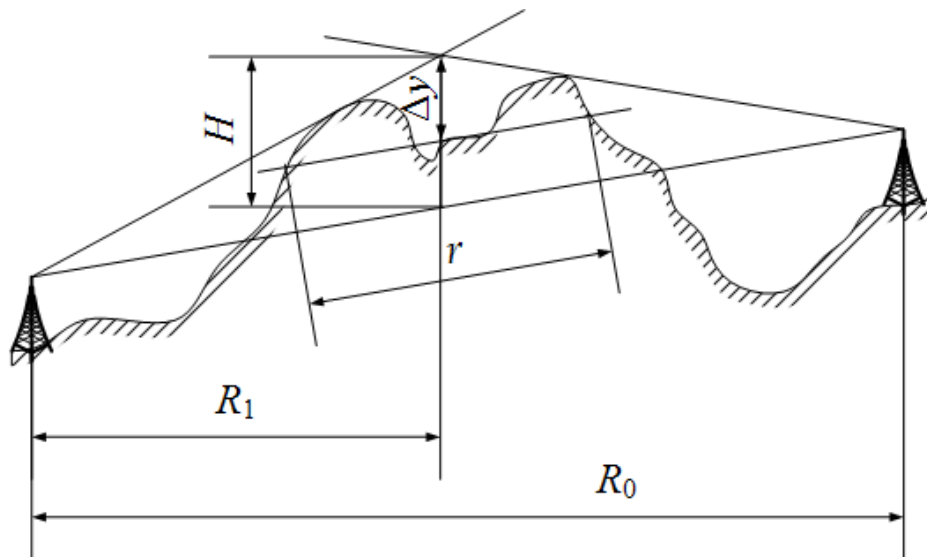


Рисунок 3.8

2. При наличии препятствий различной высоты Δh_i (рисунок 3.9) влиянием низкого препятствия можно пренебречь, если выполняется наиболее жесткое из условий

$$H_1 > H'_0; \quad H_1 + 5 \cdot 10^{-2} R_1 (R_0 + R_1 - 2R_2) > H'_0, \quad (3.46)$$

где значения R подставляются в километрах, а H – в метрах. Просвет H'_0 на участке R_2 определяется по формуле

$$H'_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_2 \lambda \kappa'_1 (1 - \kappa'_1)}, \quad (3.47)$$

где $\kappa'_1 = R_1 / R_2$, H_1 – просвет на участке R_2 , определяемый касательной к препятствию 2 в наиболее высокой точке (рисунок 3.9).

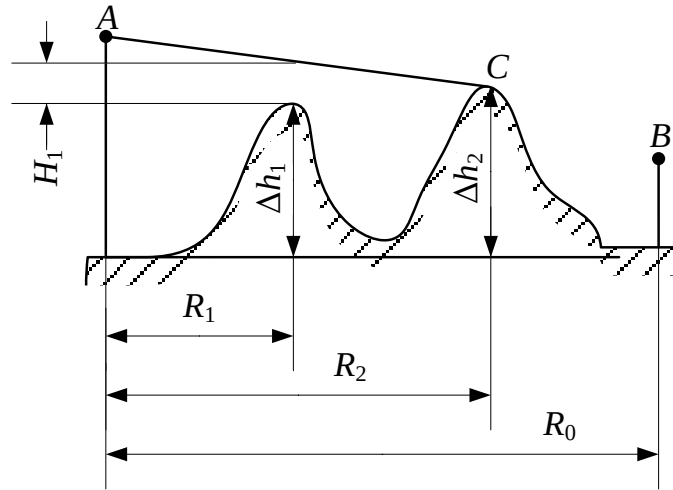


Рисунок 3.9

3. Если два препятствия удалены друг от друга (рисунок 3.9), то приближенно можно считать, что суммарное значение множителя ослабления в децибелах рассчитывается как

$$V \approx f(R_0, R_1, R_2)(V_1 + V_2), \quad (3.48)$$

где V_1, V_2 – значения множителя ослабления, дБ, для каждого препятствия при отсутствии другого препятствия. Они рассчитываются так же, как и для трасс с одним препятствием.

Величина $f(R_0, R_1, R_2)$ определяет взаимное влияние препятствий:

$$f(R_0, R_1, R_2) = \frac{5}{3} \lg[2/(1 - \beta_0 / \pi)], \quad (3.49)$$

где β_0 – параметр, учитывающий геометрическое расположение препятствий на трассе;

$$\beta_0 = \arcsin \sqrt{R_0(R_2 - R_1) / R_2(R_0 - R_1)}. \quad (3.50)$$

Значения $f(R_0, R_1, R_2)$ определяются по специальным графикам или таблицам.

Формулой (3.48) следует пользоваться на касательных и закрытых трассах, и одновременном выполнении следующих условий:

1) высота каждого препятствия над впадиной между препятствиями должна быть больше минимальной зоны Френеля для каждого препятствия

2) расстояние между препятствиями таково, что $f(R_0, R_1, R_2) \geq 0,65$.
(Если $f(R_0, R_1, R_2) < 0,65$ то препятствия можно принять заодно эквивалентное).

Для других случаев, при наличии на трассе большего количества препятствий, дать простые расчетные формулы затруднительно.

В некоторых случаях, например при рассмотрении РРЛ в условиях горной местности или условиях городской застройки, радиус кривизны отдельных препятствий (вершин гор гребней хребтов, высоких зданий) в большинстве случаев значительно меньше радиуса Земли. Такие препятствия могут быть

Полуплоскости

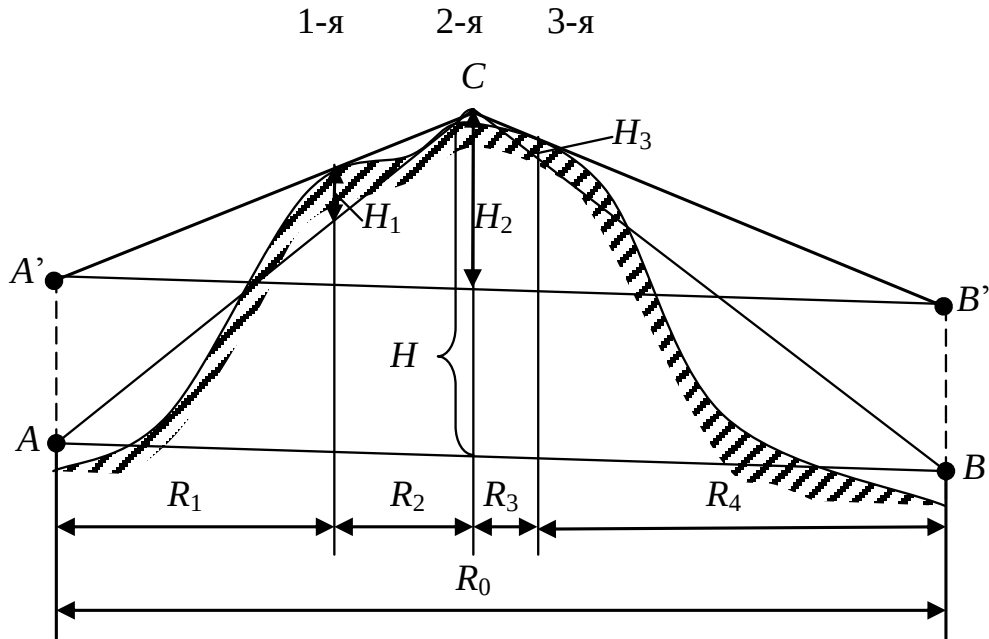


Рисунок 3.11

При этом

$$V = V_1 V_2 V_3, \quad (3.57)$$

или в децибелах,

$$V = \sum_{i=1}^3 V_i, \quad (3.58)$$

где V_1 , V_2 , V_3 определяются по формулам (3.55), (3.56) при условии, что:

$$u_1 = H_1(g) \sqrt{2(R_1 + R_2) / \lambda R_1 R_2}; \quad (3.59)$$

$$u_2 = H_2(g) \sqrt{2R_0 / \lambda (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}; \quad (3.60)$$

$$u_3 = H_3(g) \sqrt{2(R_3 + R_4) / \lambda R_3 R_4}. \quad (3.61)$$

3.4. Замирания сигнала на интервалах радиорелейных линий

3.4.1. Общие сведения о замираниях

Причиной замираний является изменение во времени метеорологических условий на трассе РРЛ, приводящее к изменению вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха, возникновению слоев в тропосфере с резким изменением диэлектрической проницаемости воздуха, появление осадков.

Глубина замираний обычно характеризуется мгновенным значением множителя ослабления $|V|$ дБ. Наибольшее количество глубоких замираний наблюдается в морских, приморских и равнинных районах.

На интервалах РРЛ возможны различные типы замираний.

3.4.2. Рефракционные замирания из-за экранирующего влияния препятствий

Эти замирания обусловлены уменьшением просвета на трассе при субрефракции ($g > 0$) и попаданием приемной антенны в область глубокой тени при $p(g) \ll 1$. Такие замирания сравнительно медленные и имеют слабую частотную зависимость.

Зависимость глубины замираний от параметров трасс определяется формулами (3.44) – (3.48).

3.4.3. Рефракционные замирания интерференционного типа

Эти замирания обусловлены увеличением просвета на трассе при повышенной рефракции ($g < -8 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$) и попаданием приемной антенны в интерференционные минимумы, появляющиеся в результате взаимодействия прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности.

Интерференционные замирания имеют быстрый характер, их средняя длительность при глубине порядка 35 – 25 дБ составляет секунды – десятки секунд. Они частотно-селективны.

Зависимость глубины замираний от параметров трасс характеризуется формулами (3.35) – (3.39).

3.4.4. Интерференционные замирания из-за отражений от слоистых неоднородностей тропосферы

Замирания этого типа обусловлены интерференцией прямой волны и волн, отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы, а также интерференцией волн при многолучевом распространении в тропосферных волноводах.

По своему характеру такие замирания аналогичны рефракционным замираниям интерференционного типа. Они также частотно-селективны, в большинстве случаев являются самыми быстрыми, так как вследствие непрерывного изменения высоты отражающих слоев, их интенсивности $\Delta \epsilon$ и наклона меняются фазовые и амплитудные соотношения приходящих волн. При глубине 25 – 35 дБ средняя длительность замираний составляет секунды – доли секунд.

Отличительной чертой замираний в тропосферных волноводах является то, что в большинстве случаев они наблюдаются при высоком среднем уровне сигнала, так как напряженность поля в волноводе убывает медленно (обратно пропорционально $\sqrt{R_0}$).

По результатам экспериментов глубокие интерференционные замирания из-за отражений от слоистых неоднородностей тропосферы на волнах длиннее 12 – 15 см на сухопутных интервалах РРЛ наблюдаются сравнительно редко. На морских трассах влияние слоистых неоднородностей тропосферы отмечается даже на метровых волнах.

3.4.5. Замирания из-за экранирующего влияния слоистых неоднородностей тропосферы

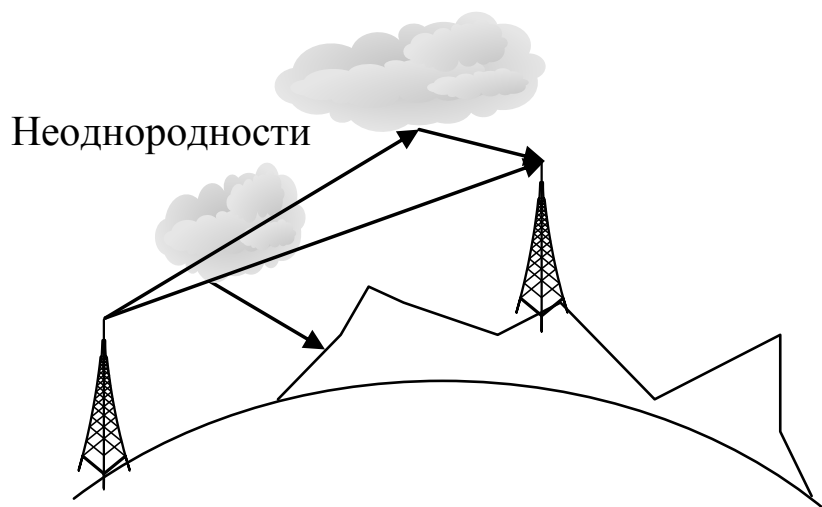


Рисунок 3.12

Эти замирания обусловлены ослаблением радиоволн при прохождении через слоистые неоднородности тропосферы, когда большая часть энергии отражается и лишь небольшая часть достигает точки приема (рисунок 3.12).

Характер замираний специфичен: большие ослабления уровня сигнала даже на десятки децибел могут отмечаться в течение длительного времени, достигающего до нескольких часов. Иногда они сопровождаются быстрыми флуктуациями сигнала относительно среднего уровня. По-видимому, такие флуктуации вызываются не только потерей энергии волны, но и дополнительной интерференцией прямой волны и волн, отраженных от других неоднородностей тропосферы (рисунок 3.12).

Замирания коррелированы в пределах одного частотного диапазона, и их глубина увеличивается с увеличением протяженности интервала, перепада высот между приемной и передающей антеннами (по крайней мере, до 1°) и с укорочением длины волны.

На интервалах РРЛ протяженностью 50 – 60 км такие замирания наблюдаются, как правило, в морских районах, а на более протяженных трассах – также в горных районах.

3.4.6. Замирания из-за влияния диаграмм направленности антенн

Эти замирания обусловлены вариациями углов выхода и прихода радиоволн, вызванными случайными изменениями условий рефракции. Они существенны при узких диаграммах направленности антенн, так как по экспериментальным данным на интервалах РРЛ средней длины изменения углов в вертикальной плоскости не превышают $\pm 0,5^\circ$ в течение 99,9% времени наихудшего месяца, максимальные значения $\pm 0,75^\circ$. В горизонтальной

плоскости вариации углов прихода примерно в 4 – 5 раз меньше, исключение составляют интервалы РРЛ на границах раздела сред (суша – море и т. д.). Вариации углов выхода и прихода радиоволн содержат сравнительно медленную компоненту, обусловленную изменениями g и быстро меняющуюся компоненту, связанную со слоистой структурой тропосферы.

В реальных условиях влияние углов прихода может усугубляться из-за неточности юстировки остронаправленных антенн, а также тепловой и ветровой деформации антенных опор. На практике влияние диаграмм направленности антенн в наихудшие месяцы становится существенным при коэффициентах усиления порядка 45 дБ.

Эти замирания частотно-коррелированы и эквивалентны «потере усиления» антенн в отдельные периоды времени.

Замирания этого типа ограничивают использование остронаправленных антенн с усилением $G \geq 45$ дБ.

3.4.7. Замирания из-за ослабления сигнала гидрометеорами

Эти замирания вызваны ослаблением электромагнитной энергии вследствие рассеяния частицами гидрометеоров (дождь, туман, снег, град и т. д.) и нерезонансного поглощения ее в самих частицах. Рассеяние и поглощение зависят от состояния гидрометеоров (жидкие или твердые), размеров капельных образований, интенсивности осадков, их температуры, длины волны сигнала.

Замирания из-за ослабления сигнала в осадках – медленные. Они частотно-коррелированы и наблюдаются одновременно во всех стволах радиорелейной системы, работающей в одном частотном диапазоне.

Множитель ослабления V , дБ, при распространении радиоволн в зоне осадков определяется по формуле

$$V = -\gamma R_{\text{эф}}, \quad (3.62)$$

или

$$V = -\gamma_{\text{эф}} R_0, \quad (3.63)$$

где γ – коэффициент ослабления, дБ/км;

$R_{\text{эф}}$ – эффективная длина трассы, км, на которой коэффициент ослабления примерно постоянен и равен γ ;

$\gamma_{\text{эф}}$ – коэффициент ослабления γ , определяемый для эффективной интенсивности осадков, которую можно считать равномерно распределенной по длине трассы R_0 .

Эффективные параметры учитывают интегральное воздействие осадков вдоль интервала РРЛ.

Коэффициент ослабления в дожде различной интенсивности определяется из специальных номограмм. Дожди классифицируются в зависимости от собственной интенсивности J [мм/ч] следующим образом:

слабый дождь – $J = (1 - 5)$ мм/ч,

умеренный – $J = (5 - 20)$ мм/ч,

сильный – $J = (20 - 40)$ мм/ч,

ливни – $J > 40$ мм/ч.

При больших интенсивностях дождей появляется зависимость γ от вида поляризации из-за отклонения формы капель дождя от сферической (происходит расплющивание капель). Этот эффект возрастает с увеличением J . Наибольшее ослабление наблюдается при горизонтальной поляризации. По экспериментальным данным значения γ , при горизонтальной поляризации на 10 – 25% больше, чем при вертикальной.

Коэффициент ослабления в сухом снеге и граде значительно меньше, чем в дожде той же интенсивности, из-за меньшей величины диэлектрической проницаемости твердых частиц (для воды $\epsilon \approx 80$, для льда $\epsilon = 2 \div 3$).

Эксперименты показывают, что при $f < 50$ ГГц влиянием сухого снега можно пренебречь. В ряде случаев наблюдались заметные ослабления при граде даже на частоте 2 ГГц, но в течение не более 0,001% времени.

Коэффициент ослабления в мокром снеге в среднем примерно такой же, как и в дожде равной интенсивности. В отдельные периоды времени при возникновении крупных мокрых хлопьев значения γ для мокрого снега оказываются в 5 – 10 раз большими, при этом наиболее вероятные значения $\gamma_{м.с} = (4 \div 6)\gamma_{д.}$. Однако во многих климатических районах, при $f < 20$ ГГц вероятность появления глубоких замираний из-за ослабления в мокром снеге, отмечаемая в самые неблагоприятные месяцы, значительно меньше, чем из-за дождей.

Коэффициент ослабления в туманах и облаках

$$\gamma = k_e M, \quad (3.64)$$

где M – количество жидкой воды в единице объема (водность), г/м³;

k_e – коэффициент ослабления на единицу водности, (дБ м³/км г).

Значения k_e и M приводятся в специальных таблицах.

Коэффициент ослабления при ледяных частицах значительно меньше, чем при жидких.

Эффективная длина трассы $R_{эф}$ зависит от неравномерности выпадения осадков на трассе, а также от угла, под которым волна проходит через зону осадков. Чаще трассы обычных РРЛ горизонтальны, поэтому направление распространения волны перпендикулярно потоку осадков. В этом случае R_e определяется в основном их неравномерностью, которая зависит от климатических условий, типа осадков, их интенсивности.

Приведем некоторые усредненные данные о размерах дождевых зон (очагов) для климатических условий, близких РФ (по делению МСЭ для 2-го района):

1. Слабые дожди ($J < 5$ мм/ч) имеют значительные горизонтальные протяженности, так как образуются внутри устойчивых воздушных масс. В этом случае $R_{эф} \approx R_0$.

2. Дожди средней интенсивности (до 20 мм/ч), выпадающие из слоистых, фронтальных облаков (обложные дожди), могут иметь горизонтальную протяженность до нескольких сотен километров. В этом случае также $R_{эф} \approx R_0$.

3. Дожди интенсивностью 25–30 мм/ч ориентировочно имеют протяженность 10–20 км. В этом случае в зависимости от длины трассы $R_{эф} > < R_0$.

4. Ливневые дожди ($J \geq 40$ мм/ч) отличаются наибольшей неравномерностью. По проведенным ранее исследованиям средние протяженности ливневых очагов составляют 7–8 км. В отдельных случаях (несколько процентов общего количества) они достигают 15–20 км. При этом отмечается сильная пространственная и временная неравномерность интенсивности дождей в пределах очага дождя, а иногда на длине интервала РРЛ возникают два очага и более. Эти факторы существенно влияют на квазимгновенные значения $R_{эф}$ и поэтому для дождей одной и той же интенсивности $R_{эф}$ может значительно различаться. Для более надежного прогнозирования значения $R_{эф}$ (или $\gamma_{эф}$) необходимо пользоваться статистическими данными.

В большинстве климатических районов замираниями сигнала из-за ослабления в дождях можно пренебречь на частотах ниже 6 ГГц. На РРЛ ослабление в дождях оказывает заметное влияние на частотах начиная с 8 ГГц и является определяющим на частотах выше 10 ГГц.

3.4.8. Замирания из-за поглощения в газах

Из газов, входящих в состав тропосферы, поглощение вызывают кислород и водяной пар. Поглощение обусловлено взаимодействием падающего поля волны и молекул газов, обладающих электрическим и магнитным моментами. Поглощение в газах имеет селективный характер и достигает максимума при совпадении частоты воздействующего поля с собственными частотами колебаний молекул.

Глубина замираний из-за поглощения в газах рассчитывается по формуле (3.62). Коэффициент поглощения γ для кислорода при давлении 1013 ГПа и температуре 20°C и водяного пара с удельной влажностью 7,5 г/м³ определяется зависимостью (рис. 3.13).

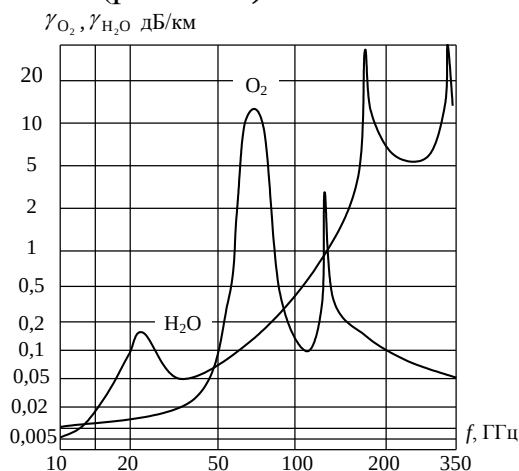


Рисунок 3.13

Эксперименты и расчеты показывают, что поглощением в кислороде и водяном паре можно пренебречь на частотах, меньших примерно 15 ГГц ($V \leq 1$ дБ).

3.5. Тропосферные линии связи

Тропосферной радиосвязью называют прямую радиосвязь на УКВ, осуществляемую в условиях отсутствия прямой видимости между источником и приемником сигнала, путем использования дальнего тропосферного распространения ультракоротких волн (ДТР УКВ).

Сущность явления ДТР УКВ заключается в проникновении далеко за пределы горизонта радиоволн, рассеянных и отраженных неоднородностями (по диэлектрической проницаемости ϵ) тропосферы, обусловленных неоднородностями метеорологических параметров воздуха: температуры, влажности, давления. При некоторых условиях (например, при движении нагретого воздуха с суши над поверхностью моря) температура воздуха с высотой не уменьшается, а увеличивается (инверсия температуры).

Такие неоднородности турбулентного (вихревого) и слоистого характера существуют в тропосфере регулярно во всей ее толще – от поверхности Земли до верхней границы ($h_m = 10\text{--}15$ км). Следовательно, тропосферная радиосвязь может осуществляться независимо от времени года и суток. Однако толщина слоев инверсии в тропосфере обычно не превышает 50-100 м, поэтому волноводным способом могут распространяться только дециметровые, сантиметровые и более короткие волны.

Явление ДТР УКВ характеризуется острой направленностью потока переизлученной энергии. Поэтому для обеспечения максимального уровня сигнала на выходе приемной антенны необходимо скрестить в тропосфере диаграммы направленности антенн приемной и передающей станций на минимальной высоте h_0 и при том в вертикальной плоскости, проходящей через точки размещения антенн. Эта высота приблизительно может определяться по формуле:

$$h_0 \cong R^2 / 8a_s, \quad (3.65)$$

где R – протяженность трассы (расстояние между передающей и приемной станциями), a_s – эквивалентный радиус Земли. Отсюда следует, что прямую тропосферную радиосвязь трудно обеспечить на расстояния, превышающие

$$R_{\max} \cong \sqrt{8a_s h_0}. \quad (3.66)$$

Для $a_s = 8500$ км, $h_0 = 10\text{--}15$ км получаем практически предельную дальность тропосферной связи без ретрансляции $R_{\max} \cong 1000$ км. Чаще всего величина $150 < R < 500$ км.

По данным экспериментальных исследований, проведенных в 50-х годах, установлено, что минимальное расстояние («дифракционный горизонт»), на котором начинает проявляться эффект ДТР (т.е. величина напряженности поля, вычисленная по дифракционным формулам, становится меньше, чем

измеренная), составляет примерно 100 км, хотя при некоторых условиях для высот антенн 5–10 м и при нормальной рефракции наблюдались дальности ДТР 60–90 км.

Немаловажное значение для работы тропосферных радиорелейных систем имеет выбор диапазона частот (полос радиочастот).

Для начала следует отметить, что при выборе полос радиочастот необходимо учитывать суммарные шумы, включая тепловые и интермодуляционные шумы, вызванные условиями распространения радиоволн.

На линиях связи протяженностью примерно 400–700 км применение относительно низких частот (ниже примерно 1 ГГц) и больших антенн является оптимальным для обеспечения соответствующих характеристик линии связи, включая малые интермодуляционные шумы. При этом пропускная способность ТРРЛ обычно невелика. Работа в полосах радиочастот выше 1 ГГц может привести к плохим показателям качества, за исключением случаев очень благоприятного распространения радиоволн.

На линиях протяженностью примерно 200–400 км пропускная способность может быть несколько выше. Здесь определяющим фактором могут стать интермодуляционные шумы, вызванные многолучевым распространением. Для уменьшения интермодуляционных шумов использование радиочастот в диапазоне 2 ГГц может оказаться более предпочтительным, чем использование более низких частот.

Для более коротких линий (примерно 100–200 км) возможна работа на частотах до 5 ГГц. Работа на этих частотах характеризуется низкими интермодуляционными шумами, вызванными многолучевым распространением, даже при относительно небольших антеннах. Для высоких скоростей передачи на таких линиях оптимальными могут быть частоты между, примерно, 2 ГГц и 3 ГГц.

Кроме того, при выборе полос радиочастот для тропосферных радиорелейных систем предпочтение по возможности следует отдавать полосам, которые не используются совместно со службами космической радиосвязи.

Для тропосферных радиолиний обычно используется диапазон частот 0.3–5 ГГц. Особенностью явления ДТР УКВ является зависимость расстояния, на котором происходит разделение на ближнюю (величина погонного ослабления не зависит от λ) и дальнюю (величина погонного ослабления зависит от λ) зоны ДТР от частоты излучения (длины волны).

Тропосферная радиосвязь имеет ряд специфических особенностей, обусловленных непосредственно явлением ДТР УКВ.

Ввиду очень низкой эффективности рассеяния и отражения энергии УКВ неоднородностями тропосферы, потери на участке распространения весьма велики и очень быстро растут с расстоянием R и укорочением длины волны λ . Отсюда следует, что в сантиметровом диапазоне волн при прочих равных условиях дальность тропосферной радиосвязи существенно сокращается.

Таким образом, тропосферная радиосвязь обеспечивается ценой весьма больших энергетических затрат: применением мощных передатчиков (от нескольких сотен ватт до 50 кВт), чувствительных малошумящих приемников и громоздких высоконаправленных антенн с большим усилением (до 50–55 дБ).

На уровень сигнала ДТР существенно влияет рельеф местности, простирающийся на некотором расстоянии перед антеннами в направлении на приемник. Находящиеся здесь высоты, лес, крупные строения могут оказывать экранирующее действие.

В значительной степени на устойчивость тропосферной радиосвязи влияют метеорологические условия и, следовательно, климатические особенности района, по которому проходит трасса. В условиях теплого, влажного морского климата тропосферная радиосвязь осуществляется с меньшими энергетическими затратами, чем в холодном, сухом континентальном климате. Зимние метеоусловия менее благоприятны для тропосферной радиосвязи, чем летние.

Антенны при ДТР УКВ не реализуют полностью своего усиления, которым они обладают в условиях свободного пространства. Такое специфическое для тропосферной связи явление «потерь усиления антенн» снижает их эффективность, требует некоторого дополнительного повышения мощности передатчика, чувствительности приемника или усиления самих антенн.

Сигнал ДТР не стабилен во времени. Средний уровень его испытывает сезонные (а летом и суточные) колебания, причем зимой уровень ниже, чем летом. Среднеминутные значения сигнала ДТР претерпевают медленные случайные замирания, подчиняющиеся логарифмически-нормальному закону. Мгновенные значения сигнала ДТР непрерывно и быстро флуктуируют по рэлеевскому закону. Для борьбы с этим явлением в тропосферной радиосвязи всегда применяют разнесенный прием.

Наконец, имеется и еще одна важная особенность тропосферной радиосвязи. Многолучевая структура радиосигнала ДТР, для которой характерна существенная неравномерность запаздывания отдельных компонент, переизлученных неоднородностями переизлучающего объема, приводит к сильному искажению амплитудно- и фазочастотных характеристик среды распространения радиосигнала системы тропосферной радиосвязи. В результате резко сужается полоса пропускания всей системы, искажаются сигналы и возрастают шумы нелинейных переходов между каналами. Разнесенный прием способствует уменьшению этого нежелательного эффекта, существенно улучшает частотные характеристики среды распространения радиосигнала.

3.6. Стандартизованные методики, используемые при расчете радиорелейных линий

Для унификации расчетов РРЛ на этапе проектирования, различными международными и национальными организациями стандартизации в области связи, например, Международным союзом электросвязи, Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ИЭЭЭ), Министерством связи РФ был разработан ряд стандартов, позволяющих использовать единые подходы при расчете параметров РРЛ. Эти стандарты касаются разнообразных аспектов, таких как расчет напряженности поля в точке приема, расчет дополнительного затухания из-за различных препятствий, гидрометеоров и т.д. Ниже будут рассмотрены основные стандарты, использующиеся при расчете параметров РРЛ.

3.6.1. Стандартизованные модели распространения

На сегодняшний день существует достаточно большое количество стандартов для расчета РРЛ. В них закреплены теоретические методы расчета, эмпирически полученные формулы и графики. Например, в МСЭ целая группа стандартов посвящена расчету напряженности поля в точке приема. Рассмотрим стандарты, которые используются в большинстве стран, в том числе и в РФ для расчета энергетических параметров трасс РРЛ.

Для расчета напряженности поля РЭС в свободном пространстве используются рекомендации ITU-R P.525, которая используется в сочетании с рекомендацией ITU-R P.526, позволяющей учитывать рефракцию радиоволн на различных препятствиях. В частности в рекомендации ITU-R P.526 рассмотрены такие виды препятствий: цилиндрические, клиновидные и др.

Для расчета напряженности поля РЭС различных служб в диапазоне от 30 МГц до 1000 МГц в МСЭ была разработана рекомендация ITU-R P.370. Рекомендация ITU-R P.370 является наиболее ранней и наиболее разработанной рекомендацией для расчета напряженности поля радиоволн в диапазоне от 30 до 1000 МГц. Она основана на большом экспериментальном материале. Рекомендация предоставляет возможность определять напряженность поля на расстояниях от 10 км до 1000 км. Другие основные характеристики модели: высота передающей антенны в пределах от 37 м до 1200 м и приемной антенны от 1,5 м до 40 м, а также неровности земли от 25 м до 400 м. Кроме того, в рекомендации имеется возможность определения параметров пространственных и временных флуктуаций напряженности поля, а также могут учитываться углы закрытия со стороны приемной и передающей антенн и климатические особенности регионов.

Для расчета напряженности поля РЭС сухопутной подвижной службы, на основе ITU-R P.370 была разработана рекомендация ITU-R P.529.

Особенностью этой рекомендации является то, что в эту рекомендацию включены кривые Окамуры (метод Окамура-Хата см. ниже).

Сфера действия рекомендации ITU-R P.529 практически совпадает с частью сферы действия рекомендации ITU-R P.370, но она не учитывает многих особенностей распространения радиоволн, которые учитываются в рекомендации ITU-R P.370. Расчеты напряженности поля, проведенные по методам рекомендаций ITU-R P.370 и ITU-R P.529 для высоты приемной антенны 1,5 м на частоте 900 МГц примерно совпадают для городской местности до 100 км. Для других частот и больших расстояний рекомендация ITU-R P.529 не содержит никаких данных. Высотная зависимость в рекомендации ITU-R P.529 приведена лишь в пределах от 1 до 10 м и несколько отличается от данных рекомендации ITU-R P.370.

Следующая рекомендация ITU-R P.1146 является расширением модели ITU-R P.370 на диапазон волн до 3 ГГц. Рекомендация ITU-R P.1146 предназначена для расчета напряженности поля в диапазоне от 1 ГГц до 3 ГГц. Сравнение результатов расчетов на частоте 1 ГГц по методу рекомендаций ITU-R P.370 и ITU-R P.529 показывает, что разница может достигать 20 дБ для расстояний в диапазоне 25-120 км.

Метод Окамура, модифицированный Хата, был разработан на основе данных измерений уровней сигнала от передатчика в нескольких частотных диапазонах в Токио и его пригородах. Соответственно этот метод предназначен для расчета средних потерь при отсутствии прямой видимости в урбанизированных областях, где расстояние анализа относительно не велико (менее 30 км), эффективная высота передающей антенны - менее 200 м, эффективная высота приемной антенны - менее 10м, и местность относительно плоская. Использование этого метода для других случаев или при больших расстояниях может оказаться неприемлемым.

Модель TIREM (Terrain Integrated Rough Earth Model). Это одна из нескольких моделей распространения из пакета, разработанного Национальным Комитетом Передачи данных и Информации (NTIA) совместно с Министерством обороны США. Эта модель широко используется в США правительственными и военными организациями также как и частными компаниями. Это одна из наиболее сложных моделей, используемых в настоящее время.

TIREM включает в свой состав несколько методов и алгоритмов расчета потерь на трассе РРЛ. Модель TIREM выбирает необходимый метод в зависимости от условий распространения радиоволн: например, от степени закрытия трассы, количества и характера препятствий и т.д. При этом используется один из двух подходов.

В случае открытой трассы затухание рассчитывается по одной из следующих двух моделей потерь в свободном пространстве, в зависимости от частотного диапазона. Для частот более 200 МГц используется модель

Longley-Reasoner. Для частот менее 150 МГц используется модель Longley-Rice. В частотах между 150 и 200 МГц, потери, рассчитанные по двум методам, пропорционально усредняются.

В случае полузакрытой трассы определяется степень закрытия зоны Френеля для того, чтобы пропорционально корректировать величину дополнительных потерь на трассе которые прибавляются к потерям в свободном пространстве. Если открыто меньше чем $1/2$ радиуса зоны Френеля, то затухание принимается равным 100%. Если открыто более $2/3$ радиуса зоны Френеля, то никакое дополнительное ослабление не вносится, а учитываются только базисные потери на трассе свободного пространства. Если открыто от $1/2$ до $2/3$ радиуса зоны Френеля, то вносятся дополнительные потери на трассе как линейная пропорция от 0% до 100%.

В случае прямой видимости между РРС согласно модели TIREM определяется какая часть пути распространения проходит над гладкой поверхностью, а какая над изрезанной. Если поверхность гладкая на протяжении всего пути, то вычисления выполняются по методу Буллингтона. Вычисление затухания над изрезанно-гладким путем по методам (Longley-Rice или Longley-Reasoner) пропорционально комбинируются, основываясь на процентном соотношении длин изрезанного и гладкого путей.

Когда трасса закрыта, используется множественный метод потерь дифракции на клиновидном препятствии. Однако, для трасс, где средние потери на препятствие - меньше чем 10 дБ, согласно модели TIREM вычисляются потери на гладкой поверхности, используя алгоритм Буллингтона, и объединяется пропорционально с потерями, найденными из вычислений потерь на клиновидном препятствии. Этот метод подходит для закрытых трасс над океаном, где горизонт в каждой отметке может представлять низкое угловое препятствие.

Также модель TIREM включает в себя еще один модуль, который позволяет вычислять потери в линиях тропосферной связи. Потери в линии тропосферной связи объединены с дифракционными потерями на трассе, описанными выше.

К числу наиболее мощных методов моделирования распространения радиосигнала также относят методику CRC-Predict, которая представляет собой результат многолетних разработок, проводившихся в Канадском центре по исследованию коммуникаций. Расчет пути потери связи в CRC-Predict основан на принципах физической оптики в применении к неидеально отражающей поверхности произвольного рельефа. Это один из современных методов расчета дополнительных потерь на трассе, который принимает во внимание все детали реального рельефа местности. В других методах этого класса используются параболические и интегральные уравнения для описания поверхности, а также однородная (геометрическая) теория дифракции. В более старых методах применяется моделирование рельефа поверхности небольшим

набором таких неоднородностей, таких как клиновидные препятствия и/или цилиндры, причем описание потерь на отдельных неоднородностях необязательно базировалось на волновой теории. В современных методах, основанных на применении параболических и интегральных уравнений, поле определяется во многих точках, так что точность расчетов повышается. Точность вычислений ограничивается погрешностью данных о форме рельефа и ошибками в информации об объектах на поверхности земли. Теоретические расчеты были проверены тестовыми измерениями для частот от 100 МГц до 1.8 ГГц.

НИИР разработана Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, которую можно использовать при проектировании РРЛ.

Данная методика основана на результатах теоретических и экспериментальных исследований вопросов распространения радиоволн, включающих статистические характеристики уровней сигналов в различных климатических районах, а также статистику нелинейных искажений, возникающих при передаче широкополосных сигналов в аналоговой форме. Кроме того, были получены результаты по оценке качества при передаче сигналов в цифровой форме.

При разработке этой методики было уделено серьезное внимание количественной оценке влияния селективности интерференционных замираний на качественные показатели каналов аналоговых и частично ЦРРЛ с учетом влияния деполяризационных явлений и различных внутрисистемных помех.

Методы расчета для широкополосных аналоговых РРЛ были проверены в результате экспериментов на интервалах действующих РРЛ в диапазоне частот 4, 6 и 11 ГГц. Результаты этих исследований нашли отражение в 338 Отчете МСЭ.

Методика состоит из 2-х томов.

Первый том методики включает методы расчета устойчивости связи на интервалах РРЛ и на линии в целом, как при одинарном приеме, так и с учетом систем частотного и пространственного разнесения, методы учета внутрисистемных и внешних помех, а также требования к качественным показателям каналов аналоговых и цифровых РРЛ. Приведены схемы расчета составляющих устойчивости сигнала и таблицы с параметрами оборудования некоторых аналоговых и цифровых радиорелейных систем.

Второй том методики включает расчет интервалов РРЛ с пассивными ретрансляторами, а также характеристики различных антенн и волноводных трактов.

Сравнительная таблица условий применения методик приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Модель распространения	Диапазон частот, МГц	Максимальное расстояние, км	Учет препятствий	Учет типа местности
ITU-R P.525	∞	∞	нет	нет
ITU-R P.370	30 – 250; 450 – 1000	0 – 1000	да	некоторых
ITU-R P.1146	1000 – 3000	0 – 500	да	некоторых
ITU-R P.1546	30 – 3000	0 – 1800	да	да
ITU-R P.368	0,01 – 30	∞	нет	некоторых
ITU-R P.1147	0,15 – 1,7	∞	нет	некоторых
Модель Эгли	∞	∞	нет	нет
Модель Окамура-Хата	150 – 1500	0 – 20	нет	некоторых
Модель Лонгли-Райса	20 – 20000	1 – 2000	да	нет
TIREM	20 – 20000	∞	да	нет
CRC-PREDICT v.2.07	30 – 3000	∞	да	да
CRC-PREDICTv.2.08r2	30 – 3000	∞	да	да
CRC-PREDICTv.3.21	30 – 3000	∞	да	да
Методика НИИР	1 – 40000	∞	да	некоторых

3.6.2. Вспомогательные рекомендации и модели

Кроме моделей, позволяющих рассчитать затухание свободного пространства и оценить дополнительное затухания, обусловленное наличием препятствий, существуют модели, позволяющие оценить дополнительное затухание сигнала, вызванное другими факторами окружающей среды. В частности следует упомянуть такие рекомендации и модели, как:

- рекомендация ITU-RP676 для учета ослабления в атмосферных газах;
- рекомендация ITU-RP840 для учета ослабления в облаках и туманах;
- модель CRANE, рекомендации ITU-RP530, ITU-RP838 для учета ослабления от дождя.

Также следует отметить, что комплексные модели TIREM и CRC-PREDICT включают в свой состав дополнительные методики позволяющие учесть все указанные факторы.

3.7. Программное обеспечение для расчета параметров РРЛ

На сегодняшний день существует большое количество программных продуктов для расчета параметров и характеристик РРЛ. Они отличаются используемыми методиками расчета интервалов РРЛ, учетом различных факторов, возможностями оптимизации параметров РРЛ и др. Кроме того, как правило, эти программные продукты позволяют рассчитывать параметры,

вести планирование и оптимизацию любых сетей беспроводной связи, а не только РРЛ. Ниже будут рассмотрены наиболее широко распространенные продукты.

3.7.1. Программный комплекс ICS Telecom компании ATDI

ICS Telecom – специализированное программное средство, предназначенное для комплексного решения задач расчета, планирования и оптимизации сетей беспроводной связи, в частности:

- расчет зон покрытия беспроводной сети;
- управление спектром и частотное планирование беспроводной сети;
- оптимизации характеристик беспроводной сети;
- расчет характеристик и оптимизация РРЛ.

Программный комплекс содержит следующие инструменты:

Radio Network Planning & Spectrum Management Tools – ICS Telecom – мощное средство планирования больших (национального масштаба) беспроводных сетей различного типа (мобильные, радиорелейные, точка – много точек, теле- радиовещательные) с широким набором функциональных возможностей (частотно-территориальное планирование, взаимные помехи, учет трафика и демографических данных).

HTZ Warfare – средство планирования радиосвязи военного назначения с теми же функциональными возможностями, что и ICS Telecom.

HerTZ Mapper – средство планирования и оптимизации характеристик локальных беспроводных сетей различного типа.

Iris – средство работы с базой данных радиосредств национального масштаба (назначение частот, выдача лицензий, международная координация).

Cartographic Creation Tools – ICS Map Server – инструмент для создания цифровых карт из сканированных топографических карт, фотографий или снимков со спутника.

Radio Engineering Software Calculators – IMP Calc – самостоятельный компьютерный инструмент для быстрого определения интермодуляционных помех.

EMC Calc – инструмент для быстрого определения межканальных помех и помех по соседнему каналу для любого радиосредства.

Surveying & Customer Services Tools – RACSS – инструмент для сбора экспериментальных данных о покрытии функционирующей беспроводной сети; область применения – верификация расчетных данных.

Validata – рассчитанный на использование одним оператором инструмент для управления и записи в память компьютера показателей качества работы мобильной сети.

CSDT (Customer Service Display Tool) – инструмент для визуализации показателей качества работы беспроводной сети, используемый работниками, занимающимися продажей, маркетингом и техническим обслуживанием сети.

Общие функции программного комплекса ICS Telecom при планировании РРЛ.

Следующие основные функции включены в перечень средств планирования РРЛ программного комплекса ATDI:

- возможность построения профиля трассы РРЛ между любыми двумя пунктами, с указанием зоны Френеля и радиуса Земли, с учетом рефракции;
- расчет энергетических параметров трассы в соответствии с одной из множества моделей (Окумура – Хата, Френеля, Войнара, Вена 93, ITU-R P.370, ITU-R P.525/526, ITU-R P.452, ITU-R P.1546, Тропосферные модели (NBS101, ITU-R P.617), пользовательские модели (dll))
- возможность редактирования профиля трассы, в том числе и добавление зданий и деревьев к профилю с точным указанием высот объектов;
- возможность учета особенностей рельефа местности, зданий и деревьев при вычислении потерь на трассе;
- возможность связывания инструментальных средств планирования через локальную вычислительную сеть, при разработке общей системы связи, используя множество локальных рабочих мест ICS Telecom, имеющих доступ к определенной зоне системы;
- возможность связывания инструментальных средств планирования через протокол ODBC с внешними базами данных типа Oracle и MS Access, предоставляющих совместный доступ к общим базам данных;
- возможность поиска наилучших мест расположения РРС.

Специальные функции программного комплекса ICS Telecom при планировании РРЛ

Используя ICS Telecom можно выполнять следующие комплексные задачи:

- выполнять поиск потенциально наилучших мест расположения РРС, очень быстро получая оценку жизнеспособности линии связи и возможных дополнительных путей связи с учетом особенностей рельефа местности;
- для фиксированных мест расположения РРС программный комплекс ICS Telecom может рассчитать необходимое количество и места расположения дополнительных интервалов РРЛ, с учетом параметров имеющегося оборудования, для обеспечения требований к качеству линии связи;
- выбирать окончное оборудование, тип фидера, кабеля и АФУ из имеющейся базы данных оборудования, что существенно ускоряется расчет РРЛ. Параметры антенны могут быть взяты непосредственно из файлов или специальной маски полученных у изготовителя;
- ICS Telecom позволяет автоматически назначить частоты РРС, учитывая установленные технические требования. Частотные каналы берутся из таблицы частот нужного поддиапазона, удовлетворяющего введенным условиям;
- как только частоты РРС назначены вручную или автоматически ICS Telecom позволяет оценить интерференцию каждой РРС, учитывая все

активные передатчики, используя критерии допустимого отношения сигнал/шум или деградации чувствительности;

- возможность учета дополнительного затухания из-за дождя (модели дождя CRANE, ITU-R 838/530), атмосферной рефракции (ITU-R P676), многолучевого распространения для любой точки Земного шара;

- возможность проектировать и анализировать план национальной системы связи с каналами связи, их идентификаторами и позывными;

- возможность размещать места расположения РРС со смещением к заявленным категориям использования. Это позволяет в будущем выполнять моделирование для различных конфигураций сети;

- ICS Telecom также позволяет вычислить границы, пределы изменений, надежность канала связи, мощность помех и другие параметры, определяющие показатели функционирования для целой сети.

Отчет по расчету параметров РРЛ приведен на рисунке 4.1-4.3.

3.7.2. Программный комплекс "Балтика" (ЛОНИИР)

Программный комплекс «Балтика» предназначен для расчета и планирования сетей беспроводной связи, а также анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Программный комплекс «Балтика» состоит из следующих инструментов:

- «Балтика СПС» – планирование сетей сотовой, транкинговой связи, сетей абонентского радиодоступа, радиовещания и телевидения;

- «Балтика РРЛ» – расчет радиорелейных линий;

- «Балтика ЭМС» – анализ электромагнитной совместимости радиосистем.

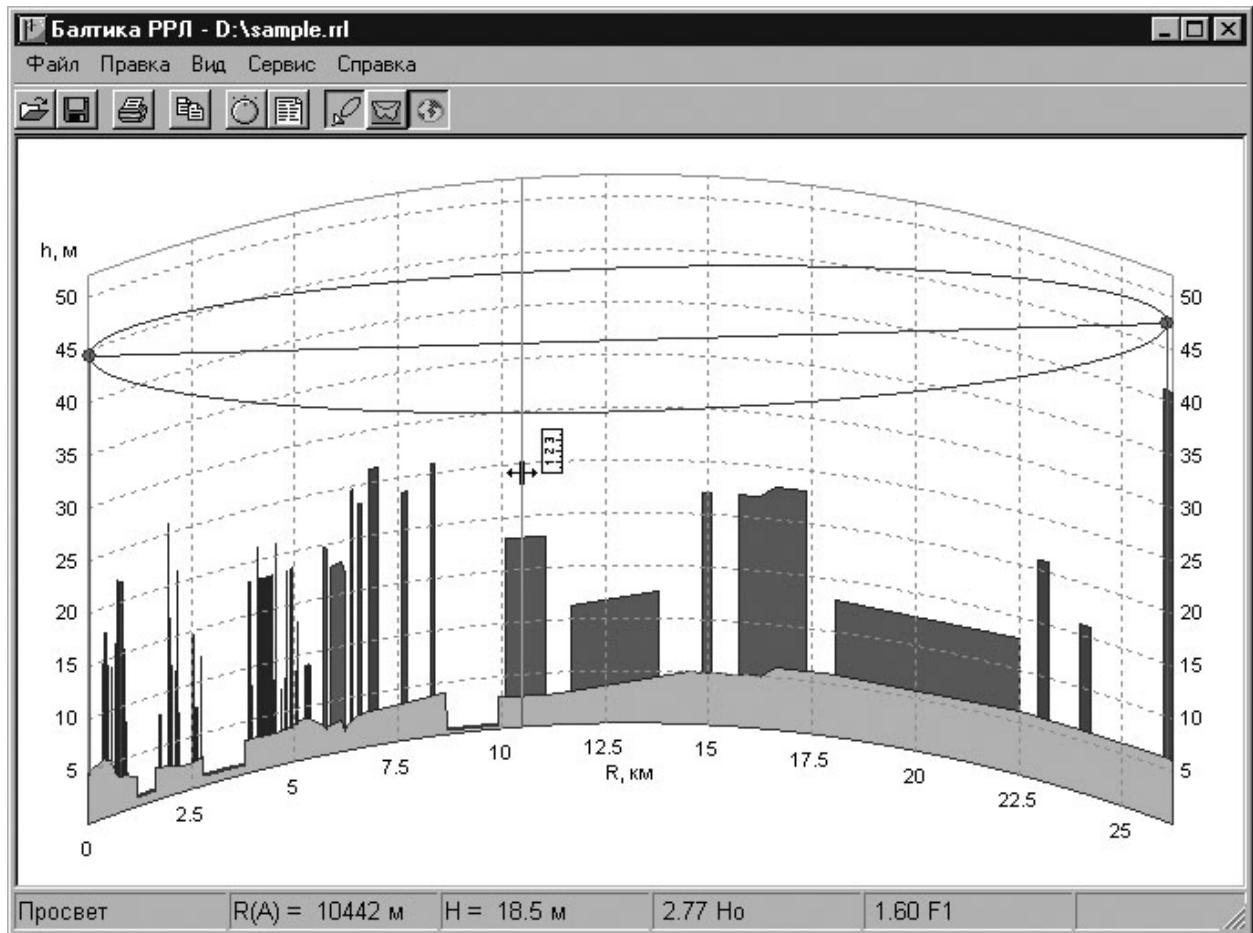


Рисунок 3.14

Для расчета характеристик РРЛ используется программа «Балтика РРЛ». Интерфейс программы показан на рисунке 3.14. Основными функциями этой программы являются:

- построение профиля трасс РРЛ;
- расчет потерь распространения радиоволн;
- расчет устойчивости связи;
- оптимизация высоты подвеса антенн.

Пользовательский интерфейс обеспечивает:

- ввод данных для построения профилей интервалов;
- ввод и редактирование исходных данных для расчетов;
- сохранение всех данных с целью их повторного использования;
- формирование и печать отчета.

Расчеты потерь распространения радиоволн и устойчивости связи основаны на рекомендациях МСЭ-R [23-26] и «Методике расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости» (НИИР). Результатами расчетов являются следующие параметры:

- потери распространения с учетом дифракции на основе анализа профиля местности;
- ослабление сигнала в атмосферных газах;
- запас на замирания;

– неустойчивость связи на интервале в условиях наихудшего месяца, в том числе:

- составляющая неустойчивости связи при субрефракции;
- составляющая неустойчивости связи, обусловленная влиянием дождей;
- составляющая неустойчивости связи, обусловленная многолучевым распространением в атмосфере.

При проведении расчетов учитываются следующие важные факторы:

- частота сигнала;
- поляризация;
- мощность передатчика;
- чувствительность приемника;
- потери в антенно-фидерных трактах передатчика и приемника;
- высоты подвеса и коэффициенты усиления антенн;
- параметры распределения градиента индекса рефракции;
- концентрация водяного пара в атмосфере;
- интенсивность выпадения осадков;
- профиль рельефа местности;
- характер местности.

3.7.3. Программный комплекс ONEPLAN RPLS (ООО «ИНФОТЕЛ»)

Программный комплекс планирования сетей подвижной радиосвязи *ONEPLAN RPLS* предназначен для автоматизированной разработки технически и экономически обоснованных планов развития сетей сотовой, транкинговой и пейджинговой связи, сетей ТВ и радиовещания диапазона УКВ, расчета радиорелейных интервалов и линий.

Программный комплекс включает следующие модули:

RPLS-DB Supervisor – основной модуль программного комплекса, осуществляющий доступ к БД, редактирование данных, запуск модулей, отображение результатов расчетов.

RPLS-DB Coverage – модуль предназначенный для проведения расчетов и анализа покрытия беспроводных сетей связи, а также калибровки моделей с помощью результатов измерения.

RPLS-DB RFreq – модуль позволяющий формировать частотно-территориальный план (ЧТП), проводить расчет CIA и анализировать статистику различных параметров сетей связи.

RPLS-DB Opt 2.5G – модуль оптимизации параметров сети 2.5G.

RPLS-DB Link – модуль для расчета радиорелейных интервалов и линий.

RPLS-DB Link-EMC – модуль оценки ЭМС группировки радиорелейных средств, расчет ЧТП.

RPLS-DB TraffIng – модуль учета коммутации потоков, поиска маршрутов и подключения базовых станций.

RPLS-DB 3G Модуль планирования сетей 3G.

RPLS-DB Opt 3G Модуль оптимизации параметров сети 3G.

Функциональный модуль *RPLS-DB Link* представляет собой систему автоматизированного проектирования радиорелейных интервалов и сетей радиорелейной связи, предназначенную для выполнения энергетического расчета цифровых и аналоговых радиорелейных интервалов и линий с рабочей частотой до 60 ГГц.

Его область применения включает:

- анализ распространения радиосигнала;
- планирование интервалов, линий и сетей радиорелейной связи;
- решение задач электромагнитной совместимости радиорелейных станций;
- другие задачи, связанные с анализом влияния рельефа местности и местных предметов на пространственное распределение уровня электромагнитного поля полезных и мешающих радиосигналов.

Программный комплекс поддерживает следующие функции:

- визуализация электронной модели местности;
- моделирование основных характеристик радиорелейной связи;
- моделирование характеристик оборудования радиорелейных станций;
- моделирование энергетических характеристик систем радиорелейной связи:
 - программный модуль расчета интервала прямой видимости позволяет рассчитать уровень электромагнитного поля в точке приема;
 - расчет затухания УКВ, запаса уровня ВЧ-сигнала и надежности связи на радиорелейных интервалах прямой видимости по методике дифракции радиоволн вокруг препятствий, аппроксимируемых сферами различного радиуса.

Выходными данными компонента являются:

- Профиль местности на интервале РРЛ;
- Рассчитанные значения уровня сигнала в точке приема, коэффициент неготовности, SESR, результаты анализа по пригодности интервалов в условиях нормальной рефракции, субрефракции и субрефракционной неустойчивости;
- Таблица с подробными результатами расчета.

Интерфейс функционального модуля *RPLS-DB Link* показан на рисунках 3.15 и 3.16.

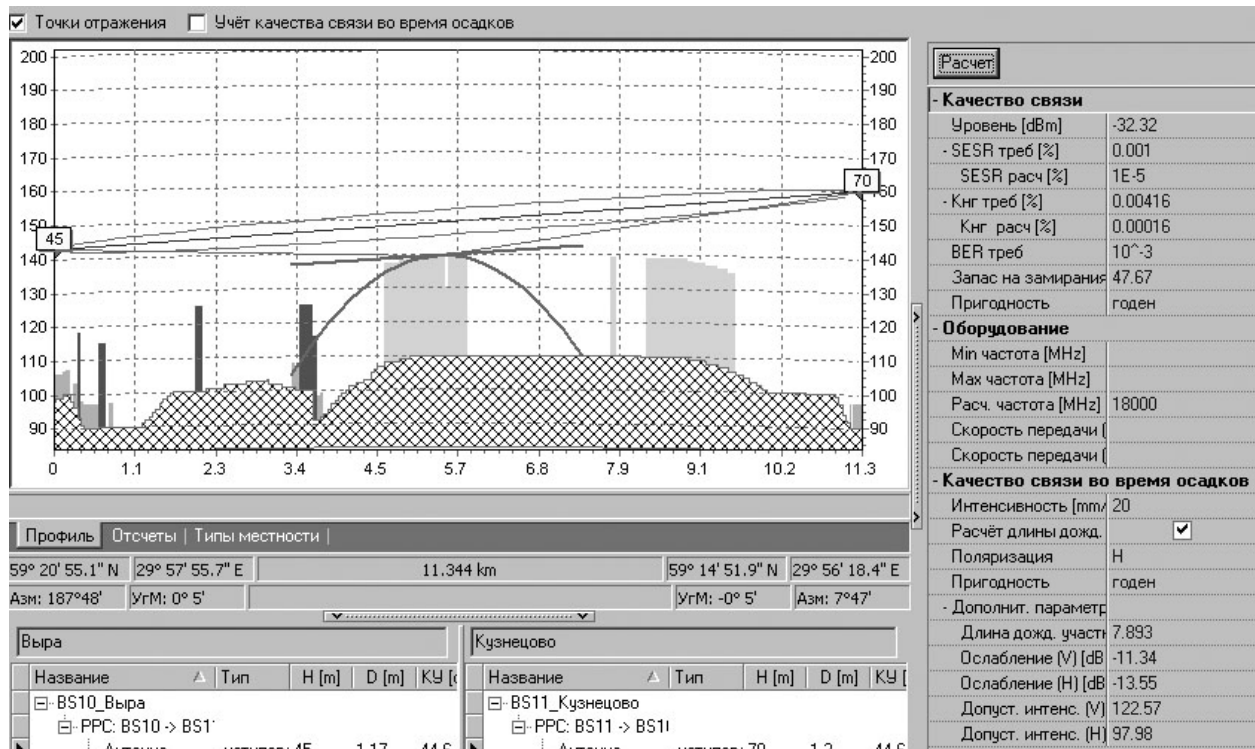


Рисунок 3.17

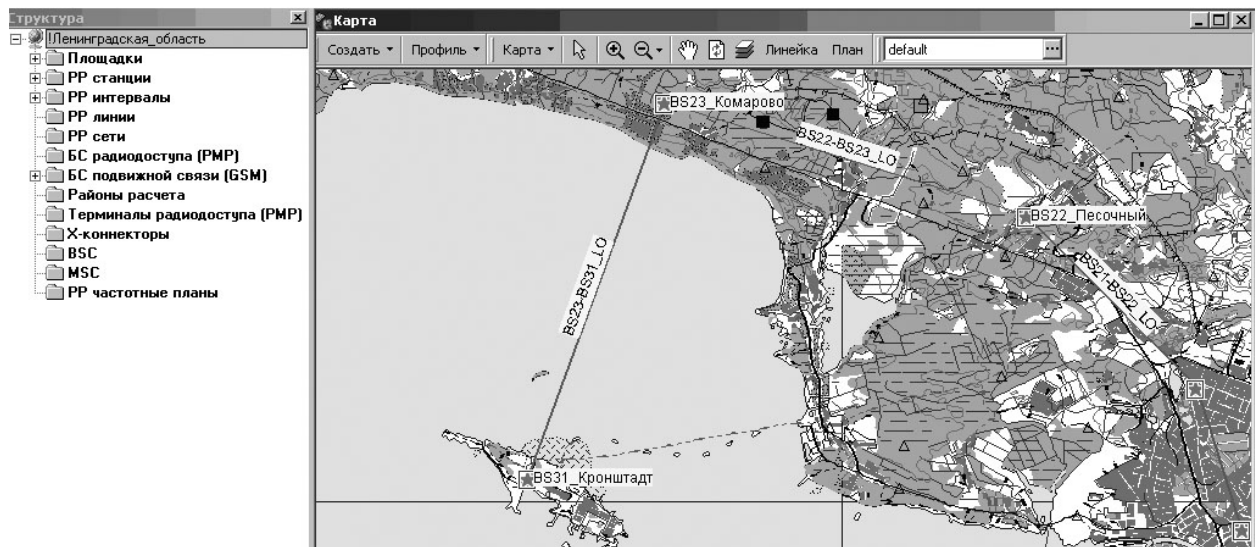


Рисунок 3.18

4. ОБЩИЙ ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ

Основные этапы проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию РРС включают:

1. Предпроектные работы. Поиск мест размещения установки РРС.
2. Получение частотного ресурса.
3. Проектирование.
4. Получение СЭЗ на размещение и эксплуатацию РРС.
5. Строительно-монтажные работы.
6. Пуско-наладочные работы.
7. Регистрация РРС.
8. Ввод в эксплуатацию.

Предпроектные работы. Поиск мест размещения установки РРС.

Целью предпроектных работ (обследований, изысканий) являются:

- Оценка объема и стоимости последующих работ;
- Определение технических решений для строительно-монтажных и пуско-наладочных работ.

Этапы предпроектных работ:

- Выбор места размещения объекта связи;
- Сбор исходных данных для выполнения проектных работ;
- Получение технических и коммерческих условий размещения объекта связи;
- При необходимости выполнение дополнительных изысканий: топографических, инженерно-геологических и т.п.;
- Разработка и согласование с Заказчиком основных технических решений, технических предложений.

В том случае, если для обеспечения требуемых показателей качества связи необходимо устанавливать антенно-мачтовые сооружения (АМС), перед проектными работами должны проводиться инженерные изыскания. Результаты инженерных изысканий в обязательном порядке требуют прохождения государственной экспертизы.

Основными задачами инженерных изысканий являются:

- получение материалов о природных условиях территории, на которой будут осуществляться строительство или реконструкция АМС и факторах техногенного воздействия на окружающую среду, о прогнозе их изменения, необходимых для разработки решений относительно такой территории;
- получение материалов, необходимых для проведения расчетов оснований, фундаментов и конструкций АМС, их инженерной защиты, разработки решений о проведении профилактических и других необходимых мероприятий, выполнения земляных работ, а также для подготовки решений

по вопросам, возникшим при подготовке проектной документации, ее согласовании или утверждении.

Основные типы АМС:

- Классические металлические и алюминиевые башни высотой от 10 м и выше (стандартные высоты - 30, 40, 50, 70, 80, 120 м.). Основная особенность - конфигурация, высота, количество площадок башни рассчитывается исходя из назначения, требуемой несущей способности, планируемого к размещению оборудования.

- Металлические башни на зданиях. Как правило, изготавливаются высотой до 35 м. Их применение позволяет существенно расширить возможности по количеству монтируемого оборудования, разместить его на нужных высотах, как с точки зрения обеспечения связи, так и в соответствии с санитарными нормами.

- Бетонные опоры от 19 до 28 м. Получили распространение в связи с серьезным и масштабным развитием сотовой связи в России, по мере того, как в населенных пунктах стало не хватать существующих объектов для размещения базовых станций. Основные преимущества – простота и быстрота монтажа, невысокие требования к участку земли, более низкая по сравнению с металлическими башнями стоимость строительства.

- Многогранные металлические опоры высотой от 20 до 70 м. Данные АМС достаточно дороги и пока не получили широкого распространения в России, однако они имеют ряд несомненных преимуществ. Так, по сравнению с бетонными опорами их можно изготовить существенно большей высоты. В то же время потребуется существенно меньше места по сравнению с классической башней.

- Башни на так называемых пригрузах весьма актуальны в горной местности. Кроме того, могут применяться в местах, где требуется быстрая установка базовой станции и нет подходящих объектов для ее размещения. Основная особенность заключается в отсутствии классического фундамента. Высота таких башен ограничивается 40 м.

- Мобильные варианты с высотами до 30 м. Примечателен тем, что базовую станцию можно развернуть на один день. Применяется главным образом как временное решение для выполнения срочных задач по обеспечению связью определенной местности. К недостаткам можно отнести необходимость большой площади для крепления растяжек и определенные трудности в эксплуатации.

Во время предпроектных работ для АМС необходимо ответить на следующие вопросы:

- определить ветровой район строительства;
- решить - это башня или мачта. Обычно мачты имеют меньшую металлоемкость, но занимают больший землеотвод, а башни, как правило, на порядок тяжелее мачт, но применяются в условиях ограниченной застройки или при больших нагрузках;

- определить, будет это стационарное АМС на фундаменте или сооружение без привязки к основанию;
- определить будет ли стоять АМС на земле или на кровле зданий;
- посчитать суммарную парусность всего устанавливаемого оборудования.

Получение частотного ресурса

Вопрос подробно рассмотрен в разделе 2.

В настоящее время практически во всех востребованных диапазонах радиочастот действуют обобщенные решения ГКРЧ, которые не требуют оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого конкретного типа РРС при условии, что основные технические характеристики соответствуют требуемым.

Однако, практически во всех диапазонах необходимо получать в установленном порядке разрешения на использование радиочастот на основании заключения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами. Данные услуги оказывает ФГУП ГРЧЦ. Следует учесть, что по времени этот процесс занимает не менее 4-6 месяцев, а стоимость определяется количеством пролетов и используемых дуплексных пар частот.

Например, стоимость работ по проведению экспертизы для РРЛ, состоящей из трех пролетов и использующей три дуплексных пары частот с в диапазоне 8 ГГц, устанавливаемой на территории Карелии (т.е. необходимо осуществить мероприятия по международно-правовой защите), составляет около 90 тыс. руб.

Оплата использования радиочастотного спектра (подробно этот материал рассмотрен в учебном пособии «Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства систем подвижной радиосвязи») для одного пролета такой РРЛ при использовании одной дуплексной пары составит 7560 руб. и рассчитывается следующим образом:

Технология	Ср	Кдч	Ккат	Крч	Кперсп	Кншпи	Кнас	Ксоц	Ежегодная плата, руб. в год
РРС 8 ГГц	1 400	1,00	1,00	2,00	1,00	3,00	0,90	1,00	7 560,00

Для трех пролетов, соответственно: 7560 руб. х 3 = 22680 руб. в год.

От проведения экспертизы о возможности использования заявляемых РРС прямой видимости с действующими и планируемыми для использования РЭС, а также оплаты использования радиочастотного спектра освобождены РРС, функционирующие в диапазонах частот **60 ГГц, 70-80 ГГц и 90 ГГц**, на основании соответствующих решений ГКРЧ (см. раздел 2.3)

Проектирование

Проектирование РРЛ осуществляется с целью выполнения строительно-монтажных работ. Нормативно-правовой базой для разработки проектной документации выступают строительные регламенты и правила, ГОСТы, а также иные ведомственные документы, регламентирующие применение радиорелейного оборудования.

Из требования п. 6 статьи 48 Градостроительного Кодекса РФ следует, что перед началом разработки проектной документации заказчик или застройщик обязан предоставить разработчику проектной документации:

- градостроительный план земельного участка;
- результаты инженерных изысканий (в случае, если они отсутствуют, договором должно быть предусмотрено задание на выполнение инженерных изысканий);

- технические условия (в случае, если функционирование проектируемого объекта капитального строительства невозможно обеспечить без подключения такого объекта к сетям инженерно-технического обеспечения). При проектировании сетей (сооружений) связи дополнительно потребуются технические условия на присоединении к сети связи общего пользования и иные, необходимые для проектирования документы. Кроме того, перед началом проектирования от заказчика (застройщика) также потребуются документы (материалы) подтверждающие его специальные права на использование земельных участков, зданий и сооружений, ограниченных ресурсов (радиочастотного, ресурса нумерации), на оказание услуг связи и содержащие необходимую для проектирования информацию. Необходимо отметить, что все перечисленные выше материалы не являются предметом разработки проектной документации, их нет в «Положении о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [4], а инженерные изыскания вообще выполняются по отдельному заданию.

Разработка, согласование и утверждение проектной документации включает следующие этапы:

- обоснование инвестиций, договор, задание на проектирование, материалы инженерных изысканий;
- определение разработчика проектной документации на конкурсной основе, тендер;
- разработка проектной документации, согласование основных положений;
- государственная экспертиза проектов;
- утверждение проектов инвесторами.

Разработка проектной документации производится на основе договора между заказчиком и проектной организацией, приложением к которому должно быть задание на проектирование.

Основные цели задания - определение задач проектирования, требований к техническим решениям, к объемным и качественным показателям, разграничение ответственности между заказчиком и подрядчиком.

В задание на проектирование целесообразно включить следующие вопросы:

- наименование объекта;
- наименование проектной организации;
- источник финансирования;
- стадия проектирования;
- вид строительства (новое, расширение, техническое перевооружение);
- адреса проектируемых площадок;
- объемные показатели проектирования;
- технические требования к проектируемому объекту, тип, состав оборудования;
- состав проекта с указанием разрабатываемых разделов;
- требования к электроснабжению;
- присоединения к сети связи общего пользования;
- дополнительные требования к проектным решениям.

Задание на проектирование выдается заказчиком. Однако по согласованию с заказчиком оно может быть разработано проектной организацией. В этом случае оно подписывается со стороны заказчика и подрядчика. В любом случае задание утверждается заказчиком.

Постановлением Правительства Российской Федерации №87 от 16.02.2008 [4] определен состав разделов проектной документации. Проектная документация состоит из двух частей: текстовая и графическая.

Текстовая часть должна содержать сведения в отношении проектируемого объекта, описание принятых технических и иных решений, пояснения, ссылки на нормативные и (или) технические документы, используемые при подготовке проектной документации, а также результаты расчетов, обосновывающие принятые решения.

В графической части отображаются принятые технические и иные решения, выполненные в виде чертежей, схем, планов и других документов в графической форме.

Для реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений, содержащихся в проектной документации, дополнительно к проектной разрабатывается рабочая документация.

В соответствии с [4] в состав проектной документации входят разделы:

- общая пояснительная записка;
- схема планировочной организации земельного участка;
- архитектурные решения;
- конструктивные и объемно-планировочные решения;
- сведения об инженерном оборудовании, включающие в себя подразделы «Система электроснабжения», «Система водоснабжения», «Система водоотведения», «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети», «Сети связи», «Система газоснабжения» и «технологические решения»;
- проект организации строительства;

- проект организации работ по сносу и демонтажу объектов капитального строительства;
- перечень мероприятий по охране окружающей среды;
- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности;
- мероприятия по обеспечению доступа инвалидов;
- смета на строительство объектов капитального строительства.

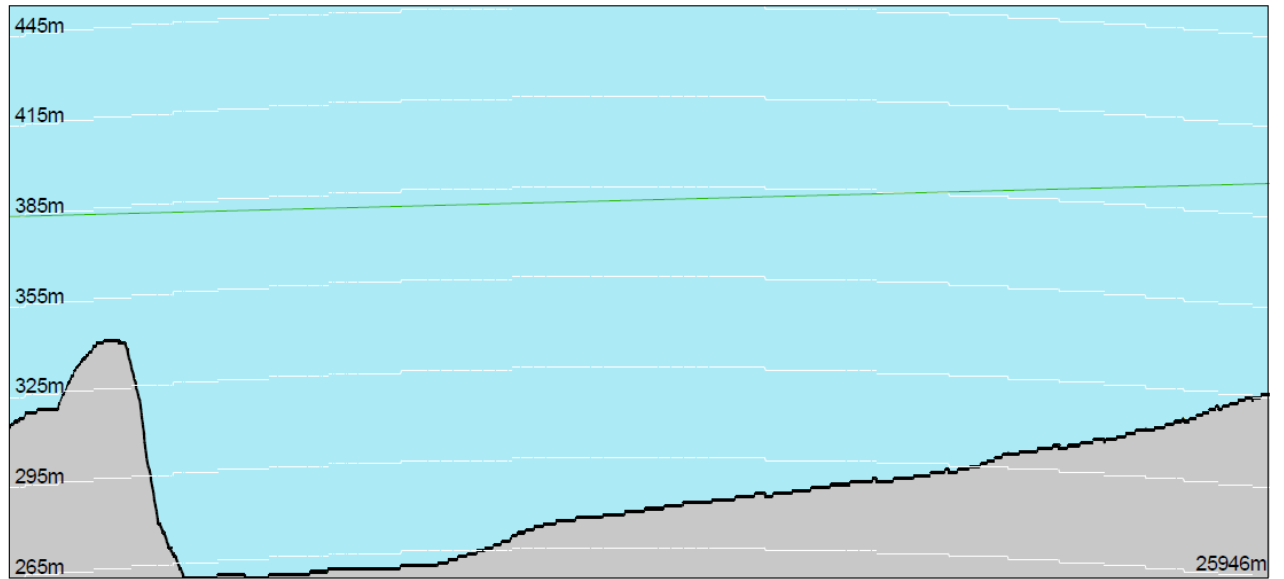
Начиная проектирование и строительство РРЛ, потенциальный пользователь должен помнить, что в соответствии с Законом «О связи», действующими положениями и другими нормативными документами, строительство и регистрация объекта связи производится после получения положительного решения о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС. В настоящее время выбор трассы РРЛ и основных параметров линии - основополагающая задача не только проектирования, но и получения разрешений на эксплуатацию объектов радиосвязи.

На ранней стадии проектирования, еще до подачи заявки в радиочастотную службу, необходимо выбрать трассу РРЛ и тип оборудования, точно определить места расположения опор (осуществить их привязку к Госсети России) и высоту подвеса антенн, разработать основные технические решения. При этом следует учитывать, что в процессе прохождения радиочастотной заявки многие параметры могут измениться. Кроме того, при разработке рабочих чертежей нужно предусмотреть возможность корректировки проекта за счет изменения параметров оборудования.

Проект РРЛ, в соответствии с ГОСТ Р 53363-2009, должен содержать расчеты качественных показателей линии связи, а именно: расчет замираний, влияния осадков, ослабления сигналов. Расчеты производятся в специальном программном обеспечении. Методы расчета основаны на применении рекомендаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ) и учитывают топографические, климатические особенности территории, условия распространения радиоволн, технические характеристики оборудования РРЛ (см. раздел 3).

На рис. 4.1 – 4.3 представлены примеры расчета трассы РРЛ для различных условий и типов местности, выполненные с помощью ПО ICS Telecom:

- рис. 4.1 - расчет трассы РРЛ на равнинной местности;
- рис. 4.2 - расчет трассы РРЛ в городских условиях;
- рис. 4.1 - расчет трассы РРЛ в горной местности;



Тх: ПРС-6 Тоннельный

PATH:

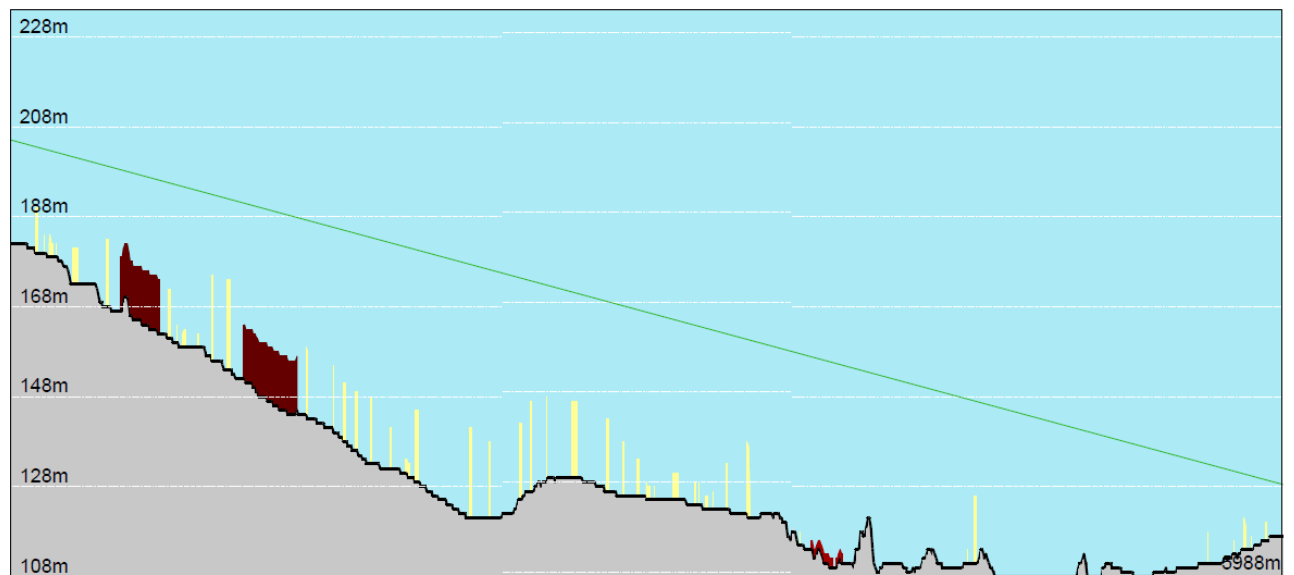
Rx: ПРС-7 Кочубеевское

Address	ПРС-6 Тоннельный
Ident	
Info	HP6-65 1.8 m
Site code	
DTM elevation	315.00 m
X	41.410173
Y	44.550541
H-angle	156.76 deg
V-angle	-0.06 deg
Frequency	6460.000000 MHz V
Power - EIRP	33.00 dBm - 67.50 dBm
Height of antenna	70.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	39.80 dB
Rx gain	39.80 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	5.30 dB

Distance, K (land/sea)	25.95, 8500/8500 km
PR (no rain)	-34.93 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	41.57 38.57 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	99.999395 %
Reliability 10-3 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999382 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999871 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.677135 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999870 %
Outage 10-3 (A)	0.681051 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.998793 %
Reliability 10-6 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-6 (WM)	99.998780 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999743 %
Outage time 10-6 mp (A)	1.351061 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999742 %
Outage 10-6 (A)	1.354977 min/y

Address	ПРС-7 Кочубеевское
Ident	
Info	HP6-65 1.8 m
Site code	
DTM elevation	326 m
X	41.481075
Y	44.420240
H-angle	336.76 deg
V-angle	0.06 deg
Frequency	6800.000000 MHz
Height of antenna	70.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	39.80 dB
Rx gain	39.80 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	5.30 dB
Threshold 10-3	-76.50 dBm
Threshold 10-6	-73.50 dBm
TD	0 dB

Рисунок 4.1



Тх: ул. Льва Толстого, д.96а

Address	ул. Льва Толстого, д.96а
Ident	
Info	PPC-59-001
Site code	
DTM elevation	182.00 m
X	56.490896
Y	59.250027
H-angle	226.66 deg
V-angle	-0.75 deg
Frequency	12900.000000 MHz V
Power - EIRP	23.00 dBm - 58.60 dBm
Height of antenna	23.00 m
Diameter	0.60 m
Tx gain	36.00 dB
Rx gain	36.00 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	0.40 dB

ПАТН:

Distance, K (land/sea)	5.99, 8500/8500 km
PR (no rain)	-36.32 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	43.68 42.68 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %
Reliability 10-3 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999986 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999989 %
Outage 10-3 (A)	0.056476 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	100.000000 %
Reliability 10-6 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-6 (WM)	99.999986 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999989 %
Outage 10-6 (A)	0.056476 min/y

Рх: ул. Тракторная, д. 176

Address	ул. Тракторная, д. 176
Ident	
Info	PPC-59-002
Site code	
DTM elevation	117 m
X	56.443390
Y	59.224681
H-angle	46.66 deg
V-angle	0.75 deg
Frequency	13166.000000 MHz
Height of antenna	11.50 m
Diameter	0.60 m
Tx gain	36.00 dB
Rx gain	36.00 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	0.40 dB
Threshold 10-3	-80.00 dBm
Threshold 10-6	-79.00 dBm
TD	0 dB

Рисунок 4.2

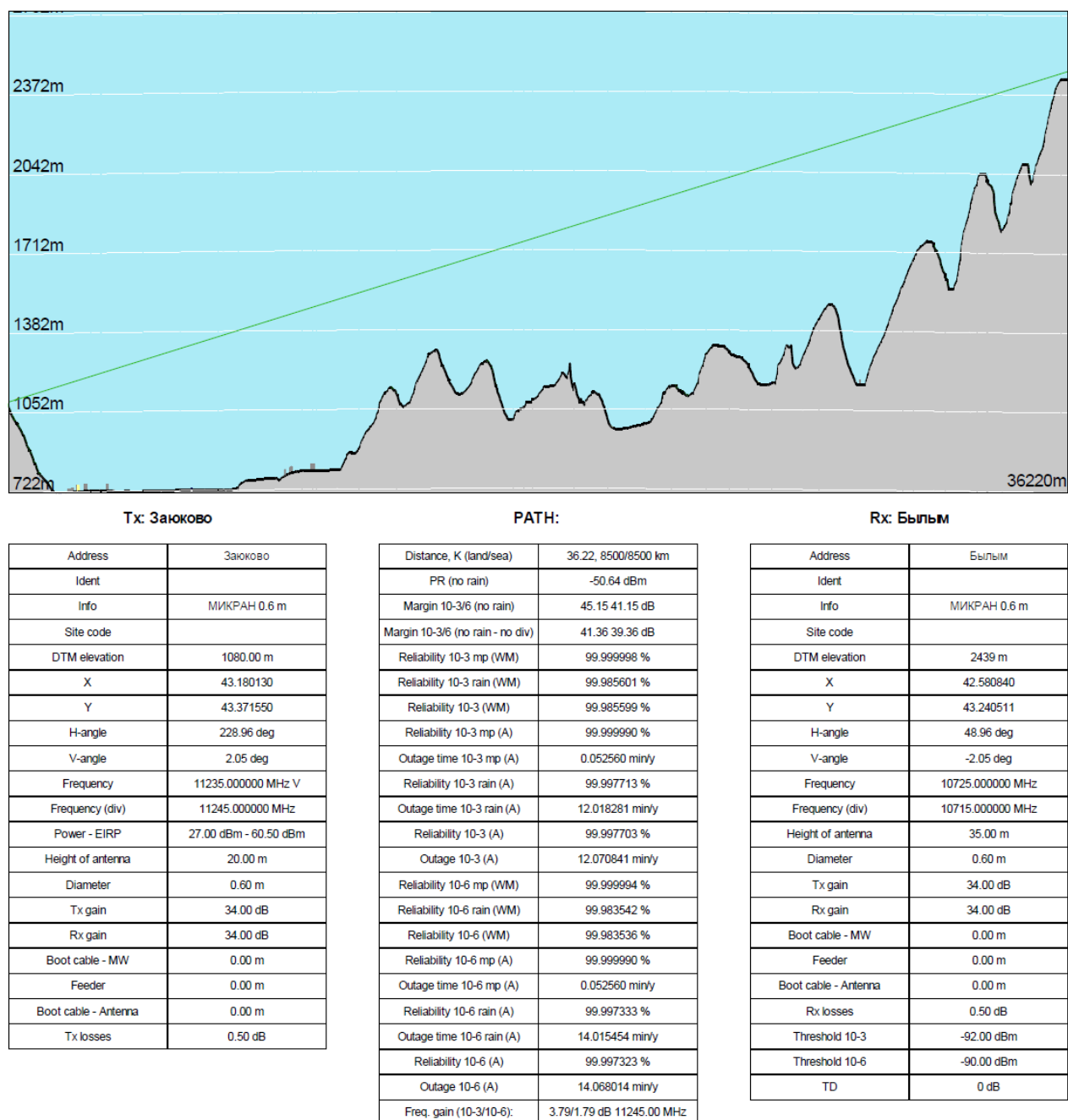


Рисунок 4.3

Разумеется, в рамках реализации проекта строительства РРС ряд разделов проектной документации может, в соответствии с заданием на проектирование, не разрабатываться. Следует также учитывать требования экспертных органов, которые будут проводить экспертизу проектов. Если РРЛ проектируется в целях оказания услуг связи, то для сдачи в эксплуатацию такого объекта требуется положительное заключение экспертного органа ФГУ «Центр МИР ИТ». Задача этого экспертного органа - контроль за соблюдением требований Министерства информационных технологий и связи к построению сетей связи общего пользования.

Проектная документация включает в себя разработку и обоснование основных технических и экономических решений строительства РРС. В

определенных случаях проектная документация требует прохождения государственной или негосударственной экспертизы.

В итоге, в состав проекта РРЛ входят следующие разделы:

- пояснительная записка;
- схема организации связи РРЛ;
- схема размещения станционного и внешнего оборудования;
- схема крепления антенного оборудования;
- схем трассы РРЛ связи;
- профиль РРЛ трассы;
- решения по охране окружающей среды;
- расчет зоны ограничения застройки;
- ситуационный план;
- организация строительства;
- спецификация оборудования.

Также проект РРЛ комплектуется томом «Приложений», который включает:

- техническое задание на проектирование РРЛ;
- копии лицензий оператора на предоставляемые на РРЛ услуги;
- копия допуска саморегулируемой организации;
- все сертификаты и декларации на используемое в проекте оборудование;
- согласовательные и разрешительные документы.

В результате проектных решений согласовываются вопросы выбора оборудования, объемные и качественные показатели радиорелейной сети, сопряжение с другими сетями и системами связи, размещение оборудования, стоимость строительства, природоохранные мероприятия.

Основные проектные решения оформляются в виде схемы организации связи и согласовываются с заказчиком. Пример схемы организации связи одноинтервальной радиорелейной линии показан на рисунке 4.4.

Схема организации содержит сведения о типе оборудования, местах его установки и соединения, характеристики линии связи (диапазон, протяженность участка), используемые интерфейсы и объемные показатели объекта связи.

По требованию заказчика проектная организация может представить не одно, а несколько решений, отличающихся способом реализации и стоимостью. В этом случае заказчик выбирает одно из решений и утверждает его.

Проектные решения, принятые в проектной документации, должны быть согласованы со всеми заинтересованными организациями и лицами. Результаты согласований прикладываются к проектной документации.

Успешность и время выполнения проектных работ в значительной степени зависят от степени подготовки исходных данных. Обязанность по подготовке исходных данных лежит на заказчике. На практике вопросы сбора необходимых и достаточных исходных данных может по заданию заказчика решать подрядчик.

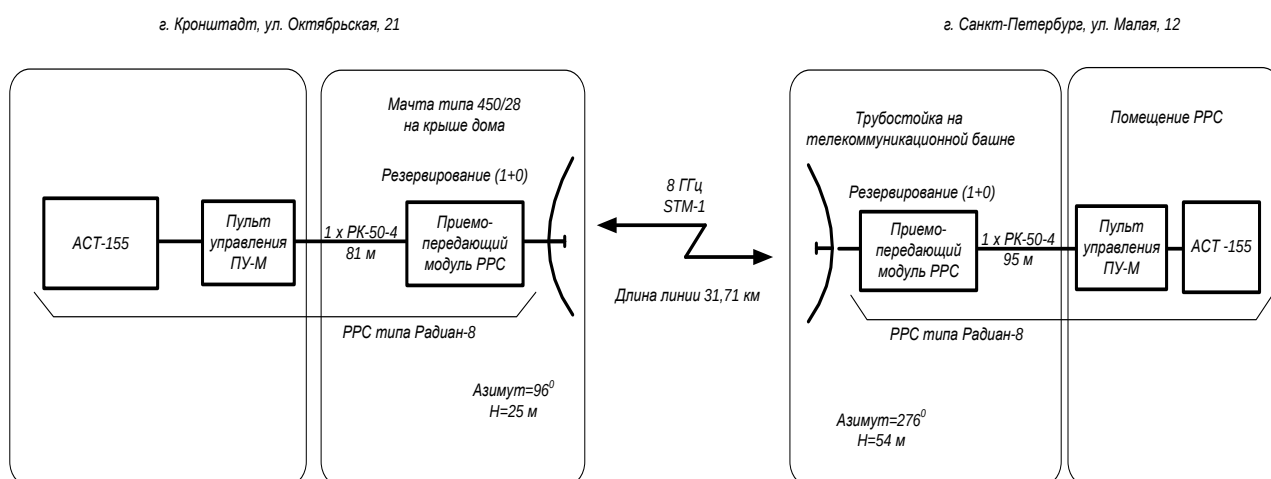


Рисунок 4.4

Перечень основных исходных данных для проектирования РРЛ включает в себя следующие документы и данные:

- технические условия (ТУ) на размещение оборудования в помещениях и на АМС;
- разрешительные документы на использование радиочастот;
- технические условия на электроснабжение;
- ТУ на присоединение или сопряжение с существующими средствами связи;
- протоколы измерения сопротивления заземляющих устройств;
- перечень и характеристика существующих радиоэлектронных средств на АМС;
- заключение о возможности установки проектируемого оборудования на существующих АМС.

При проектировании РРЛ в составе сетей связи общего пользования необходимо учитывать и отражать в проектной документации следующие особенности:

- наличие и выполнение условий лицензии оператора связи;
- наличие разрешения на использование частот (заключения экспертизы ГРЧЦ) и соблюдение условий его выполнения;
- наличие заключения о возможности использования антенной опоры, выданного организацией с соответствующей лицензией;
- наличие и выполнение технических условий по присоединению к сети общего пользования;
- разработка мер по охране природы, расчет санитарно-защитных зон и зон ограничения;
- выполнение требований решений ГКРЧ;
- порядок пропуска трафика;
- использование сертифицированного оборудования;
- выполнение требований по обеспечению надежности электроснабжения;

- управление радиорелейной сетью;
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности;
- обеспечение безопасности и исключение несанкционированного доступа к проектируемой сети.

После выполнения и утверждения проектной документации как правило разрабатывается рабочая документация. Рабочая документация на экспертизу не представляется. Основная цель стадии РД – разработка рабочих чертежей, необходимых и достаточных для проведения строительно-монтажных работ. Состав рабочей документации на строительство определяется соответствующими государственными стандартами СПДС (система проектной документации для строительства) и уточняется заказчиком и проектировщиком в договоре на проектирование.

В общем случае в состав рабочей документации входят:

- рабочие чертежи для производства строительных и монтажных работ;
- спецификация оборудования изделий и материалов;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий и устройств.

Основным документом по выполнению рабочей документации для объектов связи является ГОСТ Р 21.1703-2000 «Правила выполнения рабочей документации проводных средств связи». Документом регламентируются следующие вопросы:

- состав рабочей документации;
- состав рабочих чертежей;
- марки основных комплектов рабочих чертежей;
- правила выполнения рабочих чертежей линейных сооружений связи;
- правила выполнения рабочих чертежей станционных сооружений связи;
- правила выполнения рабочих чертежей сетей связи различного назначения;
- правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.

В состав рабочих чертежей проектной документации на строительство РРС как правило включают следующие:

- план расположения оборудования;
- размещение АФУ;
- схема кабельных соединений и/или таблица соединений;
- схема заземления и молниезащиты;

Чертежи по размещению АФУ должны однозначно указывать место и способ установки антенн и прокладки фидеров. Как правило, чертежи содержат планы и фасады антенно-мачтовых сооружений. Пример вида сбоку установки антенн показан на рисунке 4.5.

Для изготовления и сборки необходимых металлоконструкций может разрабатываться комплект рабочих чертежей или в состав раздела по радиосвязи включаются отдельные чертежи изделий.

Установка антенно-фидерных устройств приводит к появлению дополнительных нагрузок на перекрытия и стены зданий и сооружений.

Каждые проектные решения по установке АФУ должны сопровождаться соответствующими расчетами, подтверждающими возможность установки дополнительной нагрузки. Расчеты нагрузки приводятся в соответствующем разделе проектной документации (представляемой на экспертизу) или в виде прилагаемых материалов к ней. Особенно следует отметить задачу расчета нагрузки существующего антенно-мачтового сооружения, на котором уже установлено оборудование. Целесообразно такие расчеты поручать выполнять организации-проектировщику этого АМС. Помимо всех исходных данных по конструкции антенно-мачтового сооружения в проектной организации, как правило, накоплены все сведения об уже установленном оборудовании, которые необходимо учитывать при расчете.

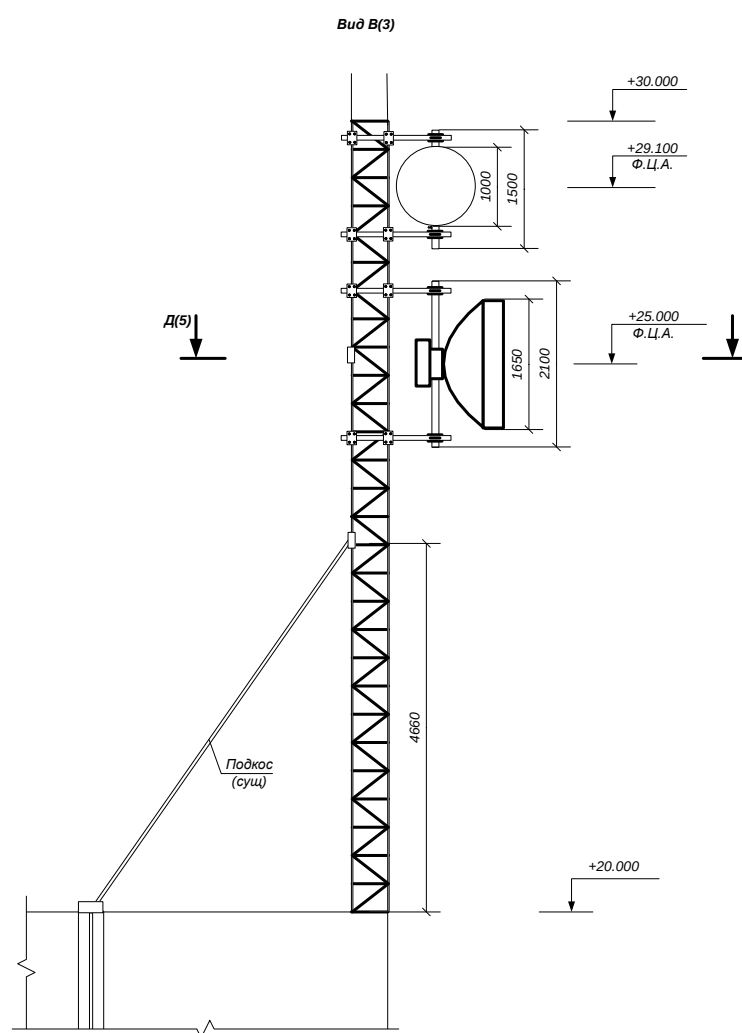


Рисунок 4.5

Схема кабельных соединений позволяет подготовить кабели и осуществить соединение проектируемого оборудования. Пример схемы кабельных соединений показан на рисунке 4.6.

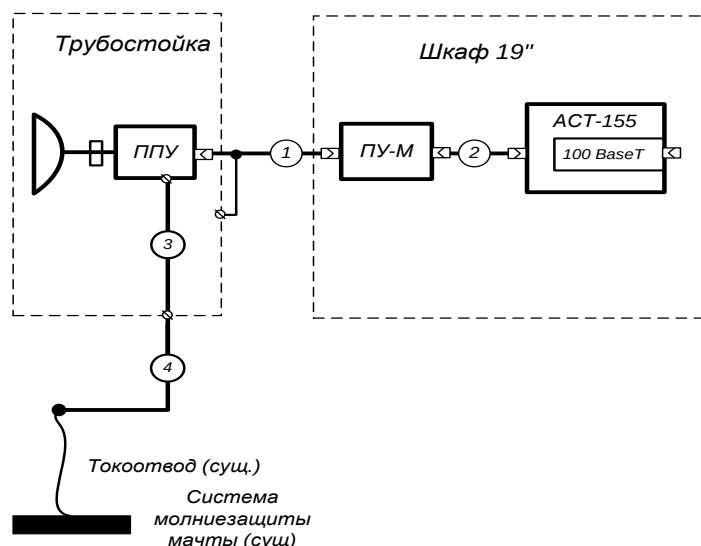


Рисунок 4.6

Длина и способы укладки и разделки кабелей указываются в таблице соединений.

Расчеты длин и сечений кабеля производятся в соответствующих разделах и подразделах проектной документации («Электроснабжение», «Сети связи» и т.д.).

Важным вопросом является обеспечение требуемого для нормальной работы проектируемого оборудования температурно-влажностного режима. Если в помещениях система вентиляции и кондиционирования отсутствует, то необходимо предусмотреть ее установку. Если система существующая, то необходимо выполнить расчет температурно-влажностного режима с учетом существующего и проектируемого оборудования и результатами расчетов, приводимыми в соответствующем разделе проектной документации, показать, что мощности существующей системы достаточно.

Процесс проектирования является сложным и разветвленным, поэтому выполнить все элементы этого процесса самостоятельно представляется невозможным, да и нецелесообразным. Лучше всего на начальной стадии проектирования заключить договор с проектной организацией о проектном сопровождении строительства системы радиосвязи, что убережет от необоснованных решений и лишних затрат.

Для сооружений связи, указанных в приложении «А» приказа Мининформсвязи РФ от 9 сентября 2002 г. № 113 «Об утверждении правил ввода в эксплуатацию сооружений связи» в качестве проектной документации допускается использовать типовые проекты или заводские инструкции (техническую документацию производителя оборудования) и утвержденные оператором (заказчиком) схему соединений и спецификацию сооружения связи, содержащие сведения о назначении, составе средств связи, условиях эксплуатации и технических характеристиках сооружения связи. Экспертиза проектов, обследование и проведение измерений для сооружений связи,

указанных в приложении «А», не требуется. К категории таких РЭС относятся:

- радиорелейные линии, работающие в полосах частот до 470 МГц включительно;
- радиорелейные линии с пропускной способностью до 8 Мбит/с на местных телефонных сетях;
- одноинтервальные радиорелейные линии (станции мощностью до 20 мВт включительно).
- соединительные линии, в том числе РРЛ, используемые для обеспечения внутрисетевого взаимодействия в сетях сотовой связи.

Последняя позиция наиболее привлекательна, т.к. очень часто РРЛ используются операторами сотовой связи для передачи трафика от БС.

Получение СЭЗ на размещение и эксплуатацию РРС

Использование любого передающего радиотехнического объекта требует определения зоны, в которой интенсивность электромагнитного поля превышает предельно-допустимый уровень. Границы этих зон зависят от конкретного случая размещения и мощности передатчика. На стадиях проектирования, строительства или реконструкции передающих радиотехнических объектов должна проводиться оценка электромагнитной обстановки на соответствие требованиям санитарного законодательства. Расчет санитарных зон и зон ограничения застройки производится в соответствии с СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».

Подробно этот материал рассмотрен в учебном пособии «Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства систем подвижной радиосвязи».

Строительно-монтажные и пуско-наладочные работы

Монтаж РРЛ может включать следующие позиции:

- сборка, монтаж антенны РРС;
- монтаж ВЧ-блоков;
- установка и крепление тяги для фиксации антенны РРС (для антенн диаметром 1,2 м и более);
- прокладка, крепление и заземление кабеля ПЧ РРС;
- организация заземления внешнего блока РРС (при необходимости);
- разделка и монтаж разъемов ПЧ на кабели РРС;
- установка стойки для монтажа внутренних блоков РРС и ее заземление;
- монтаж внутристанционного оборудования РРЛ;
- монтаж дополнительной системы СВЭП, кросса, плинтов (при необходимости).

Пуско-наладочные работы могут включать следующие позиции:

- установка параметров ВЧ сигнала и идентификаторов РРЛ;

- юстировка РРЛ пролета с достижением требуемых параметров в соответствии с техническим заданием;
- изготовление интерфейсных кабелей РРС их монтаж и расшивка на кроссах компании в соответствии с рекомендациями или таблицами (при необходимости).

Регистрация РРС

Правила регистрации РЭС подробно описаны на сайтах ТУ Роскомнадзора в каждом регионе. Регистрация РЭС происходит на основании Постановления Правительства Российской Федерации №539 от 12 октября 2004 г. с последними изменениями от 2013 года.

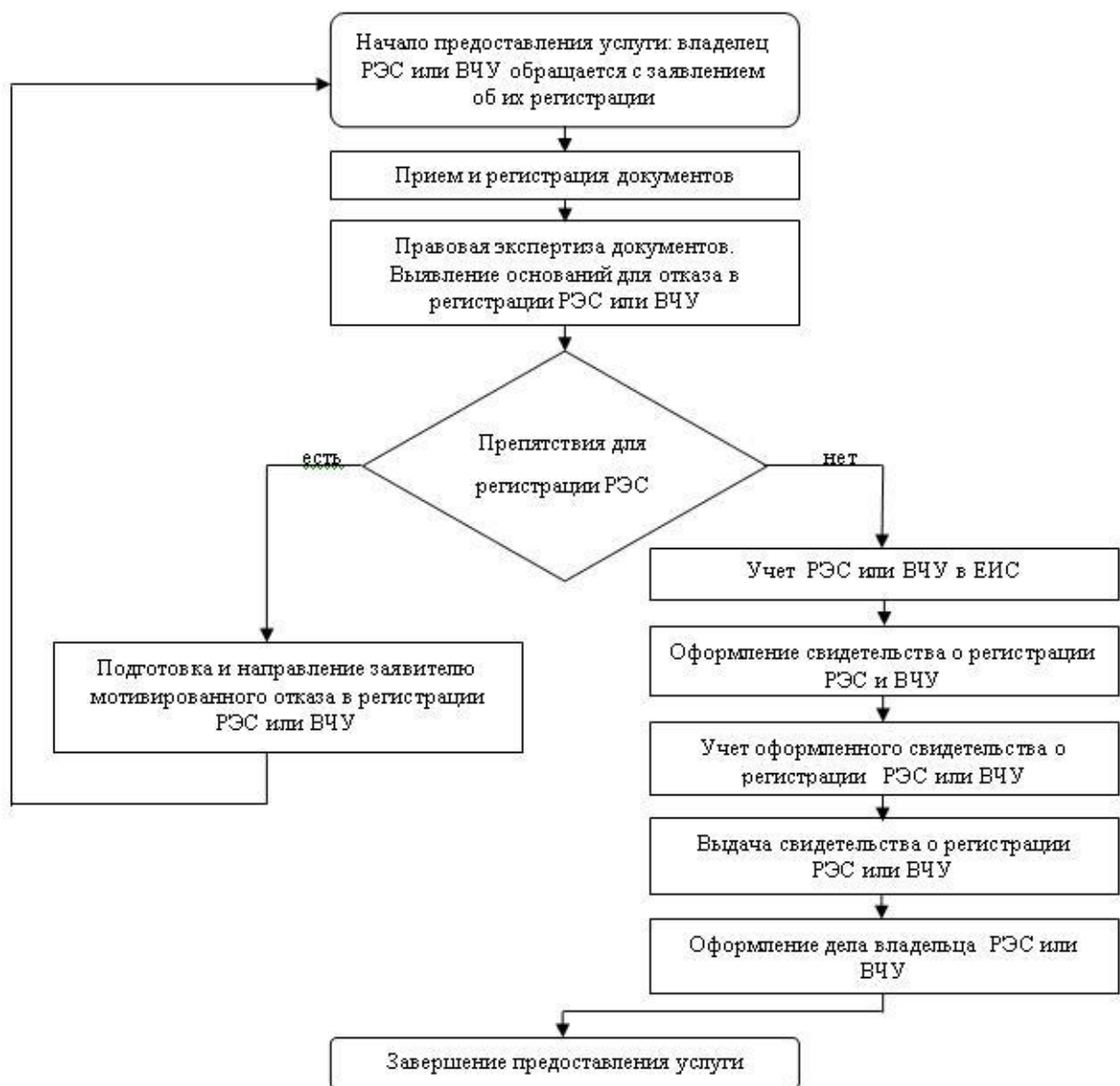


Рисунок 4.4.

Для регистрации понадобится заполнить приложение, в котором описаны технические характеристики регистрируемой РЭС (приказ Минкомсвязи РФ №82 от 15 июля 2010 г.). Перечень технических характеристик и образец заявления для регистрации РЭС можно взять с официального сайта Роскомнадзора.

Регистрация РЭС производится в течении 10 рабочих дней и выдается сроком на 10 лет. Общий алгоритм процедуры регистрации РЭС представлен на рис. 4.4.

Ввод в эксплуатацию

Объект связи принимает в эксплуатацию комиссия, приказ о создании которой оформляется оператором связи в свободной форме. Пишется письмо на имя руководителя ТУ Роскомнадзора о том, что строительство объекта связи завершено, и просьбой назначить представителя от Роскомнадзора. Инспектор Роскомнадзора проверяет документы согласно п.5.4 приказа Мининформсвязи РФ от 9 сентября 2002 г. № 113 «Об утверждении правил ввода в эксплуатацию сооружений связи» и работу узла связи» и работу узла связи. К тому времени регистрация РЭС уже может быть проведена.

Если не было проблем при визите инспектора Роскомнадзора, то обычно в течение 2-4 рабочих дней будет выдано разрешение на эксплуатацию узла связи.

Есть несколько вариантов создания и построения цифровой корпоративной сети, обладающей необходимыми требованиями:

- 1) с использованием высокоскоростных цифровых радиорелейных линий;
- 2) на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС);
- 3) опираясь на существующую инфраструктуру медных линий.

Последний вариант, хоть и малозатратный, не обеспечивает требуемого качества соединительных линий.

Сравнивая РРЛ и ВОЛС, можно отметить следующие преимущества беспроводных технологий:

- требуют гораздо меньших затрат и времени на развертывание, чем ВОЛС;
- могут быть проложены оперативно в сложных географических условиях;
- РРЛ наиболее эффективны при развертывании разветвленных цифровых сетей в больших городах и промышленных зонах, где прокладка ВОЛС слишком дорога или невозможна;
- качество передачи информации по современным РРЛ практически не уступает ВОЛС.

Кроме того, надо отметить такую проблему кабельных линий связи как банальное воровство, приводящее к понижению надежности ВОЛС. В пользу применения радиорелейных систем для построения территориально-распределенных сетей связи говорит тот факт, что в мире большинство междугородных каналов связи образовано на таких системах (в США - 60-

70%, в странах Западной Европы свыше 50%, в Японии порядка 50%). Это обусловлено, прежде всего, относительной простотой сооружения линии при незначительных затратах на строительство и эксплуатацию, а также возможностью оперативного разрешения проблем развития и реконструкции сети без дополнительных капитальных затрат.

В таблице 4.1 дается сравнительная оценка затрат на создание ВОЛС и РРЛ.

Таблица 4.1

Тип трассы	Стоимость 1 км, \$	Стоимость работ, \$	Доп. элементы	Внешние влияния	Срок службы
ВОЛС в грунте	4000 – 6000 бронированный	1000 – 3000 1км/за смену	Кабелеукладчик, трубы	Разряды молний, грызуны, влага	20-25 лет
Подвесные ВОЛС	2000 – 2500 стеклопластик	1000 – 1500 1км/за смену	Стальной трос, зажимы	Осадки, обледенение, вибрация	до 15 лет
РРЛ	800 – 1000 в среднем	до 2500 за пролет 2-3 дня/ пролет	Антенно- мачтовые сооружения	Отражение от влажной поверхности	до 15 лет

Можно сделать вывод, что РРЛ выгоднее строить в следующих случаях:

- в условиях пересеченной местности;
- в случае, если длина трассы превышает 50 км;
- в условиях плотной городской застройки, особенно при использовании РРС, работающих в диапазонах частот 60-90 ГГц.

5. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЯХ РРС

5.1. Отечественные производители РРС

НПФ «МИКРАН» (г. Томск)

Научно-производственная фирма «МИКРАН» основана в апреле 1991 года. Одним из основных направлений деятельности является разработка и производство телекоммуникационной аппаратуры. Полный модельный ряд цифровых РРС иерархий PDH и SDH в диапазоне 0,15 - 40 ГГц позволяет строить транспортные сети систем связи произвольной топологии с единой системой управления и мониторинга. В состав ЦРРС входят все необходимые компоненты для организации РРЛ – радиорелейная аппаратура, мультиплексорное оборудование, системы вторичного электропитания, программное обеспечение.

Группа компаний «НАТЕКС» (г. Москва)

Предприятия группы НАТЕКС разрабатывают и производят широкий спектр оборудования для сетей телефонной связи и передачи данных. НАТЕКС - ведущий производитель и поставщик современного оборудования связи. В настоящее время в коллективе компании работает порядка 300 сотрудников. Система менеджмента качества фирмы соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ISO 9001:2008) в области связи. ГК НАТЕКС осуществляет поставки через сеть партнеров в России и более чем 20 странах ближнего и дальнего зарубежья. НАТЕКС имеет богатый опыт разработки и производства профессиональной аппаратуры для телефонии и передачи данных и стремится предлагать потребителям лучшие решения в каждом из сегментов рынка.

Основная линейка РРС: Nateks Multilink (6 – 38 ГГц и 70-80 ГГц)

ООО «Микролинк-связь» (г. Москва)

Производственная компания ООО «Микролинк-связь» была создана в 2000 году с целью серийного производства телекоммуникационного оборудования широкого и специального применения. Компания имеет собственные разработки и лицензии на производство. Для операторов связи и ведомств компания предлагает комплекс услуг по внедрению оборудования на сетях связи России и СНГ. Производство компании размещено не только в России, но и на заводах в Европе. Мощности производства и сервиса полностью обеспечивают выпуск и техническую поддержку более чем 200 наименований продукции.

Все производимое компанией оборудование по эксплуатационным параметрам отвечает самым высоким требованиям, имеет сертификаты соответствия Министерства связи РФ, а качество производства соответствует международному стандарту ISO 9001-2001.

Основная линейка РРС: ML-G-S (6-38 ГГц), ML-G-L (3,4 – 58,2 ГГц), ML-G-M (7-38 ГГц, 70-80 ГГц)

НПФ «Сельсофт» (г. Шахты Ростовская обл.)

В 2014 году компании исполнилось 14 лет. Несмотря на относительно молодой возраст, она занимает устойчивые позиции на рынке сельской и ведомственной связи, выиграв тендеры и успешно выполнив крупные заказы ОАО «Сибирьтелеком» и «Северо-Западный телеком», нескольких серьезных ведомств: ФСБ, Минобороны, РАО ЕЭС - предприятий нефте- и газодобывающей промышленности, оценивших функциональность, надежность и ценовую привлекательность оборудования.

Основная продукция РРС: линейка Р-11 (7-23 ГГц) и Р-6 (150 – 400 МГц).

ООО «МЦ Фобос»

(Московская область, Пушкинский район, пос. Лесной)

ООО «МЦ Фобос» было создано в 1989 году на базе одного из старейших радиотехнических предприятий оборонного комплекса СССР легендарного КБ1 (потом «Алмаз, НИИРП»). В 1989 году был резко сокращен оборонный заказ на системы радиуправления военного назначения и сотрудники СКБ-6 занимавшиеся данными вопросами организовали небольшое предприятие для разработки и изготовления аппаратуры радиуправления и передачи данных коммерческого назначения.

В 1990 году были получены первые лицензии на разработку, а потом и на серийное изготовление радиоаппаратуры коммерческого назначения в нескольких диапазонах частот. В 1994 году была разработана и установлена в районе Белгорода на Лебедянском ГОКе первая трехпролетная радиорелейная линия на базе аппаратуры серии Флокс. Эта линия безотказно работает до настоящего времени. Сейчас радиорелейная аппаратура серии Флокс работает не только в России, но и целом ряде других стран.

Дальнейшие разработки РРС «Флокс-4», «Флокс-7», «Флокс-23», «Флокс-лайт».

НПП «Радий» (г. Москва)

В настоящее время предприятие серийно выпускает следующее радиорелейное оборудование цифровые радиорелейные станции «Эриком-11» и «Эриком-13», работающие в диапазонах частот соответственно 11 и 13 ГГц со скоростью передачи информации 2,048 и 8,448 Мбит/с. Радиорелейные станции предназначены для организации одноствольных однопролетных радиорелейных трактов на городских, сельских, внутризоновых, а также абонентских и ведомственных сетях связи.

Заканчивается разработка цифровой радиорелейной станции «Эриком-11Е3», работающей в диапазоне частот 11 ГГц и предназначенной для организации двуствольных многопролетных радиорелейных трактов со

скоростью передачи информации 34,368 Мбит/с на городских, сельских, внутризоновых, а также ведомственных сетях связи.

Ведется разработка радиорелейных станций «Эриком-8» и «Эриком-15» в диапазонах частот соответственно 8 и 15 ГГц.

ООО «ИМАКЛИК» (Imaqliq) (г. Санкт-Петербург)

ООО «ИМАКЛИК» (старое название - Дженерал ДейтаКомм) начала свою деятельность в 1993 году и на сегодняшний день занимает лидирующие позиции на рынке телекоммуникаций и информационных технологий. Крупнейшие операторы связи уже не первый год используют производимое компанией оборудование для построения своих сетей.

Компания начинала свою работу с поставок импортного оборудования, а теперь имеет собственный Центр научно-технических разработок и налаженное производство. ООО «ИМАКЛИК» производит оборудование под собственной торговой маркой «АНТЕРУМ» (6-38 ГГц), зарегистрированной как в России, так и некоторых странах СНГ.

Все оборудование, поставляемое компанией, имеет сертификаты Минсвязи РФ.

Штат компании насчитывает более ста высококвалифицированных специалистов. Главный офис компании «ИМАКЛИК», Центр научно-технических разработок, тестовые лаборатории и служба технической поддержки находятся в Санкт-Петербурге. Компания имеет официальные представительства в Москве, Владивостоке и во Вьетнаме, а также филиал в Таллинне.

ЗАО «РАДИАН» (г. Санкт-Петербург)

Компания представлена коллективом опытных специалистов - разработчиков многолетним стажем работы в области создания систем радиосвязи, радиовещания и телекоммуникаций.

Компанией разработано, налажено производство и поставка оборудования для систем связи, которое в настоящее время успешно эксплуатируется практически во всех регионах России, стран СНГ и ближнего зарубежья.

Оборудование позволяет создать радиорелейные линии для организации цифровых (PDH и SDH) и аналоговых трактов передачи телефонии, данных, программ телевидения и звукового вещания. Оконечное оборудование цифрового радиорелейного тракта позволяет преобразовать практически любую существующую аналоговую РРЛ в цифровую, значительно повышая этим качество и надежность связи.

Поставляемое оборудование имеет сертификаты соответствия Минсвязи РФ. ЗАО «РАДИАН» имеет необходимые лицензии и осуществляет строительство «под ключ» объектов связи.

Производственное объединение «Радиозавод им. А. С. Попова» (г. Омск)

Предприятие было создано в 1948 году, плановый выпуск продукции начался в 1954 году. С 2005 года завод производит универсальные цифровые радиорелейные станции для силовых структур и ведомственных заказчиков «Азид-ЧС» и «Малютка-ЧС» и Р-419. Основная область применения:

- организация связи в сельской и пригородной местности;
- организация связи в удаленных и труднодоступных районах с различным климатом и рельефом;
- организация ведомственной и производственно-технологической связи (на трубопроводах и транспортных предприятиях);
- организация связи с подвижными лабораториями и комплексами;
- организация локальных сетей.

Научно-производственное объединение «Правдинский радиозавод» (г. Балахна, Нижегородская область)

Научно-производственное объединение «Правдинский радиозавод» является одним из ведущих предприятий радиоэлектронной промышленности России.

НПО «Правдинский радиозавод» входит в состав ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей» и является преемником Правдинского завода радиорелейной аппаратуры, основанного в 1959 году для производства радиолокационных комплексов.

Гражданскую продукцию радиозавода традиционно представляет линейка цифрового радиорелейного оборудования «РАДИУС» и «СТРЕЛА», параболические антенны, антенно-мачтовые устройства.

ЗАО «ДОК» (г. Санкт-Петербург)

Фирма ДОК была образована в 1993 году как научно - производственное предприятие. В 1998 году фирма начала работы по созданию в миллиметровом диапазоне длин волн коммуникационного оборудования.

В настоящее время компания представляет на телекоммуникационном рынке сертифицированное оборудование топологии «точка-точка» и «точка-многоточка» для беспроводной передачи данных со скоростями до 1250 Мбит/с в радиочастотных диапазонах 40.5-43.5 ГГц, 71-76/81-86 ГГц, 92-95 ГГц.

Все радиомосты отвечают российским и международным требованиям. Высокая скорость обмена данными позволяет реализовать самые разные услуги цифровой связи, в том числе сервисы Triple Play - одну из новейших концепций мультимедийных беспроводных сетей, в которой с помощью IP-трафика потребителю доставляются услуги широкополосного доступа в Интернет, телевидения по IP (IPTV, HD-IPTV), видео по требованию VoD (Video on Demand), IP-телефонии (VoIP).

Подобные системы связи могут быть использованы для построения опорных магистральных беспроводных каналов связи нового поколения - 4G, LTE / LTE Advanced; скоростных сетей для базовых станций операторов связи, в том числе для мобильной телефонии; соединения станций Wi-Fi и WiMAX; для решения проблемы «последней мили»; в качестве альтернативы для оптоволокну и линий атмосферной оптики.

5.2. Зарубежные производители РРС

Компания ALCATEL-LUCENT

Сегодня компания предоставляет коммуникационные решения, позволяющие поддерживать услуги, связанные с передачей голоса, данных и видео. Компания осуществляет свою деятельность более чем в 130 странах мира. Система цифровой радиорелейной связи 9600 LSY охватывает приложения радиосвязи типа «точка - точка» на основе городских каналов связи, поддерживая следующие частотные диапазоны: 13; 15; 18; 23; 25; 28; 38 ГГц.

Компания ERICSSON

История шведской компании «Эрикссон» в России насчитывает более 127 лет. Она берет начало в 1881 году, когда основателю компании Ларсу Магнусу Эрикссону поступил заказ из Петербурга на изготовление небольшой партии телефонов.

Уникальный опыт и знания российского рынка, накопленные на протяжении столь долгой истории «Эрикссон» в России, еще более укрепились с созданием в 1994 году в Москве компании со 100% участием шведского капитала «Эрикссон Корпорация АО», более 500 сотрудников которой работают в Москве, Санкт-Петербурге и Красноярске.

Радиорелейное оборудование Ericsson Mini Link E - компактное оборудование, разработанное для операторов связи и корпоративных заказчиков. Радиорелейное оборудование Ericsson Mini Link E полностью интегрируется с существующими телекоммуникационными сетями, дополняя их новыми возможностями при передаче информации и голоса.

Компания NEC

Деятельность японской корпорации NEC в России началась в конце семидесятых годов с участия в крупномасштабном проекте по организации космической связи Intelsat в городе Дубне для обеспечения телевидения на Олимпиаде-80. На протяжении восьмидесятых годов корпорацией NEC был реализован целый ряд значимых для страны проектов: строительство радиорелейной линии связи на участке Москва - Ялта, организация спутниковой связи Inmarsat в городах Находке и Одессе, организация автоматической междугородней связи совместно с Intelsat в Ташкенте.

В 2010 году NEC Corporation провела реорганизацию двух дочерних предприятий в Москве и Санкт-Петербурге в форме присоединения ЗАО «НЭК Инфокоммуникации» к ЗАО «NEC Нева Коммуникационные Системы», создав тем самым «единое окно» для заказчиков и основу для расширения сотрудничества с клиентами.

В ответ на интерес к решениям компании в странах СНГ и ближнем зарубежье в 2011 году ЗАО «NEC Нева Коммуникационные Системы» открыла три представительства – в Республике Беларусь, Казахстане и Украине.

Решения NEC PASOLINK гарантируют высокую производительность радиорелейных систем, отвечая требованиям клиентов к скорости и возможностям стратегического планирования. Благодаря применению передовых технологий системы PASOLINK вносят сегодня значительный вклад в улучшение коммуникаций во всем мире.

Компания Nokia Siemens Networks

Производитель телекоммуникационного оборудования и решений, сформированный за счет слияния подразделений компаний Siemens и Nokia.

Nokia Siemens Networks (NSN) входит в первую тройку ведущих мировых производителей телекоммуникационного оборудования для беспроводных и фиксированных сетей операторов мобильной и фиксированной связи.

Цифровое радиорелейное оборудование (оборудование РРЛ) Nokia Siemens Networks FLEXIHOOPER™ Microwave Radio позволяет быстро устанавливать линии связи. Это универсальное решение для быстрого и легкого удовлетворения потребностей в организации каналов связи, позволяющее быстро разворачивать сети связи при относительно невысоких затратах.

Цифровые РРЛ Nokia Siemens Networks FLEXIHOOPER Microwave Radio работают в диапазонах частот 7, 8, 13, 15, 18, 23, 26 и 38 ГГц и могут быть использованы для обеспечения линий связи в сотовых, фиксированных и ведомственных сетях.

Компания DragonWave Inc. (Канада)

Компания DragonWave Inc. (Канада) основана в 2000 году и в настоящее время является ведущим производителем, поставщиком (и разработчиком) высокоскоростных (Гбит/с) радиорелейных станций (2,3-80ГГц) нового поколения для организации сетей связи широкого профиля и прежде всего – мультисервисных сетей нового поколения, ориентированных на Интернет-протокол (IP), минимальные временные задержки и высокую степень надежности радиорелейной связи. Решения от DragonWave позволяют быстро и недорого организовать как высокоскоростные транспортные радиосети операторского класса с передачей широкополосного пакета (данные+голос+видео высокой четкости), так и обеспечить решения

организации «последней мили» для расширения существующих беспроводных корпоративных сетей, волоконно-оптических, медных и других сетей связи. Решения совместимы с сетями других производителей по стандартному интернет интерфейсу GbE.

Компания Harris Stratex Networks (США)

Американская компания Harris Stratex Networks предоставляет широкий спектр беспроводного оборудования, решений и услуг для операторов мобильной и фиксированной телефонной связи, операторов частных сетей, государственных учреждений, транспортных и муниципальных предприятий, структур общественной безопасности и операторов широкополосных систем по всему миру.

Выпускаемое компанией оборудование работает в частотных диапазонах от 2 до 38 ГГц, диапазон пропускных способностей варьируется от одного Е1 до нескольких STM-1, поддерживается передача всех типов трафика от голосового и до трафика IP-сетей. Оборудование Harris Stratex Networks соответствует стандартам FCC, TIA, CEPT, ITU, ETSI и MEF.

Центральные офисы компании расположены в США и Сингапуре; крупные филиалы и региональные представительства имеются в Европе, Азии, на Ближнем Востоке, в Латинской Америке и Тихоокеанском Регионе. Продукция компании используется в 135 странах.

Компания Harris Stratex Networks давно и прочно закрепила на рынке России и СНГ, являясь одним из основных поставщиков беспроводных решений для таких организаций, как ВымпелКом и Газпром.

В России имеется представительство компании, включающее штат технической поддержки для русскоговорящих клиентов Harris Stratex.

Компания Nera (Норвегия)

Норвежская компания Nera Networks AS с 1947 года разрабатывает, производит и поставляет системы радиорелейной связи для транспортных сетей самого широкого применения: сотовых сетей, магистральных, зональных и местных сетей связи, сетей доступа и т.д. Nera Networks AS поставляет оборудование в более, чем 100 стран всего мира, причем более 90% всего объема продукции эксплуатируется на сетях связи за пределами Норвегии.

В компании Nera Networks AS работает около 800 сотрудников, включая сотрудников 30 офисов продаж и поддержки заказчиков за пределами Норвегии. Головной офис компании расположен в г. Берген, Норвегия. Региональные офисы находятся в Америке, Европе, Азии и в Африке.

Российская компания ООО Нера Нетворкс является «дочерним» предприятием со 100% капиталом компании Nera Networks AS. Компания ООО Нера Нетворкс находится в Москве и уполномочена выполнять полный набор услуг по подготовке, заключению и исполнению контрактов на поставку радиорелейного оборудования, монтажу и пуску оборудования в действие, гарантийному и послегарантийному обслуживанию, а также по другим

работам, обеспечивающим полномасштабное присутствие компании на российском рынке телекоммуникационного оборудования.

Компанией Nera Networks AS поставлен большой комплекс радиорелейного оборудования в Россию для обеспечения многоствольных магистральных радиорелейных линий связи таким крупнейшим операторам связи, как ОАО Ростелеком, АК Транс нефть, ОАО Роснефть, и др. В активе компании поставка и ввод в действие магистральной РРЛ в объеме 6-ти SDH радиостволов с протяженностью РРЛ более 800 км в труднодоступном регионе Сибири, более 3000км магистральных РРЛ вдоль трубопроводов в малонаселенных районах России с тяжелыми климатическими условиями.

Компания ООО Нера Нетворкс считает одной из приоритетных задач обеспечить российских операторов связи новейшими разработками радиорелейного оборудования, которые имеют крайне высокую степень интеграции всего комплекса оборудования и обеспечивают операторам большие возможности в его использовании. Это высоконадежное, малопотребляющее и высокоэкономичное оборудование семейства EVOLUTION Series поставляется в настоящее время в Россию компанией ООО Нера Нетворкс на самых выгодных и приемлемых для российских операторов связи условиях.

Компания SAF Tehnika (Латвия)

С момента создания в 1999 году латвийская компания SAF Tehnika стала значимым игроком на мировой арене. Добиться этого помогло объединение уникальных знаний и опыта создателей компании как в современных микроволновых технологиях передачи данных посредством радио, так и в организации производства, торговли, монтажа и технической поддержки. В начале в SAF Tehnika работало всего около 10 человек; сегодня штат компании насчитывает свыше 160 специалистов.

В марте 2008 года SAF Tehnika представила новую линию продукции - CFIP. Данная продукция являет собой новое поколение радиосистем SAF с пропускной способностью до 108 Мбит/с.

В 2009/10 году SAF Tehnika увеличила свое глобальное присутствие, начав продажи на 5 новых рынках, таким образом увеличив число рынков сбыта до 79 и общее количество рабочих рынков до 98. SAF Tehnika продолжает успешно осуществлять свою деятельность на рынках всех континентов и планирует и в дальнейшем продолжать свое развитие в международных масштабах, выходя на новые рынки в развитых и развивающихся странах, особенно в перспективных регионах США, Азии и Африки.

Компания RADWIN (Израиль)

RADWIN – разработчик и производитель радиорелейных станций в частотных диапазонах 2,3-2,47ГГц; 3,3-3,8ГГц; 4,8-6ГГц с суммарной (в дуплексе) пропускной способностью трафика до 50Мбит/с (с интерфейсами до 16 потоков E1 + Ethernet).

Радиорелейные станции RADWIN имеют невысокую стоимость и привлекают простотой установки и обслуживания систем. Часто используются в качестве решения для организации абонентского доступа - "последней мили".

Компания Ceragon Networks

Ceragon Networks – занимает ведущие позиции в разработке и производстве сверхвысокочастотных широкополосных цифровых радиорелейных систем передачи данных (SDH-Radio).

Линейка FibeAir производится на заводах компании в Израиле, США и Франции и сертифицирована международными институтами стандартов ETSI, FCC и др. В России оборудование Ceragon имеет сертификаты соответствия Министерства связи и массовых коммуникаций РФ.

Изделия компании Ceragon максимально адаптированы для применения в государственных, корпоративных и частных сетях широкого круга различных отраслей - добывающих, транспортных, электроэнергетических, банковских и других.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день рынок радиорелейного оборудования динамично развивается, о чем свидетельствует увеличивающийся спрос на РРС. Этому способствуют такие факторы, как необходимость обеспечения связью месторождений находящейся на подъеме нефтегазовой отрасли, возросшая потребность населения к получению интегрированного доступа к голосовой связи и Интернет, предоставление универсальной услуги связи в новых жилых массивах. Возможность передачи речи, данных, видео, построения сетей различной топологии, быстрота развертывания линий, приемлемая стоимость делают цифровые радиорелейные станции привлекательными по доведению цифровых услуг до абонентов в различных регионах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья.

Несмотря на кажущееся обилие полос частот, оператор нередко оказывается сегодня перед непростым выбором. С одной стороны хочется удешевить линию, применив как можно более низкочастотные станции, а с другой стороны есть опасность попасть в уже «забитый» участок спектра и потратить все сэкономленные средства на покупку дорогостоящих входных фильтров и проведение согласований с действующими системами.

В последнее время у регуляторных органов наблюдается тенденция передачи «низких» диапазонов частот от фиксированных систем связи подвижным или спутниковым. Поэтому РРС постепенно придется уходить с привычных частотных диапазонов и осваивать новые, более высокие. На данный момент мала вероятность проникновения подвижной связи в полосы частот выше 3 ГГц, так что в десятках гигагерц РРЛ могут чувствовать себя в относительной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ФЗ № 126 от 7 июля 2003 г. «О связи».
2. Постановление Правительства РФ от 5 июня 1994 г. №643 «О порядке изготовления, приобретения, ввоза в Российскую Федерацию и использования на территории Российской Федерации радиоэлектронных средств (высокочастотных устройств)».
3. Таблица распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2011 г. №1049-34).
4. Постановлением Правительства Российской Федерации №87 от 16.02.2008 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (в ред. Постановлений Правительства РФ от 18.05.2009 № 427, от 21.12.2009 № 1044, от 13.04.2010 №235).
5. Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот (утвержденное решением ГКРЧ № 11-13-02 от 20.12.2011).
6. МСЭ-R F.382-8 (04/06) Планы размещения частот радиостолов для радиорелейных систем, действующих в полосах 2 и 4 ГГц.
7. МСЭ-R F.383-7 (05/01) Планы размещения частот радиостолов для цифровых радиорелейных систем большой емкости, действующих в нижней части диапазона 6 ГГц (5925–6425 МГц).
8. МСЭ-R F.384-9 (04/06) Планы размещения частот радиостолов для аналоговых или цифровых радиорелейных систем большой пропускной способности, действующих в верхней части диапазона 6 ГГц (6425–7125 МГц).
9. МСЭ-R F.385-8 (01/05) Планы размещения частот радиостолов для радиорелейных систем, действующих в диапазоне 7 ГГц (7110–7900 МГц).
10. МСЭ-R F.387-10 (02/06) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 11 ГГц.
11. МСЭ-R F.497-6 (02/99) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 13 ГГц (12,75–13,25 ГГц).
12. МСЭ-R F.595-9 (02/06) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в полосе частот 18 ГГц.
13. МСЭ-R F.635-6 (05/01) Планы размещения частот радиостолов, основанные на однородном растре, для радиорелейных систем, действующих в диапазоне 4 ГГц.

14. МСЭ-R F.636-3 (09/94) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 15 ГГц (14,4–15,35 ГГц).

15. МСЭ-R F.637-3 (02/99) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 23 ГГц.

16. МСЭ-R F.746-8 (02/06) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированной службы.

17. МСЭ-R F.747 (03/92) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 10 ГГц.

18. МСЭ-R F.748-4 (05/01) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированной службы, действующих в диапазонах 25, 26 и 28 ГГц.

19. МСЭ-R F.749-2 (05/01) Планы размещения частот радиостолов для радиорелейных систем, действующих в полосе 38 ГГц.

20. МСЭ-R F.1099-3 (02/99) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа высокой и средней пропускной способности, действующих в верхней части полосы частот 4 ГГц (4400–5000 МГц).

21. МСЭ-R F.1242 (05/97) Планы размещения частот радиостолов для цифровых радиосистем, действующих в полосе частот 1350–1530 МГц.

22. МСЭ-R F.1497-1 (02/02) Планы размещения частот радиостолов для систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазоне 55,78–59 ГГц.

23. МСЭ-R P.526-10 (02/07) Распространение радиоволн за счет дифракции.

24. МСЭ-R P.530-12 (02/07) Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости.

25. МСЭ-R P.676-6 (03/05) Ослабление в атмосферных газах.

26. МСЭ-R P.838-3 (03/05) Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования.

27. Регламент радиосвязи МСЭ, Женева, 2011.

28. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов. – М: Высшая. школа, 1992. – 416 с.

29. Никольский В.В., Никольская Т.Н. Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов. – М: Наука., 1989. – 544 с.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

КАФЕДРА БЕСПРОВОДНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Кафедра основана в 2011 году группой специалистов в области электросвязи, занимающихся научно-исследовательской и практической деятельностью, и уже зарекомендовала себя как динамично развивающееся подразделение университета.

Основной упор при подготовке студентов делается на обучении основам построения и функционирования систем, сетей и технологий беспроводной связи. В процессе обучения изучаются современные и перспективные технологии сотовой связи (GSM, UMTS, LTE), телевидения и радиовещания (DVB-T/H, DRM), спутниковой связи и навигации (ГЛОНАСС, GPS), а также технологий специализированной связи.

Во время обучения уделяется особое внимание услугам в сетях беспроводной связи: мобильное телевидение, мобильный Интернет, IP-телефония и др.

Григорьев Владимир Александрович, Лагутенко Олег Иванович,
Распаев Юрий Алексеевич, Харин Виталий Николаевич,
Хворов Игорь Алексеевич

**ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА
РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО
Зав. РИО
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Н.Ф. Гусарова