

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ АЛОҚА, АХБОРОТЛАШТИРИШ
ВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ДАВЛАТ
ҚЎМИТАСИ
ТОШКЕНТ АХБОРОТТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ФАРҒОНА ФИЛИАЛИ
«АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ» КАФЕДРАСИ**

«ҲИМОЯГА»

Кафедра мудири

« ____ » _____ 2014 й

Сети сотовой подвижной связи

МАВЗУСИДА

МАЛАКАВИЙ БИТИРУВ ИШИ

БИТИРУВЧИ:

Ж.Атабоев

630-10 гуруҳ талабаси

Фарғона – 2014 йил

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной рассмотрены вопросы проектирования участка технологической РРЛ на основе аппаратуры STRATEX NETWORKS.

Радиорелейная линия предназначена для работы в сети передачи данных сотовой системы GSM.

Расчет был произведен для сотовой компании ООО "Unitel".

В пояснительной записке приведены расчеты качественных показателей РРЛ.

Освещены вопросы охраны труда и техники безопасности.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СЕТИ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ.....	9
2. КРАТКИЙ ОБЗОР РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	16
2.1. Общие принципы построения РРЛС.....	16
2.2. Цифровые технологии в РРЛС.....	21
2.3. Частотный диапазон РРЛС.....	25
2.4. Используемая технология.....	27
2.5 План распределения частот.....	30
3. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАСС РРС.....	34
3.1. Расчет множителя ослабления (V).....	37
3.2. Замирания сигналов на интервалах РРС и расчет устойчивости сигнала.....	40
3.3. Расчет устойчивости сигнала.....	42
3.4. Определение высот антенных опор.....	43
3.5. Особенности проектирования РРС на полуоткрытых и закрытых трассах.....	44
3.6. Проектирование РРС для трасс с несколькими препятствиями.....	45
3.7 Резервирование, электропитание РРЛ.....	46
4. РАСЧЕТ ТРАССЫ РРЛ.....	51
4.1. Расчет пролета АТС-25 – ФерПИ.....	51
4.2. Расчет пролета ФерПИ – Язъяван.....	64
4.3. Расчет пролета Язъяван – ОхунбабаевСВП.....	70
4.4. Расчет пролета ОхунбабаевСВП – ХолматободСВП.....	76
5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	82
5.1. Электромагнитные поля и излучения.....	82
5.2. Радиоактивные вещества.....	90
5.3. Меры безопасности при устройстве и обслуживании установок и сооружений связи.....	92
5.4. Пожарная безопасность на предприятиях связи.....	94
5.5. Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока.....	100
5.6. Расчет искусственного защитного заземления.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
ЛИТЕРАТУРА.....	109

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведется интенсивное внедрение сетей подвижной связи СПС. Такие сети предназначены для обеспечения подвижных и стационарных объектов телефонной связью и передачей данных. Преимущества СПС состоят в следующем: подвижная связь позволяет абоненту получать услуги связи в любой точке в пределах зон действия наземных или спутниковых сетей. Благодаря прогрессу в технологии производства средств связи созданы малогабаритные универсальные абонентские терминалы АТ, сопрягаемые с персональным компьютером ПК и имеющие интерфейсы для подключения к СПС всех действующих стандартов.

Среди современных коммуникационных средств наиболее стремительно развиваются сети сотовой радиотелефонной связи. Их внедрение позволило решить проблему экономичного использования полосы радиочастот путем передачи сообщений на одних и тех же частотах и увеличить пропускную способность телекоммуникационных сетей. Свое название они получили в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания делится на ячейки (соты). Использование современной технологии позволяет обеспечить абонентам таких сетей высокое качество речевых сообщений, надежность и конфиденциальность связи, миниатюрность радиотелефонов, защиту от несанкционированного доступа в сеть.

Следует учесть то, что вся служебная информация, сигнализация, сигналы управления в сотовой связи передаётся через транспортную сеть. Транспортная сеть строится на базе РРЛ, ВОЛС. В данной работе использованы РРЛС.

Под радиорелейной связью понимают радиосвязь, основанную на ре-трансляции радиосигналов дециметровых и более коротких волн станциями, расположенными на поверхности Земли. Совокупность технических средств и среды распространения радиоволн для обеспечения радиорелейной связи

образует радиорелейную линию связи (РРЛС). В РРЛС используется земная радиоволна, распространяющаяся вблизи земной поверхности. Земные радиоволны длиной менее 1 м хорошо распространяются только в пределах прямой видимости. Поэтому РРЛС на большие расстояния строят в виде цепочки приёмно-передающих радиорелейных станций (РРС), в которой соседние станции или радиовышки размещают на расстоянии, обеспечивающем радиосвязь прямой видимости и называемом радиорелейной линией прямой видимости (РРЛ). Подобные системы связи широко распространены и используются для передачи сигналов многоканальных телефонных сообщений, радиовещания, телевидения, фототелеграфных сигналов, передачи данных для технологических нужд газодобывающей промышленности и железнодорожного транспорта. Радиорелейные линии связи относятся к широкополосным системам телекоммуникаций.

Международными рекомендациями МСЭ-Т (Международный союз электросвязи - сектор телекоммуникации) выделено несколько диапазонов частот СВЧ, в каждом из которых определены частотные планы для работы РРЛ; при этом полоса частот радиоканала не превышает 40 ГГц.

В структуре радиорелейной связи различают оконечные, узловые и промежуточные станции. Узловые и промежуточные станции выполняют функции ретрансляторов, но на узловых станциях можно выделять или вводить информацию в канал связи, а также ответвлять сигналы на другие направления.

В настоящее время помимо строительства новых РРЛС на магистральных линиях, эксплуатирующихся десятки лет, идет активный процесс модернизации: устанавливается радиорелейное оборудование PDH нового поколения, осуществляется переход с PDH на SDH-оборудование, которое имеет высокую пропускную способность и позволяет наиболее полно удовлетворить возросшие требования потребителей информации.

В ноябре 2005 года произошло знаменательное событие - количество абонентов сотовой связи в Узбекистане превысило один миллион. Для страны, в которой проживает более 25 млн. человек, данный факт, возможно, не является чем-то экстраординарным, особенно с учетом того, что в некоторых наиболее развитых странах уровень проникновения сотовой связи составляет более 100% от общего числа населения. Для нашей страны данное событие, безусловно, радостное, а потому есть повод сделать небольшой экскурс в историю сотовой связи Узбекистана.

Сотовая связь в Узбекистане является практически ровесницей независимого Узбекистана. В августе 1991 года при непосредственном учредительстве Министерства связи и при поддержке правительства Республики Узбекистан было создано совместное узбекско-американское предприятие по предоставлению услуг сотовой связи - компания «Уздунробита». Необходимо отметить, что это было первое предприятие сотовой связи не только в Узбекистане, но и вообще в Центральной Азии.

Первый звонок с использованием сотовой связи в нашей стране сделал Президент Узбекистана Ислам Абдуганиевич Каримов в августе 1992 года, когда была торжественно открыта коммерческая эксплуатация сети сотовой связи СП «Уздунробита».

Первым мобильным стандартом, в котором работал тогда еще единственный сотовый оператор в Узбекистане, был стандарт NMT 450. По состоянию на 1 января 1994 года, в республике насчитывалось 224 абонента сотовой связи, а в течение 1995 года это число возросло до 823.

В ноябре 1995 года произошел полный переход на обслуживание абонентов СП «Уздунробита» в новом на тот момент стандарте AMPS/DAMPS и прекратилась эксплуатация сети сотовой связи стандарта NMT-450.

В течение 1996 года на рынке сотовой связи Узбекистана появилось сразу пять новых операторов, которые с 1997 года приступили к

коммерческой эксплуатации своих сотовых сетей. Рост числа операторов не замедлил сказаться и на росте числа абонентов. Если на 1 января 1997 года количество абонентов сотовой связи в Узбекистане составляло 9543 абонента, то к 1 января 1998 года их число возросло до 21555.

№	Наименование	Дата создания	Стандарт	Зона охвата по лицензии
1	ИПП «Уздунробита»	21.06.1991	AMPS/DAMPS/GSM	Республика Узбекистан
2	ООО UNITEL	26.04.1996	900/1800	Республика Узбекистан
3	ИП BUZTEL	24.05.1996	GSM 900/1800	Республика Узбекистан
4	СП COSCOM	26.04.1996	GSM	Республика Узбекистан
5	СП RUBICON WIRELESS COMMUNICATION	24.11.1996	CDMA2000 1x	Республика Узбекистан
6	UZ MOBILE	10.08.2000	CDMA 450 МГц	Республика Узбекистан

Годовой прирост составил 225%. Тарифы на предоставление услуг были снижены в несколько раз. Если в 1995 году стоимость 100 минут входящих и исходящих разговоров составляла \$105, то к концу 2000 года она снизилась в среднем до \$20, то есть более чем в 5 раз.

Первые 74% акций "Уздунробита" были приобретены компанией МТС еще в августе 2004 года. Стоимость пакета составила 121 миллион долларов США. В то же время и было подписано соглашение о выкупе оставшихся 26% с частным акционером по истечении трехлетнего срока. Однако спустя три года опционное соглашение было продлено до 14 июля 2008 года.

18 января 2006 г. компания "Вымпелком" объявила приобрела двух сотовых операторов, работающих в Узбекистане. Тогда узбекские Buztel и Unitel обошлись российскому оператору в 275,8 миллиона долларов. Акции

Unitel "Вымпелкому" продал греческий сотовый дилер Germanos S.A. (принадлежащий греческому бизнесмену Паносу Германосу и ЕБРР) за двести миллионов долларов, а хозяин Buztel, холдинг Altimo, получил 60 миллионов долларов. Сам Altimo купил Buztel в 2005 г. у индонезийской Bakrie Group за 4 миллиона и в феврале присоединил к нему сотового оператора "Узмаком", сделав Buztel владельцем лицензии на оказание услуг сотовой связи на территории всей страны. С 12 сентября 2006 года Unitel предоставляет услуги под торговой маркой «Билайн».

Узбекский сотовый оператор ИП ООО Coscom /работает в стандарте GSM-900-1800/, контролируемый скандинавской TeliaSonera, с 16 июня 2008г. начал оказывать услуги под брендом Ucell, затратив на ребрендинг до 10 млн долл.

Безусловно, мобильная связь - это прибыльный бизнес. Операторы сотовой связи - исправные налогоплательщики, которые также оплачивают и использование радиочастотного спектра, и лицензии. Кроме этого, они активно спонсируют проекты развития местной телекоммуникационной сети, принимают участие в подготовке и переподготовке специалистов, в первую очередь в Ташкентском университете информационных технологий, а также поддерживают развитие детского спорта в стране. За что мы им очень благодарны.

1. СЕТИ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

В эволюционном развитии ССПС можно выделить три поколения: аналоговые системы, цифровые системы и универсальные системы мобильной связи.

К аналоговым ССПС относятся следующие стандарты:

- AMPS (усовершенствованная мобильная ТЛФ служба, диапазон 800 МГц) – США, Канада, Центральная и Южная Америка, Австралия; это наиболее распространенный стандарт в мире;

- TACS (общедоступная система связи, диапазон 900 МГц) – Англия, Италия, Испания, Австрия, Ирландия; второй по распространенности среди аналоговых;

- NMT – 450 и NMT – 900 (мобильный телефон северных стран) – используется в Скандинавии и во многих других странах, третий среди аналоговых;

- C – 450 – Германия и Португалия;

- RTHS (450 МГц) – Италия;

- Radiocom 2000 (170, 200, 400 МГц) – Франция;

- NTT (100 – 900 МГц) – Япония.

Во всех аналоговых стандартах применяется частотная ЧМ или фазовая ФМ модуляция для передачи речи и частотная манипуляция для передачи информации управления. Этот способ имеет ряд существенных недостатков: возможность прослушивания разговоров другими абонентами, отсутствие эффективных методов борьбы с замираниями сигналов под влиянием окружающего ландшафта и зданий или вследствие передвижения абонентов. Основные цифровые стандарты ССПС основаны на методе множественного доступа с временным разделением каналов TDMA или множественного доступа с кодовым разделением каналов CDMA. К ним относятся:

- D-AMPS (цифровой AMPS); диапазоны 800 МГц и 1900 МГц;

- GSM – глобальная система мобильной связи, диапазоны 900, 1800 и 1900 МГц – второй по распространенности стандарт в мире;

- CDMA – диапазоны 800 и 1900 МГц;

- JDC – японский стандарт цифровой сотовой связи.

Цифровые ССПС по сравнению с аналоговыми системами предоставляют абонентам больший набор услуг и обеспечивают повышенное качество связи, а также взаимодействие с цифровыми сетями ISDN и пакетной передачи данных.

Дальнейшее развитие ССПС осуществляется в рамках создания проектов систем третьего поколения 3G, которые будут отличаться унифицированной системой радиодоступа. Они охватывают технологии наземной сотовой, спутниковой связи и беспроводного доступа.

Система сотовой связи строится в виде совокупности ячеек (сот), покрывающих обслуживаемую территорию, ячейки обычно схематически изображают в виде правильных шестиугольников. В центре каждой ячейки находится базовая станция БС, обслуживающая все подвижные станции ПС в пределах своей ячейки. При перемещении абонента из одной ячейки в другую происходит передача его обслуживания от одной БС к другой. Все БС соединены с центром коммутации ЦК подвижной связи по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи. С центра коммутации имеется выход на телефонную сеть общего пользования ТФОП.

Особенностью БС (рис.1.3) является использование разнесенного приема, для чего станция должна иметь две приемные антенны на передачу и на прием. Другая особенность – наличие нескольких приемников и такого же числа передатчиков, позволяющих вести одновременную работу на нескольких каналах с различными частотами. Одноименные приемники и передатчики имеют общие перестраиваемые опорные генераторы, обеспечивающие их согласованную перестройку при переходе с одного

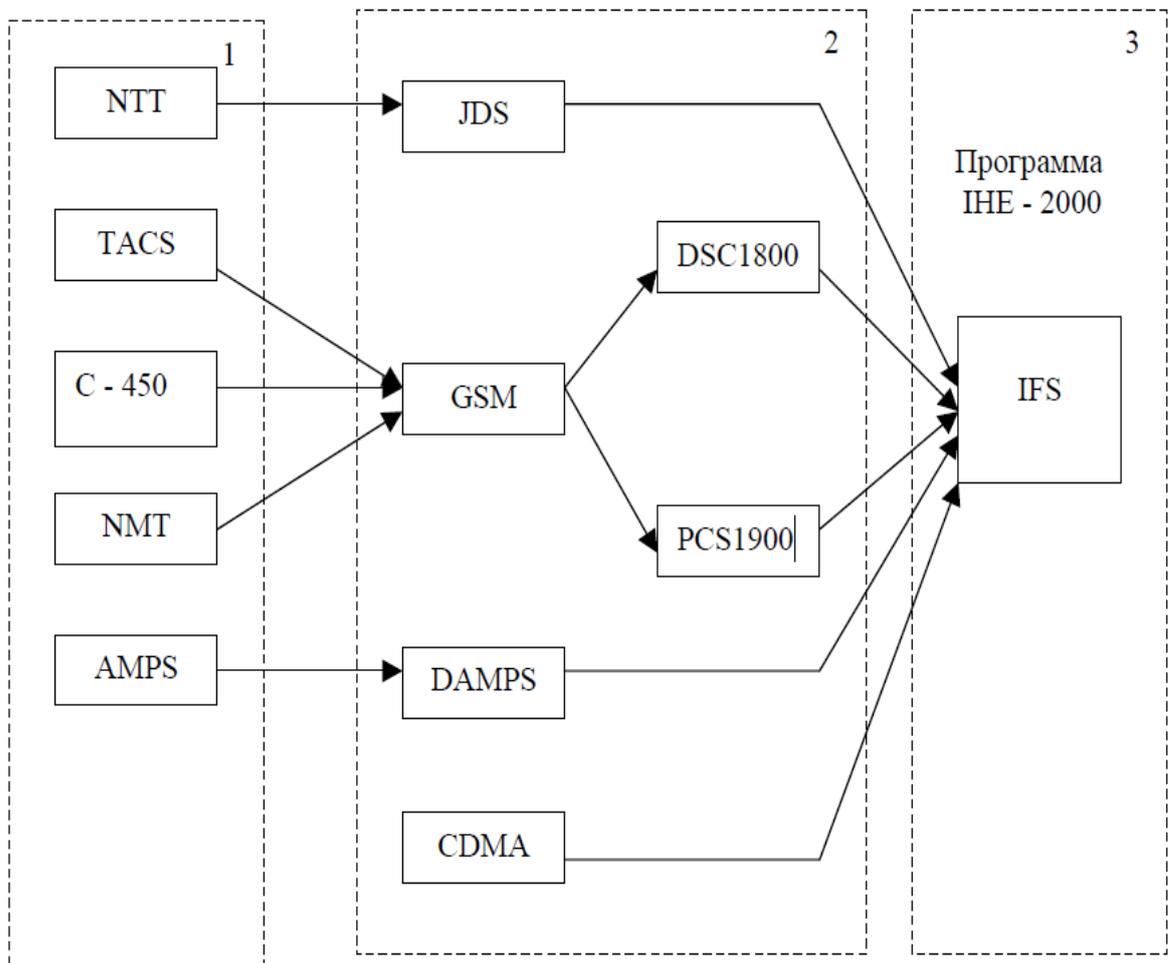


Рис.1.1. Поколения систем сотовой подвижной связи и этапы их развития

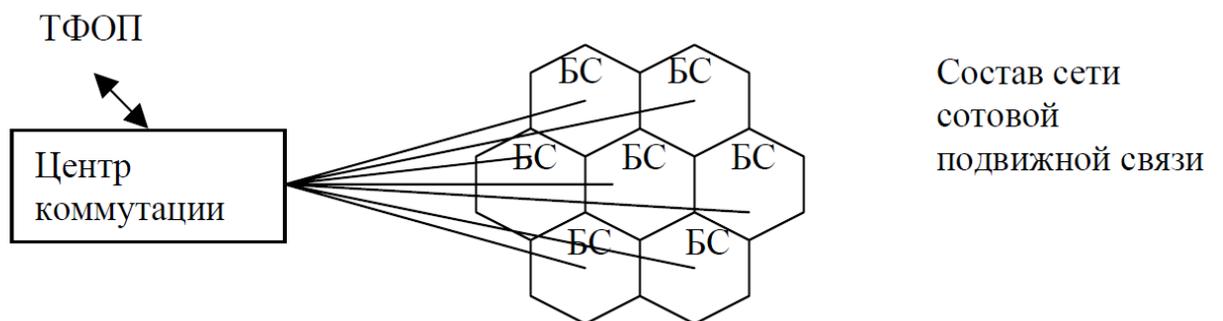


Рис.1.2. Функциональная схема сети сотовой связи

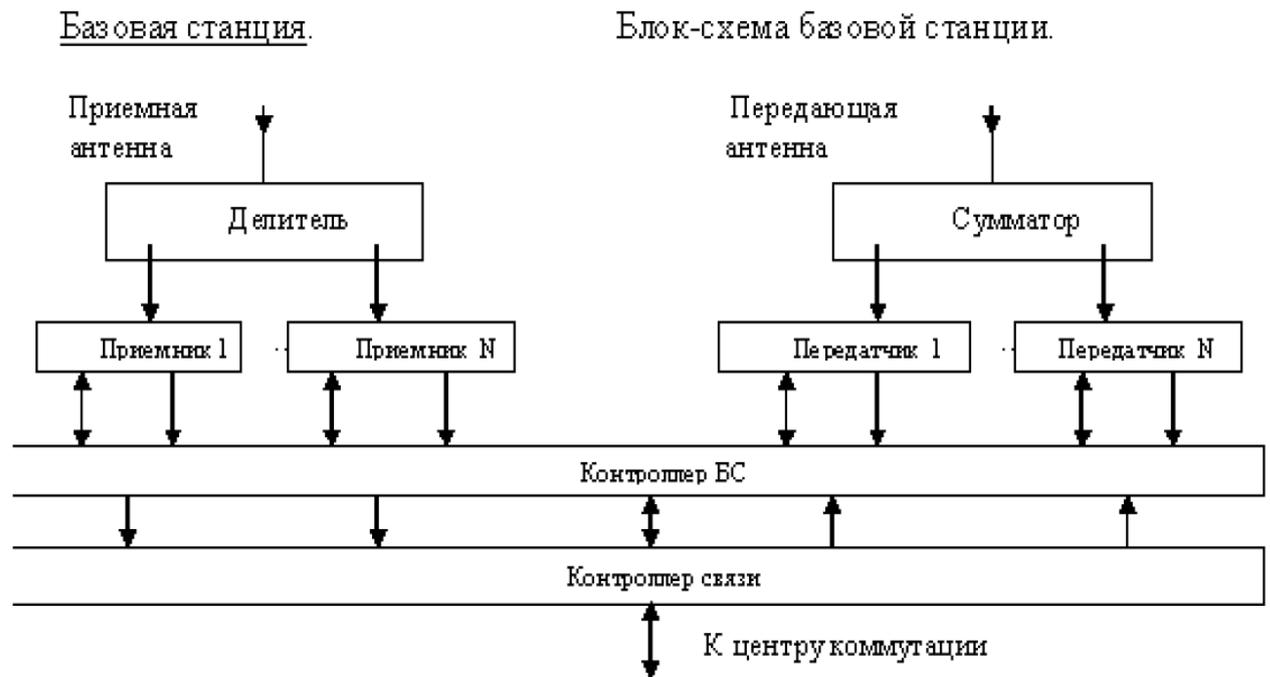


Рис.1.3. Блок- схема базовой станции.

канала на другой; конкретное число N приемопередатчиков зависит от конструкции и комплектации БС.

Для обеспечения одновременной работы N приемников на одну приемную и N передатчиков на одну передающую антенну между приемной антенной и приемниками устанавливается делитель мощности на N входов, а между передатчиками и передающей антенной – сумматор мощности на N входов.

Приемник и передатчик имеют ту же структуру, что и в ПС, за исключением того, что в них отсутствуют ЦАП и АЦП, поскольку и входной сигнал передатчика, и выходной сигнал приемника имеют цифровую форму. Возможны варианты, когда кодеки конструктивно реализуются в составе ЦК, а не в составе приемопередатчиков БС, хотя функционально они остаются элементами приемопередатчиков.

Блок сопряжения с линией связи осуществляет упаковку информации, передаваемой по линии связи на ЦК, и распаковку принимаемой от него

информации. Для связи БС с ЦК обычно используется радиорелейная или волоконно-оптическая линия, если они не располагаются территориально в одном месте. Контроллер БС (компьютер) обеспечивает управление работой станции, а также контроль работоспособности всех входящих в нее блоков и узлов. Для обеспечения надежности многие блоки и узлы БС резервируются, в состав станции включаются автономные источники бесперебойного питания (аккумуляторы).

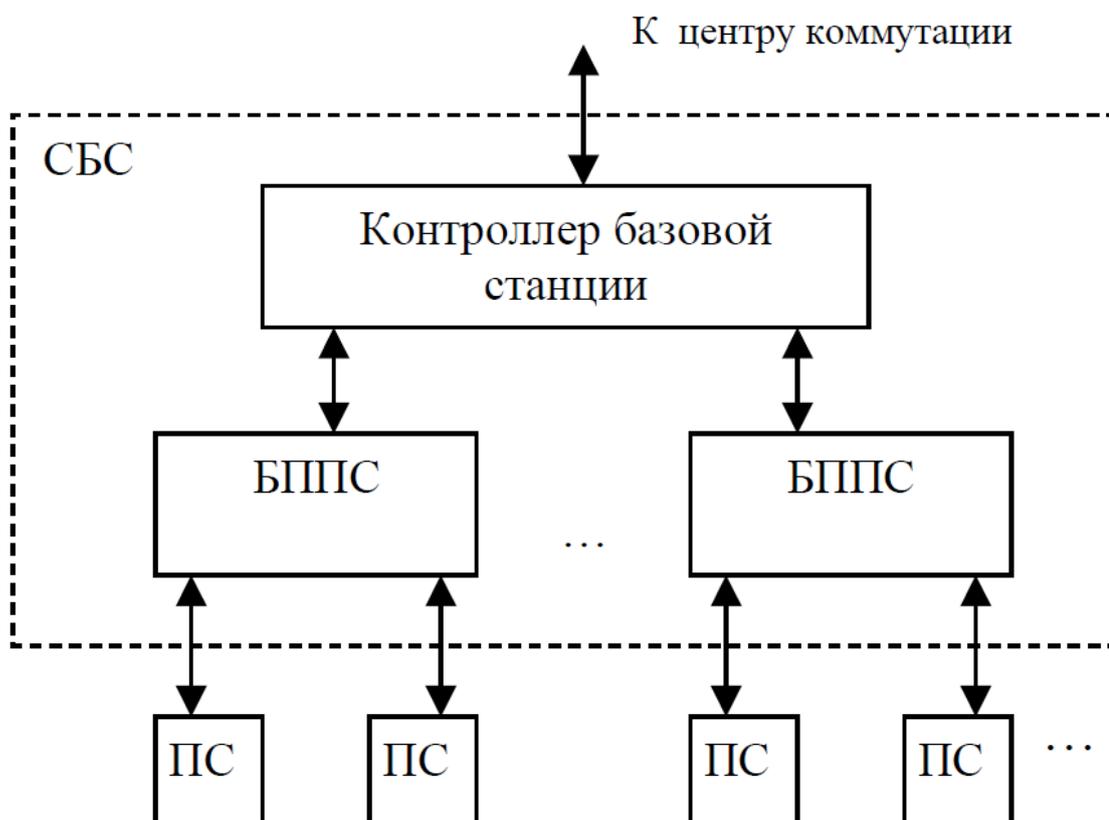


Рис.1.4. Базовая станция стандарта GSM

В стандарте GSM используется понятие системы базовой станции СБС, в которую входит контроллер базовой станции КБС и несколько, например до 16, базовых приемо-передающих станций. В частности, три БППС, расположенные в одном месте и замыкающиеся на общей КБС, могут обслуживать каждая свой 120 – градусный азимутальный сектор в пределах ячейки или шесть БППС с одним КБС – шесть 60-градусных секторов. В стандарте D-AMPS в аналогичном случае могут использоваться

соответственно три или шесть независимых БС, каждая со своим контроллером, расположенных в одном месте и работающих каждая на свою секторную антенну.

Центр коммутации. Центр коммутации – это автоматическая телефонная станция ССС, обеспечивающая все функции управления сетью. ЦК осуществляет постоянное слежение за ПС, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении ПС из соты в соту и переключения рабочих каналов в соте при появлении помех и неисправностей. На ЦК замыкаются потоки информации со всех БС, и через него осуществляется выход на другие сети связи – стационарную телефонную сеть, сети междугородной связи, спутниковой связи, другие сотовые сети. В состав ЦК входит несколько процессоров (контроллеров).

Коммутатор подключается к линиям связи через соответствующие контроллеры связи, осуществляющие промежуточную обработку (упаковку/распаковку, буферное хранение) потоков информации. Управление работой ЦК и системы в целом производится от центрального контроллера. Работа ЦК предполагает участие операторов, поэтому в состав центра входят соответствующие терминалы, а также средства отображения и регистрации (документирования) информации. В частности, оператором вводятся данные об абонентах и условиях их обслуживания, исходные данные по режимам работы системы, в необходимых случаях оператор выдает требующиеся по ходу работы команды.

Важными элементами системы (рисунок 1.5) являются базы данных БД – домашний регистр, гостевой регистр, центр аутентификации, регистр аппаратуры.

Домашний регистр содержит сведения обо всех абонентах, зарегистрированных в данной системе, и о видах услуг, которые могут быть им оказаны. В нем фиксируется местоположение абонента для организации

его вызова и регистрируются фактически оказанные услуги. Гостевой регистр содержит ведения об абонентах – гостях (роумерах), т.е. об абонентах, зарегистрированных в другой системе, но пользующихся в настоящее время услугами сотовой связи в данной системе. Центр аутентификации обеспечивает процедуры аутентификации абонентов и шифрования сообщений.

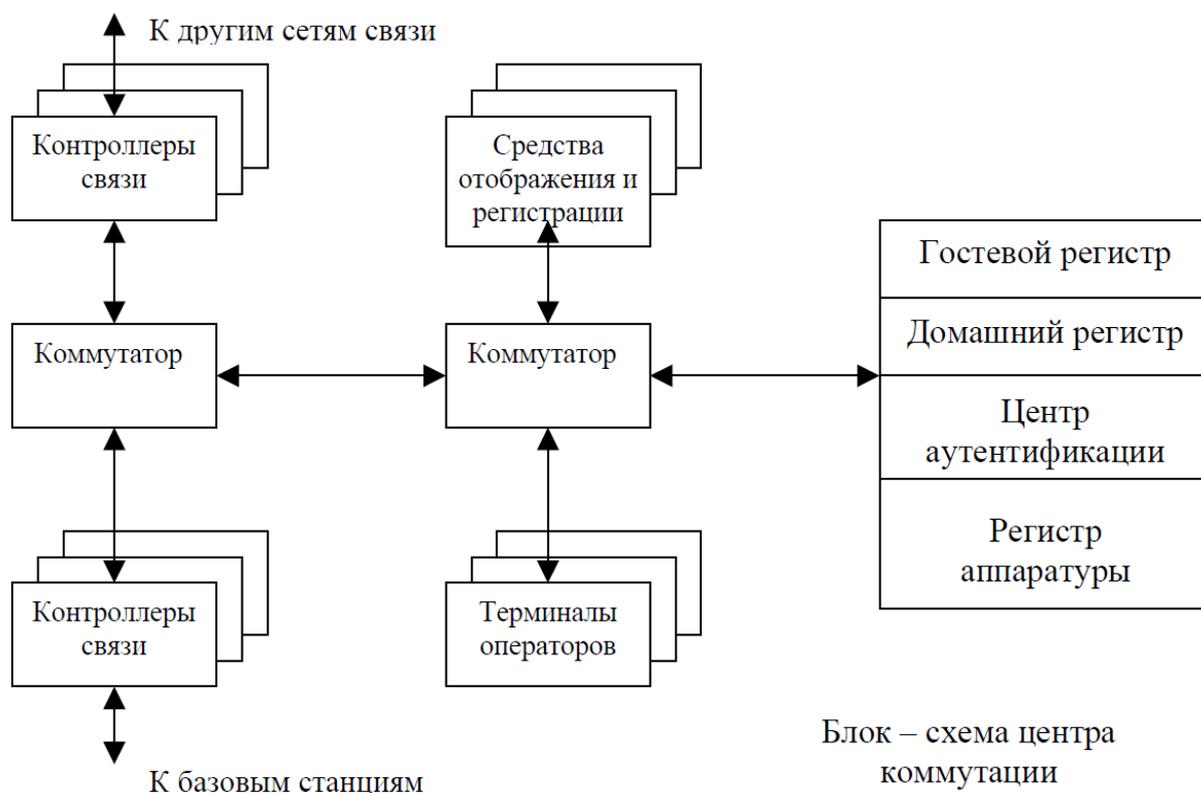


Рис.1.5. Элементы системы

Регистр аппаратуры, если он существует, содержит сведения об эксплуатируемых ПС на предмет их исправности и санкционированного использования. В частности, в нем могут отмечаться украденные абонентские аппараты, а также аппараты, имеющие технические дефекты, например, являющиеся источниками помех недопустимо высокого уровня.

2. КРАТКИЙ ОБЗОР РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

2.1. Общие принципы построения РРЛС

Радиорелейная связь первоначально применялась для организации многоканальных линий телефонной связи, линий, в которых сообщения передавались с помощью аналогового электрического сигнала. Первая такая линия с 5-ю телефонными каналами появилась в США в 1935 году. Она соединяла города Нью-Йорк и Филадельфию и имела протяженность 200 км.

Благодаря научным достижениям в 50-х годах XX века стало возможным создание комплексов унифицированной приемо-передающей аппаратуры, использующих диапазон сверхвысоких частот и методы частотного и/или временного разделения каналов - многоканальные радиорелейные станции. К началу 70-х годов во всех развитых странах была создана густая сеть многоканальных линий радиорелейной связи с несколькими тысячами типовых каналов в каждой линии. Появляются РРС на автомобильной платформе (в основном военного назначения), обеспечивающие оперативное развертывание сети радиорелейной связи в районах боевых действий или в районах стихийных бедствий.

За шесть десятилетий своего развития радиорелейные линии превратились в эффективное средство передачи огромных массивов информации на расстоянии в тысячи километров, конкурируя с другими средствами связи, в том числе кабельными и спутниковыми, удачно дополняя их.

Сегодня РРЛС стали важной составной частью цифровых сетей электросвязи - ведомственных, корпоративных, региональных, национальных и даже международных, поскольку имеют ряд важных достоинств :

- возможность быстрой установки оборудования при небольших капитальных затратах (малые габариты и масса РРС позволяют размещать их, используя уже имеющиеся помещения, опоры и инфраструктуру сооружений);

- экономически выгодная, а иногда и единственная, возможность организации многоканальной связи на участках местности со сложным рельефом;
- возможность применения для аварийного восстановления связи в случае бедствий, при спасательных операциях и др.;
- эффективность развертывания разветвленных цифровых сетей в больших городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей слишком дорога или невозможна;
- высокое качество передачи информации по РРЛ, практически не уступающее ВОЛС и другим кабельным линиям.

Радиорелейные линии связи основываются на принципах многократной ретрансляции сигнала, что иллюстрируется упрощенной структурной схемой, показанной на рисунке 2.1. В составе РРЛС имеются оконечные (ОС), промежуточные (ПС) и узловые (УС) станции.

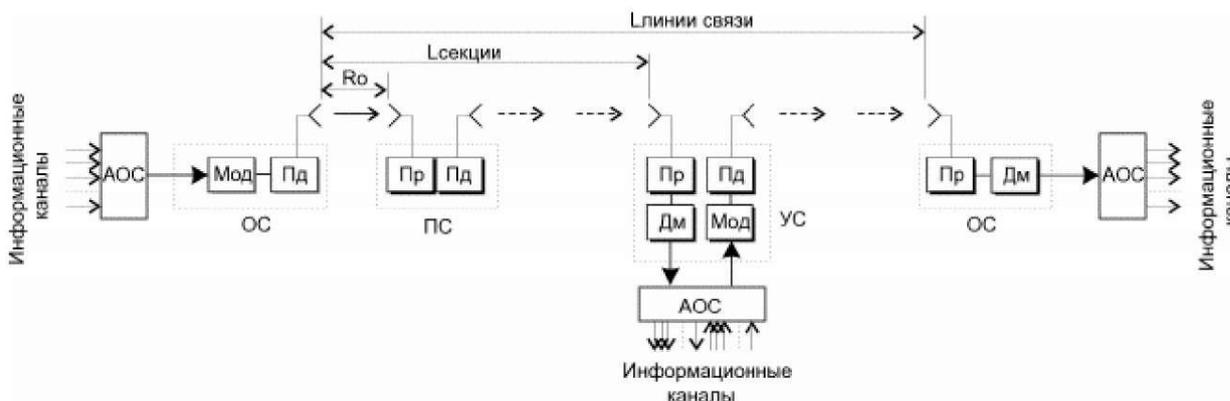


Рис. 2.1. Структурная схема одного направления РРЛС

Оконечные станции устанавливаются в крайних пунктах линии связи и содержат модуляторы и передатчики в направлении передачи сигналов и приемники с демодуляторами в направлении приема. Для приема и передачи применяется одна антенна, соединенная с трактами приема и передачи при помощи антенного разветвителя. Модуляция и демодуляция сигналов прово-

дится на одной из стандартных промежуточных частот (70-1000 МГц). При этом модемы могут работать с приемопередатчиками, использующими различные частотные диапазоны. Передатчики предназначены для преобразования сигналов промежуточной частоты в рабочий диапазон СВЧ, а приемники - для обратного преобразования и усиления сигналов промежуточной частоты. Упрощенная структурная схема ОС показана на рисунке 2.2.

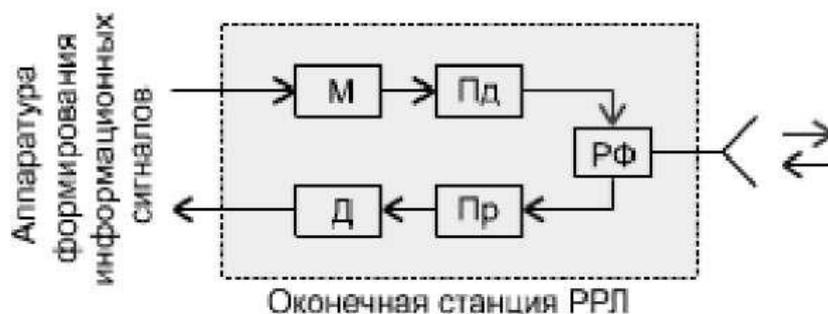


Рис. 2.2. Структурная схема оконечной станции РРЛС

Промежуточные станции (рис.2.3) располагаются на расстоянии прямой видимости и предназначаются для приема сигналов, усиления их и дальнейшей передачи по линии связи. Прием и передача сигналов на промежуточных станциях должна проводиться на разных частотах для устранения паразитных связей в приемопередатчиках, возникающих за счет влияния обратного излучения близко расположенных антенн. Разница между частотами приема и передачи называется частотой сдвига.

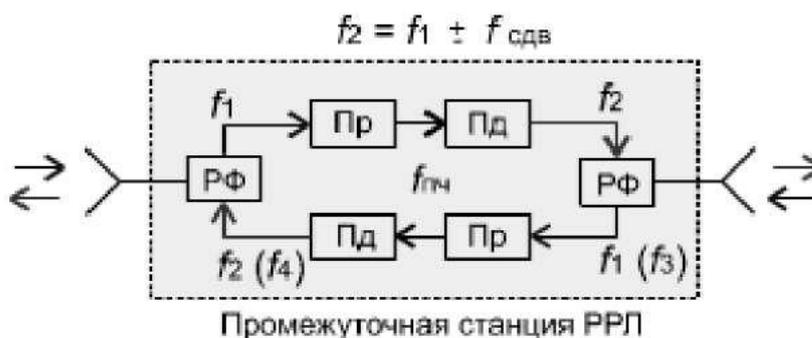


Рис. 2.3. Структурная схема промежуточной станции РРЛС

Узловые станции (рисунок 2.4) выполняют функции промежуточных станций, а также функции ввода и вывода информации. Они устанавливаются в крупных населенных пунктах или в точках пересечения (ответвления) линий связи.

В тех случаях, когда РРЛС предназначена для передачи большого числа сигналов, станция образуется несколькими приемопередающими комплексами, работающими в одном направлении на различных частотах. Каждый из таких комплексов СВЧ приемопередатчиков принято называть стволом.

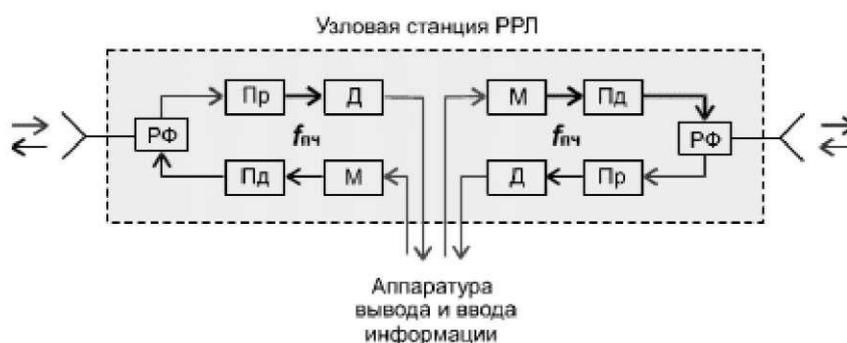


Рис. 2.4. Структурная схема узловой станции РРЛС

В состав любой радиорелейной станции входит следующее оборудование: аппаратура уплотнения каналов, аппаратура служебной связи, телесигнализации и телеуправления, приемопередающая аппаратура, аппаратура систем автоматического резервирования стволов, антенно-фидерные устройства, оборудование систем гарантированного электропитания.

Современный приемопередающий комплекс РРЛС способен передавать от нескольких каналов тональной частоты до 34 Мбит/с при плезियो-хронной цифровой иерархии (ПЦИ или PDH), и от потока STM-0 до STM-16 при синхронной цифровой иерархии (СЦИ или SDH).

По области применения РРЛС делятся на магистральные, протяженностью более 2.5 тысяч км, внутрizonовые - республиканского и областного значения протяженностью 250-1400 км, местные 50-200 км.

По способу разделения каналов РРЛС могут быть с частотным и временным разделением каналов, а по диапазону используемых частот - дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

Чтобы обеспечить радиорелейную связь в пределах прямой видимости, необходимо поднять антенны над уровнем земли на башнях или мачтах. Высоты антенных опор в зависимости от длины и профиля каждого пролета между соседними станциями могут достигать 120 м, строительство более высоких антенных башен экономически невыгодно.

Длина пролета между соседними РРС обычно от 30 до 55 км. В диапазонах частот выше 11 ГГц это значение может уменьшаться с увеличением частоты. В отдельных случаях длина пролета может быть уменьшена до 20

или 30 км из-за необходимости размещения РРС в заданном пункте, а также при наличии препятствий на трассе РРЛ.

Ограниченность расстояния прямой видимости не следует рассматривать как сугубо отрицательный фактор. Именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн РРС на большие расстояния устраняются взаимные помехи между РРС, а также появляется возможность многократного использования частотного диапазона.

Физические процессы, происходящие в канале связи, определяют изменения, которые претерпевает сигнал на пути от передатчика к приемнику. Во-первых, на сигнал действуют аддитивные помехи. Если для НЧ и СЧ систем такими помехами являются сигналы соседних по частоте радиостанций, атмосферные и промышленные шумы, то для УВЧ и СВЧ радиорелейных систем решающее значение приобретают собственные внутренние шумы приемных устройств. При нарушении правил электромагнитной совместимости (ЭМС) возможно также влияние других радиосредств, работающих в совмещенном диапазоне частот. Во-вторых, на сигнал в канале действуют мультипликативные помехи, обусловленные изменениями параметров канала как четырехполюсника. Совместное воздействие аддитивных и мультиплика-

тивных помех определяет искажения сигнала. Величина искажений зависит от интенсивности помех и помехоустойчивых свойств системы связи. Любой канал связи вносит те или иные искажения. Вместе с тем передача считается неискажённой, если вносимые системой связи искажения не превышают установленных норм.

Электрические характеристики систем связи, определяющие искажения передаваемой информации, определяются на внутренних линиях РФ нормами ЕАСС, на международных линиях - рекомендациями МСЭ и Г.

Немаловажна ещё одна проблема. Загрузка диапазона радиочастот до 11 ГГц в настоящее время такова, что средства самой радиосвязи вынуждены работать в совмещенных диапазонах частот, а ведь в этом диапазоне работают еще и средства радиолокации, радионавигации, радиотелеметрии. Возникает сложная проблема электромагнитной совместимости различных радиосредств, требующая решения в глобальном масштабе.

2.2. Цифровые технологии в РРЛС

Цифровые магистрали, на основе которых строятся современные сети передачи данных, должны соответствовать стандарту SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия), определяющему основные характеристики линий для цифровой сети передачи данных. Такие линии обеспечивают передачу любых видов данных: текста, звука, речи, изображений и видеofilмов с помощью дискретных электрических сигналов.

В каждой РРС цифровой радиорелейной линии имеется модем - оконечное устройство, служащее для модуляции и демодуляции сигнала. Поступающий из мультиплексора дискретный сигнал преобразуется модемом в аналоговый (непрерывный) сигнал некоторой промежуточной частоты и передает его в приемопередатчик, а при приеме поступающий из приемопередатчика аналоговый сигнал преобразуется в дискретный. Таким образом, в составе цифрового радиорелейного тракта модем выполняет функции цифрового стыка, который должен соответствовать рекомендациям G.703 МККТТ.

В многопролетных системах связи программное обеспечение позволяет осуществлять дистанционное управление и диагностику модемов. Для преобразования сигнала в модемах РРС чаще всего применяются следующие методы модуляции:

- частотная модуляция (ЧМ), при которой дискретные сигналы 0, 1 передаются гармоническими сигналами, имеющими различные частоты;
- фазовая модуляция, при которой дискретные сигналы 1 и 0 передаются путем переключения двух (или нескольких) несущих, сдвинутых на полпериода (на часть периода) относительно друг друга.

Мультиплексор РРС предназначен для асинхронного объединения нескольких цифровых потоков в один, например Е1 (2048 Мбит/с), Е2 (8448

Мбит/с) в сигнал Е2 (8448 Мбит/с) или сигнал Е3 (34368 Мбит/с) в соответствии с рекомендацией G.742 (G.751) МККТТ.

По скорости передачи информации различают РРЛ: высокоскоростные (скорость передачи свыше 140 Мбит/с), среднескоростные (до 52 Мбит/с) и низкоскоростные (до 8 Мбит/с).

Высокоскоростные большой емкости радиорелейные линии применяются в глобальных сетях передачи данных и называются магистральными. Среднескоростные средней емкости радиорелейные линии используются для создания региональных, зональных сетей передачи данных и называются зональными. Наконец, малоканальные широко используются для организации связи на железнодорожном транспорте, газопроводах, нефтепроводах, линиях электропередачи и т. п. Малоканальные радиорелейные линии с подвижными РРС применяются в военных целях.

Скорость передачи информации в РРЛС тесно связана с видом используемой технологии, поэтому рассмотрим специфику и некоторые тенденции применения PDH и SDH в РРЛС.

Технология PDH (плезиохронная цифровая иерархия) - наиболее «старая» и традиционная, она развивается уже более двадцати лет. Широко ис-

пользуются два стандарта - Североамериканский, со скоростью передачи первичного потока 1,5 Мбит/с, и стандарт Европейской конференции администрации почт и связи (СЕПТ) со скоростью передачи первичного потока 2 Мбит/с. Входные потоки PDH независимы, при объединении 4-х таких потоков их скорость приходится предварительно выравнивать за счет внедрения дополнительных битов и кодировать данные о различие скоростей, что приводит к увеличению суммарной скорости потоков на несколько процентов. В принятому по СНГ европейскому стандарту самый мощный - четвертичный поток E4 имеет скорость около 140 Мбит/с.

В 80-е годы XX века системы PDH широко распространились по всему миру в связи с удешевлением цифровой микроэлектроники, РРС и ВОЛС, позволившие транспортировать потоки 140 Мбит/с, эквивалентные 1920 каналам 64 Кбит/с. Однако в 90-х годах стала актуальной непосредственная передача данных. Оказалось, что к этому PDH не очень приспособлена. Дело в том, что при выделении необходимого, часто небольшого, числа каналов из общего высокоскоростного потока требуется произвести полную его «разборку», что требует присутствия в каждом пункте выделения всех ступеней мультиплексирования. Это значительно увеличивает стоимость сети связи. Проблема PDH - явно недостаточные возможности в организации служебных каналов для контроля и управления потоком в сети, почти полное отсутствие средств маршрутизации потоков низшего уровня. Эти проблемы возникли из первоначального желания сэкономить на количестве дополнительно вводимых в групповой сигнал битов, для увеличения эффективности передачи.

В настоящее время указанные недостатки PDH частично исправляются с помощью РРС. Во-первых, в РРС производится трансформация скорости: в структуру входных потоков вводятся дополнительные биты, позволяющие полностью решать все задачи управления радиорелейной сетью, а также обеспечивать необходимое кодирование и другие функции, повышающие надежность связи. Во-вторых, в РРЛ используется преимущественно однократ-

ное мультиплексирование: поток ЕЗ получают непосредственно объединением 16 потоков Е1, минуя Е2. Новое поколение РРЛ непосредственно стыкуется с потребителями по стыкам Е1. Новые РРС с РДН имеют трафик, как правило, не более ЕЗ (в одном стволе) и ориентированы на передачу N потоков Е1. При этом РРС позволили существенно расширить возможности и сферы применения РДН, в том числе и для радиорелейных сетей широкого применения и произвольной конфигурации, но в рамках трафика ЕЗ.

Скорости и стандарты сигналов, принципы построения SDH были утверждены сравнительно недавно - в 1988 году, но до этого шли долгие поиски методов ее оптимальной реализации. Главная проблема синхронных сетей - необходимость жесткой синхронизации цифровых сигналов, формируемых различными источниками информации в территориально разнесенных пунктах сети. Достоинство SDH - принципиальная возможность прямого доступа к любому из сигналов, передаваемых в составе группового потока, минуя процедуры последовательного мультиплексирования.

Структура первичного пакета SDH - синхронного транспортного модуля STM-1 (рисунок 2.5) обеспечивает стыковку почти со всеми существующими в мире сигналами РДН и позволяет создавать цифровые сети любой конфигурации. Из всех уровней SDH в РРЛС используется пока только первичный со скоростью 155

Рис. 2.5.



Мбит/с и очень редко вторичный - 622 Мбит/с. Потоки высших уровней рассчитаны главным образом для передачи по ВОЛС. Однако для РРЛ трафик,

обеспечиваемый форматом STM-1, является часто излишним, например для ответвления от магистрали части информации в зонные или местные локальные сети. Поэтому для передачи по РРЛ в SDH предусмотрен так

называемый «подсигнал STM-1» (STM-0) с общей скоростью передачи 51,84 Мбит/с, равной 1/3 скорости первичного модуля. Структура этого субмодуля позволяет упаковывать в него один поток ЕЗ, до 21 потоков Е1, а также сигналы североамериканского формата.

2.3. Частотный диапазон РРЛС

Решением ГКРЧ определены следующие диапазоны частот для организации гражданской наземной связи: 8 (7,9-8,4); 11 (10,7-11,7); 13 (12,7-13,2); 15 (14,5-15,35); 18 (17,7-19,7); 23 (21,2-23,6); 38 (37-40) ГГц; 58 (57,2-58,2). Однако еще широко используются диапазоны 1,7-2,1; 3,4-3,9; 5,6-6,2 ГГц.

Чем ниже диапазон, тем большую дальность связи можно обеспечить при тех же энергетических характеристиках оборудования, но, поскольку более низкие диапазоны, как правило, уже заняты, получить разрешение ГКРЧ на конкретную трассу сложнее.

В более высокочастотных диапазонах волн применяются гибкие частотные планы. Разнос частотных каналов в таких случаях определяется пропускной способностью (скоростью работы РРЛС) и видом модуляции.

Эффективность использования частотного ресурса диапазона определяется несколькими факторами:

- требуемой шириной полосы приемопередатчика, которая определяется скоростью передачи, выбранным методом модуляции и уровнем стабилизации частоты передатчика;
- параметрами электромагнитной совместимости (ослаблением чувствительности по побочным каналам приема, подавлением внеполосных и побочных излучений);
- возможностями полного использования всего отведенного участка диапазона, которые обеспечиваются применением в качестве станции синтезатора частоты.

Диапазон 2 (1,7-2,1) ГГц характеризуется возможностью распространения сигналов на достаточно протяженных пролетах (до 50-80 км) [9,4]. Ус-

тойчивость распространения радиоволн в сильной степени зависит от экранирующего действия препятствий на интервалах РРЛ при атмосферной рефракции. В этом диапазоне антенны обладают весьма большими габаритами, и поэтому коэффициенты усиления не превышают 35-38 дБ при диаметрах параболических антенн до 5 м. С уменьшением размеров антенн эффективность системы связи резко падает. Диапазон подвержен влиянию помех от других радиотехнических средств.

Наиболее освоенный и загруженный РРЛ диапазон частот - 4 (3.4-3.9) ГГц. В этом диапазоне работают многие магистральные системы связи. Характеризуется возможностью получать довольно протяженные пролеты (до 40-55 км) при хороших качественных показателях. Остронаправленные антенны (с коэффициентами усиления порядка 40 дБ) обладают значительными габаритами и весом и, следовательно, требуют весьма дорогостоящих антенных опор. На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн. Диапазон сложен с точки зрения электромагнитной совместимости, так как в нем работает множество радиотехнических средств.

Популярный в последние десятилетия диапазон частот 6 (5.6-6.2) ГГц предназначен для магистральных систем связи. Позволяет получить достаточно эффективные системы РРЛ, передающие большие объемы информации. 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.

Диапазон 8 (7.9-8.4) ГГц освоен в настоящее время достаточно хорошо. В нем работает большое количество РРЛС средней емкости (порядка 300-700 каналов в стволе для аналоговых систем и до 55 Мбит/с - для цифровых).

Существует и аппаратура большой емкости, предназначенная для передачи потоков STM-1. В этом диапазоне на распространение сигнала начинают оказывать влияние гидрометеоры (дождь, снег, туман и пр.). Кроме того, влияет атмосферная рефракция, приводящая к закрытию трассы или к интерференции волн. Средняя протяженность пролета РРЛ в этом диапазоне составляет 30-40 км. Антенны имеют высокий коэффициент усиления при диаметрах порядка 1.5-2.5 м. Число радиосредств в России, использующих этот диапазон, пока относительно невелико, и, следовательно, электромагнитная обстановка благополучна. Однако необходимо учитывать помехи от соседних РРЛС, работающих в данном диапазоне частот.

2.4 Используемая технология

1. "Расширенная" пропускная способность PDH

В 2004 году компанией Stratex Networks была представлена технология организации высокоскоростных беспроводных сетей - *Super-PDH (SPDH)*. На сегодняшний день эта беспроводная технология остается единственной, обеспечивающей масштабируемую пропускную способность с изменяемой модуляцией до 75xE1 или 100xDS1.

Пропускная способность, не зависящая от аппаратных средств, совместно с гибким программным обеспечением, позволяет операторам реализовывать свои текущие потребности, а также избегать замены и переконфигурации оборудования при росте потребностей в дальнейшем.

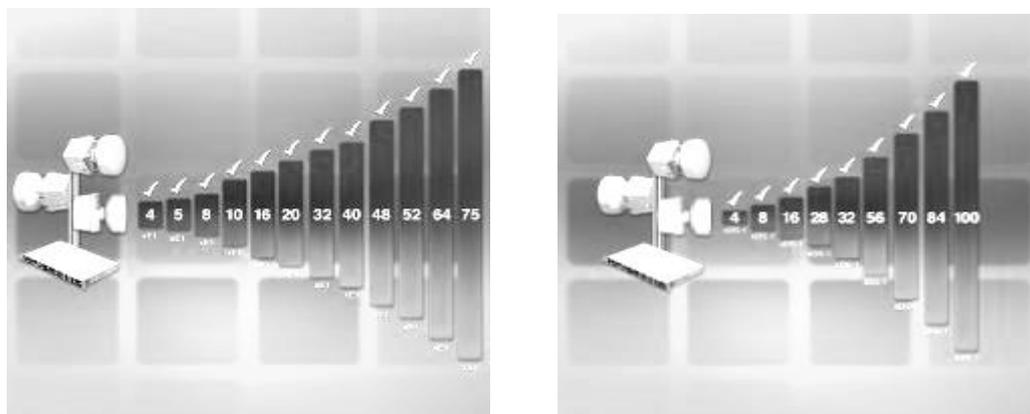
Eclipse позволяет использовать "расширенную" пропускную способность PDH – до 75xE1, что на 20% больше пропускной способности радиоканала 1xSTM1, при этом исключаются дополнительные финансовые вложения, связанные с переходом оборудования PDH к SDH.

Eclipse *Super-PDH (SPDH)* обеспечивает следующие варианты расширенной пропускной способности:

1. Международный стандарт (ITU): 4, 5, 8, 10, 16, 20, 32, 40, 48, 52, 64 и 75x E1

2. Северо-Американский стандарт(ANSI): 4, 8, 16, 28, 32, 56, 70, 84, 100x DS1

Рис. 2.6. Иерархия потоков



Заполнение “пробела” между PDH и SDH/SONET.

Традиционные беспроводные системы передачи данных обеспечивают пропускную способность радиоканала, как правило, до 16x или 32xE1. Для получения большей пропускной способности операторам приходится устанавливать второй, параллельный радиоканал, либо переходить к системам SDH/SONET. Такая модернизация приводит к высокой стоимости и избыточности оборудования и часто требует установки мультиплексоров на каждом узле.

Eclipse Super-PDH (SPDH) заполняет “пробел” между средней пропускной способностью PDH и высокой производительностью беспроводных систем передачи SDH, предлагая плавное увеличение пропускной способности, без изменения в аппаратной части.

2 Альтернатива беспроводным сетям SDH/SONET

Super-PDH (SPDH) предоставляет операторам альтернативу развертывания транспортной сети, базирующейся на SDH или SONET, с уменьшением стоимости и сложности сети.

Super-PDH (SPDH) можно использовать как единую технологию для построения сети, начиная от ядра и заканчивая “последней милей”, тем самым обеспечивая снижение стоимости построения сети, по сравнению с решением, использующим как SDH, так и PDH иерархию.

3 Традиционное решение:

1. Высокоскоростное ядро построено на SDH;
2. Окончания сети на PDH.

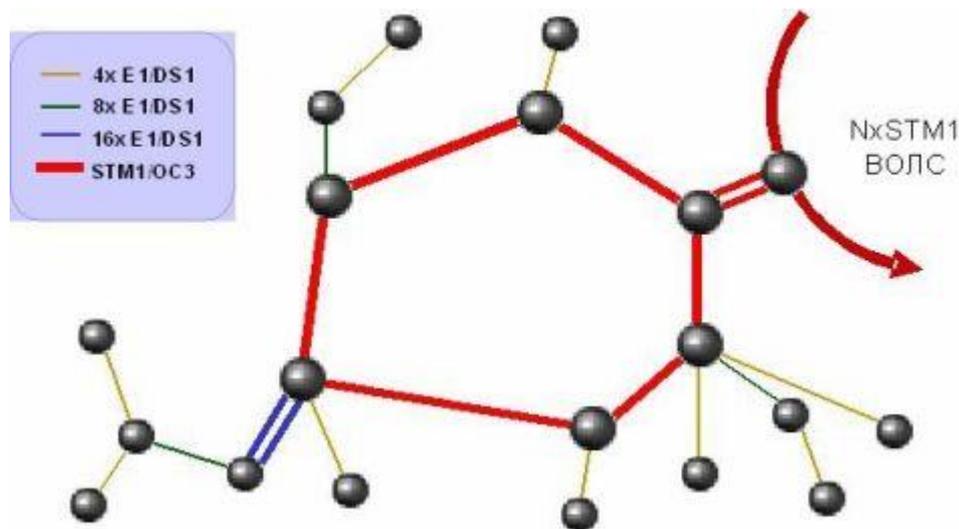


Рис. 2.7

4 Решение, предлагаемое Eclipse:

1. Высокоскоростное ядро сети построено на *Super-PDH (SPDH)*;
2. Окончания сети построено на *Super-PDH (SPDH)*.

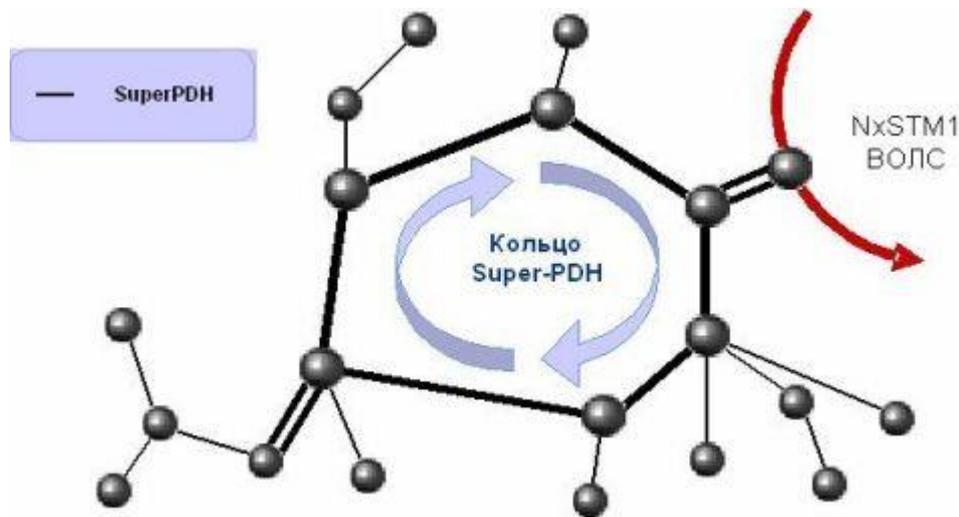


Рис. 2.8

Сложность сети в случае использования *Super-PDH* (*SPDH*) уменьшается за счет следующих особенностей:

1. кросс-комутация трафика осуществляется без использования внешних кабелей и патч-панелей;
2. не требуется дополнительных мультиплексоров PDH- SDH;
3. кольцевая защита осуществляется без использования внешнего оборудования.

2.5 План распределения частот

Под частотным планом системы РРЛ связи понимают распределение частот приема и передачи между стволами системы, а также распределение частот гетеродинов, т.е. распределение частот передачи и приема на одном стволе.

Так как особенностью построения аппаратуры РРЛ связи является то, что на ПС приемные и передающие антенны одного направления связи практически расположены рядом, то возникающие в этом случае взаимосвязи между антеннами не позволяют использовать одни и те же рабочие частоты при приеме и передачи сигналов в данном направлении. Поэтому на ПС возникает необходимость в изменении рабочих частот приема и передачи как

при организации односторонней, так и двусторонней связи. Изменение частот производится на каждой станции в соответствии с принятой схемой построения аппаратуры.

Следовательно, ПС выполняет две функции:

1. Усиление сигнала;
2. Преобразование частоты СВЧ сигнала с целью устранения возможной связи между передатчиком и приемником данной станции.

Существуют три плана распределения частот в РРЛ прямой видимости, для ствола :

- двухчастотный план (рисунок 2.9);
- четырехчастотный план (рисунок 2.10);
- шестичастотный план (рисунок 2.11).



Рис. 2.9-Схема двухчастотного плана



Рис. 2.10-Схема четырехчастотного плана

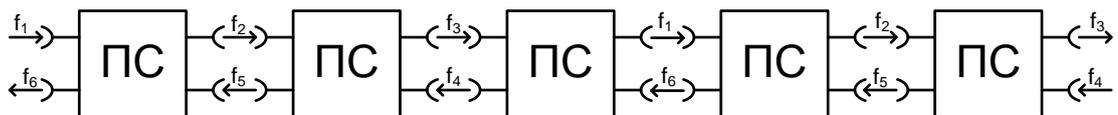


Рис. 2.11-Схема шестичастотного плана

Двухчастотная система экономична с точки зрения использования диапазона частот, но требует высоких защитных свойств антенн от приема сигналов с обратного направления. При двухчастотной системе используются РПА, параболические или другие антенны, имеющие защиту от приема сигналов с обратного направления порядка 60 ч 70 дБ. Такая система применяется обычно на РРЛ большой и средней емкости.

Четырехчастотная система допускает использование более простых дешевых конструкций антенных систем, например перископических. Однако количество дуплексных радиостволов, которое может быть образовано в данной полосе частот при четырехчастотной системе в два раза меньше, чем при двухчастотной системе. Четырехчастотная система с более простыми антенными системами применяется на РРЛ средней и малой пропускной способности, предназначенных для внутризонавых и низовых связей.

Частоты приема и передачи в одном стволе РРЛ чередуются от станции к станции. Станции, на которых прием осуществляется на более низкой частоте (f_1), а передача на более высокой (f_2), обозначаются индексом «НВ», а станции, на которых прием производится на более высокой частоте (f_2), передача на более низкой (f_1) обозначается индексом «ВН».

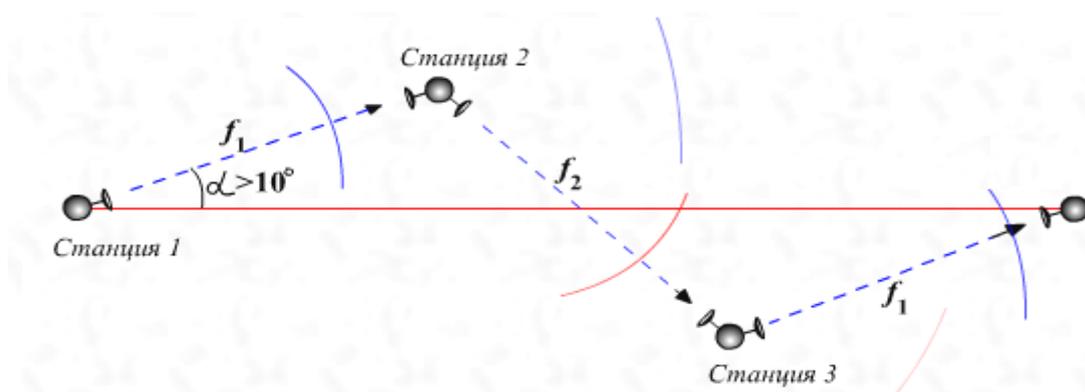


Рис. 2.12. Расположение станций РРЛ

Повторение через интервал одних и тех же частот допустимо потому,

что в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн при отсутствии прямой видимости между антеннами ослабление сигнала достаточно велико. Однако при некоторых условиях распространения радиоволн, например при повышенной рефракции, возможен прием сигнала от станции, отстоящей на 3 интервала (минус 2 станции), что и приводит к значительным искажениям передаваемых сигналов. Во избежание этого станции РРЛ располагают на ломаной линии с тем, чтобы паразитный сигнал дополнительно сильно ослаблялся за счет направленных свойств антенн (рисунок 2.12).

Для того чтобы свести к минимуму интерференционные помехи в многоствольных РРЛ, возникающие при одновременной работе нескольких приемников и передатчиков на общий антенно-фидерный тракт, существуют определенные планы распределения частот.

Во всех современных РРЛ системах применяются планы с разнесенными частотами приема и передачи, т.е. частоты приема размещены в одной половине диапазона, а частоты передач – в другой половине диапазона. Такой план распределения частот приведен на рисунке 2.13

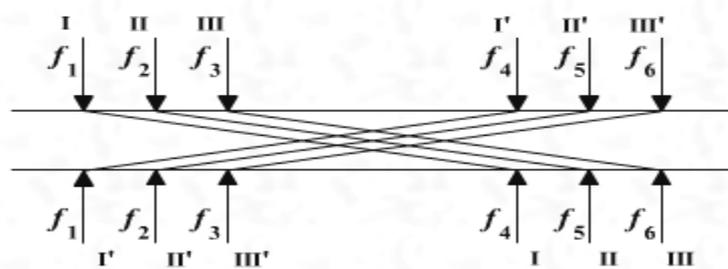


Рис. 2.13 - План с разнесенными частотами приема и передачи

При таком плане распределения частот разность между частотами передачи и приема одного ствола значительно и это облегчает требования к характеристикам приемных полосовых фильтров. При этом плане каждая антенна может быть использована одновременно как для передачи, так и приема сигналов.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАСС РРС

Проектирование РРС начинается с выбора и изыскания трасс. Для этого пользуясь топографическими картами намечают общее направление трассы и места расположения УС и ПС в соответствии со структурой гипотетической цепи. При этом необходимо учитывать наличие подъездных путей, близость населенных пунктов, энергобаз и др. Целесообразным считается прокладка РРЛ вдоль шоссе и железных дорог.

Интервал ретрансляции зависит от рельефа местности, типа аппаратуры, высот антенных опор и др. условий. Для намеченной РРЛ рассчитывают качественные показатели каналов связи. Причем могут быть просчитаны несколько вариантов, а выбран один из них. Выбор производится по устойчивости связи при требуемых качественных показателях.

Основой энергетического расчета РРС является уравнение связывающее мощность сигнала на выходе передатчика $P_{\text{пд}}$ с мощностью сигнала, поступающего на вход приемника $P_{\text{с вх}}$

$$A = \frac{P_{\text{пд}}}{P_{\text{с вх}}} = \frac{A_{\text{св}}}{\eta_{\phi 1} \eta_{\phi 2} G_1 G_2 |V|^2}, \quad (3.1)$$

где: A – потери передачи на интервале;

$A_{\text{св}} = (4\pi r_0 / \lambda)^2$ – потери передачи на интервале при распространении в свободном пространстве.

Строгий расчет интервала РРС из-за многообразия и сложности реальных природных условий, невозможен. Поэтому при проектировании РРС пользуются приближенными методами.

Расчет V начинают с вычерчивания в прямоугольных координатах профиля интервала, который отображает вертикальный разрез местности. Для этого по оси абсцисс откладывают расстояние, а по оси ординат высоты. Высоты откладывают от уровня моря или условный нулевой уровень (рис. 3.1)

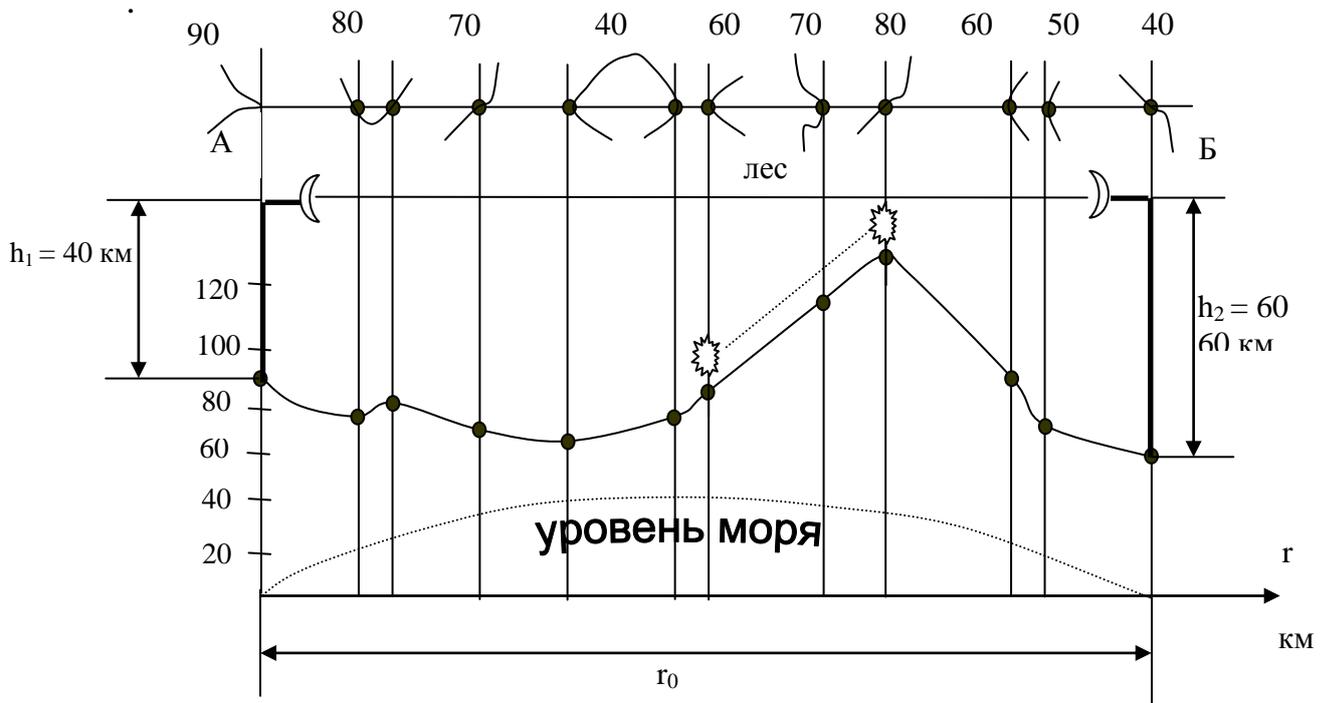


Рис. 3.1

Антенны РРС устанавливаются на мачтах или башнях, высота которых во много раз превышает длину рабочей волны. Для расчета V в случае реальных трасс удобно пользоваться величиной просвета H между наиболее высокой точкой профиля трассы и линией прямой видимости, соединяющей центры антенн соседних станций (рис. 3.2).

Исходя из геометрических расчетов

$$H = \sqrt{2 \Delta r \cdot r_0 k (1 - k)}, \quad (3.2)$$

где: Δr – разность хода лучей между АВ и АСВ;

$k = r_1/r_2$ – относительная координата точки С.

При классификации трасс РРС и расчете интервалов пользуются понятием о пространственной зоне, существенно участвующей в распространении радиоволн.

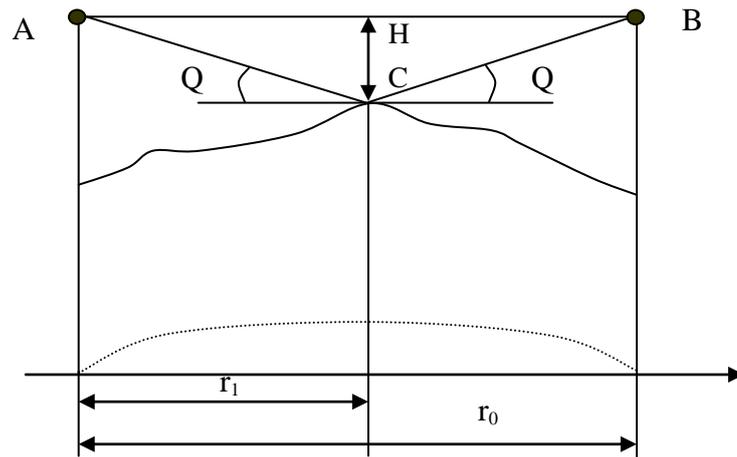


Рис. 3.2

Эту зону определяют как геометрическое место точек, соответствующих разности хода лучей $\Delta r = \lambda/6$. Из последнего соотношения следует, что в такой зоне

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} r_{0\lambda} \lambda k (1 - k)}, \quad (3.3)$$

Так называемый расчетный зазор при $H = H_0$, множитель ослабления равен 1 ($V = 1$).

Относительно H_0 трассы интервалов РРС принято делить на три группы:

- открытые – $H > H_0$;
- полуоткрытые – $H_0 > H > 0$;
- закрытые - $H < 0$.

На реальных трассах, как известно, наиболее часто имеет место положительная рефракция, когда $dE/dh < 0$ и при расчетах V пользуются понятием эквивалентного радиуса земного шара $R_э$, отличающейся от действительного радиуса R на величину коэффициента рефракции k_p

$$R_э = Rk_p = R/(1 + 0,5gR). \quad (3.4)$$

При положительной рефракции $R_3 > R$. Замена R на R_3 приводит к тому, что при изменении атмосферной рефракции изменяется просвет H от значений $H(0)$ в отсутствие рефракции до $H(g)$ с учетом рефракции. Полное значение просвета определяется как:

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g) = H(0) - 0,25r_0^2 g(1-k)k. (3.5)$$

3.1. Расчет множителя ослабления (V)

1. Для открытых трасс

В этом случае V определяется условиями интерференции прямой волны и одной или нескольких отраженных от земной поверхности. Учитывается обычно одна отраженная волна, тогда

$$V = \sqrt{1 + |\Phi|^2 - 2|\Phi| \cos [\pi p^2(q)/3]}, (3.6)$$

где: $|\Phi|$ - модуль коэффициента отражения от земной поверхности.

$$P(q) = \frac{H(q)}{H_0} = \frac{H(o)}{H_0} - \frac{0,25 r_0^2 qk(1-k)}{H_0} = P(o) + \Delta P(o) - \text{относительное значение просвета.} (3.7)$$

$H(g) = H(0) + \Delta H(g)$ – полное значение просвета с учетом рефракции.

Для открытой трассы $P(g) > 1$ и зависимость V от $P(g)$ имеет интерференционный характер.

Интерференционные максимумы имеют место, когда

$$P(q) = \sqrt{3(2m - 1)}, (3.8)$$

а интерференционные минимумы – когда $P(q) = \sqrt{6n}$,

где: $n, m = 1, 2, 3, \dots$ - номера интерференции минимумов и максимумов.

$$V(\partial B) = V_0(\partial B)[1 - P(q)] \quad , (3.11)$$

где: $V_0(\text{дБ})$ при $H(q) = 0$.

При сравнительно больших высотах антенн V_0 не зависит от электрических параметров огибающей волной сферы, а определяется параметром μ , включающим геометрические характеристики трассы

$$\mu = \sqrt[6]{64 \pi \alpha^2 / 3} \cdot \sqrt[3]{K^2 (1 - K)^2 / l^2} \quad , (3.12)$$

где: $l = r/r_0$ и $\alpha = \Delta y/H$ – параметры сферы, аппроксимирующей препятствие.

Параметр r определяется из профиля где $\Delta y = H_0$.

Результаты расчетов V в зависимости от $P(g)$ и для различных μ в случае трассы с одним препятствием приводятся соответствующими графиками.

Все расчетные формулы для V получены в предположении, что E постоянна вдоль трассы и линейно изменяется по высоте, т.е. параметр (g) не зависит от (h) . Для учета реальных изменений E по высоте и длине трассы вводят понятие об эффективном вертикальном градиенте диэлектрической проницаемости воздуха g_3 .

Под этой величиной понимается такой постоянный по высоте градиент, при котором напряженность поля в месте приема будет такой же, как и в случае реального изменения E на трассе. При этом во всех расчетных формулах, в которые входит величина g_1 , необходимо заменять ее величиной g_3 . Значение g_3 находят в результате многочисленных измерений напряженности поля на трассах, проходящих в различных климатических районах. Данные о значениях g_3 для различных климатических районов приводятся в соответствующих таблицах.

3.2. Замирания сигналов на интервалах РРС и расчет устойчивости сигнала

В связи с случайным изменением метеорологических условий на трассах РРС происходит и случайное изменение уровня сигнала в месте приема (замирание сигнала).

Под случайным изменением метеорологических условий понимается изменение температуры, давления и влажности атмосферы. В свою очередь случайное изменение перечисленных параметров приводит к флуктуации (g) во времени и соответственно к изменению $H(g)$.

Как известно, при возрастании (g) просвет $H(g)$ уменьшается и при

$P(g) < 1$ множитель ослабления с уменьшением $P(g)$ монотонно убывает, т.к. происходит дифракционное ослабление сигнала из-за экранирующего действия препятствия на трассе.

Если $P(g) \ll 1$ приемная антенна попадает в область глубокой тени и уровень принимаемого сигнала становится малым. Это может происходить от нескольких минут до нескольких часов.

Такие замирания носят медленный характер и они частотно независимы, т.е. замирание идет одновременно на всех стволах РРЛ.

Замирание будет и в том случае, если при уменьшении g , просвет $H(g)$ увеличится. Объясняется это тем, что происходит интерференция прямой и отраженной волны от поверхности земли. Замирания будут глубокими, если точка приема попадет в интерференционный минимум. При этом если

$$|\Phi_{\pi}| = 1, \text{ то } V \rightarrow 0. (3.13)$$

Причем изменение уровня сигнала может составить 25 - 30 дБ в секунду и поэтому они называются быстрыми.

Быстрые замирания носят частотозависимый характер, т.е. они селективны. Оба типа замираний связаны с изменением рефракции в тропосфере, поэтому они называются рефракционными.

Замирание на интервале будет иметь место и в том случае, если в тропосфере будет область слоистых неоднородностей (резкое изменение диэлектрической проницаемости). В этом случае замирание происходит за счет интерференции прямого луча и отраженного от слоистых неоднородностей.

Этот вид замирания селективен и происходит быстро. Глубина замирания достигает 20 – 30 дБ.

Замирание сигнала на интервале возможно также из-за возникновения свехрефракции (тропосферной волновод), которая приводит к многолучевому распространению радиоволн.

Замирание может возникнуть также из-за экранирующего действия слоистых неоднородностей в тропосфере. В этом случае большая часть энергии отражаясь от слоистых неоднородностей не попадает в пункт приема.

Оба последних типа замираний чаще всего бывает на трассах проходящих в прибрежных и морских районах.

Кроме перечисленных замираний, в РРЛ работающей на сантиметровом диапазоне возникают дополнительные ослабления сигнала. Например, на волнах короче 5 ÷ 6 см, возникают дополнительные ослабления сигнала из-за поглощения и рассеяния радиоволн атмосферными образованиями или гидрометеорами (дождь, туман, снег, град). На волнах короче 2 см учитывается также поглощение радиоволн вследствие резонансных явлений в газах атмосферы (в молекулах кислорода и водяных парах).

3.3. Расчет устойчивости сигнала

Так как замирания носят случайный характер, то поэтому глубину и продолжительность их определяют статистически.

I. Интегральные распределения глубины замираний $W(V)$ показывают, в течение какого процента времени множитель ослабления V находится ниже заданных значений $V_{\text{мин}}$.

II. При малых $W(V)$ вероятность того, что V будет $V_{\text{мин}}$, приближенно можно представить в виде суммы

$$W(V_{\text{мин}}) = W_p(V_{\text{мин}}) + W_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) + W_g(V_{\text{мин}}) \quad , (3.14)$$

где: $W_p(V_{\text{мин}})$ – процент времени, в течении которого множитель ослабления V меньше $V_{\text{мин}}$ из-за случайных изменений градиента g ;

$$W_p(V_{\text{мин}}) = W_0(V_{\text{мин}}) + \Sigma W_n(V_{\text{мин}}), \quad (3.15)$$

здесь $W(V_{\text{мин}})$ – процент времени. В течении которого множитель ослабления меньше $|V_{\text{мин}}|$, когда

$$P(g) = H(g)/H_0 < 1, \quad (3.16)$$

$W_n(V_{\text{мин}})$ – процент времени. Когда множитель ослабления меньше $V_{\text{мин}}$ из-за попадания в область интерференционных минимумов;

$W_{\text{тр}}(V_{\text{мин}})$ – процент времени, в течение которого значение $|V| < |V_{\text{мин}}|$ из-за влияния волн, отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы;

$W_g(V_{\text{мин}})$ – процент времени, в течении которого $|V| < |V_{\text{мин}}|$ из-за потерь в гидрометеорах.

Затем $W(V_{\text{мин}})$ полученное по расчету, сравнивают с нормами, рекомендованными МККР.

Для того, чтобы повысить устойчивость, необходимо выбирать также трассы, в которых отраженный от земли луч сильно ослаблен. У таких трасс

отсутствуют водные поверхности и равнины (у таких поверхностей $|\Phi| \rightarrow 1$). Если же избежать это невозможно, то нужно разность высот антенн интервала сделать как можно больше. Тогда точка отражения будет вблизи низко расположенной антенны и изменение $\Delta H(g)$ будет меньше, следовательно рефракционное изменение уровня сигнала уменьшится. В некоторых случаях отраженную волну экранируют искусственным препятствием, но это не всегда удается и дорого. Наиболее эффективный метод борьбы с замираниями является метод разнесенного приема. Этот метод дает наибольший эффект в том случае, если удастся создать копии сигналов с малой корреляцией между ними.

На РРЛ такие копии получают либо с различных антенн разнесенных по пространству, либо от сигналов с различными частотами. При разнесении по пространству обычно антенны устанавливают на различных высотах

($\Delta h = 10 \div 15$ м). При разнесении по частоте $\Delta f/f = 2 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-3}$,

где f – рабочая частота; Δf – разность между частотами.

3.4. Определение высот антенных опор

Задача определения высот антенных опор заключается в определении такого просвета $H(g)$, при котором наблюдается наибольшая устойчивость связи.

Рассмотрим равнинный интервал РРС с плоским профилем, где модуль коэффициента отражения близок к единице. Здесь зависимость $W_i(V_{i \text{ мин}})$ от просвета H (при $g = 0$) имеет довольно сложный характер. С одной стороны, уменьшение просвета H ведет к увеличению величины $W_{\text{ореф}}(V_{\text{мин}})$ в выражении для $W_p(V_{\text{мин}})$. С другой стороны уменьшается сумма $\Sigma W_p(V_{\text{мин}})$, определяющая процент времени, в течении которого

$V_i < V_{i \text{ мин}}$ из-за нахождения в интерференционных минимумах, поскольку попадание в интерференционные минимумы при малых H будет происходить

при менее вероятных значениях (g). Следовательно будет и такой просвет $H = H_{\text{опт}}$, при котором значение $W_i(V_{i \text{ мин}})$ будет минимальным.

Оптимальное значение просвета при этом получают в результате вычисления $W_i(V_{i \text{ мин}})$ для нескольких значений $H(o)$.

После определения высот антенных опор для всех интервалов определяют общий процент времени S , в течение которого $P_{\text{ш.т}}$ или $U_{\text{ш}}/U_{\text{р.с}}$ превышает максимально допустимые значения для проектируемой РРЛ по формуле

$$S = \sum_{i=1}^m W_i(V_{i \text{ мин}}), (3.17)$$

где: $W_i(V_{i \text{ мин}})$ – процент времени, в течении которого на i -м интервале линии $V_{i \text{ мин}}$ таково, что шумы превышают значения, нормируемые ЕАСС.

Затем полученное значение S сравнивают с нормированным $S_{\text{макс}}$.

I. Если $S > S_{\text{макс}}$, то трассу пересматривают (уменьшают интервал, увеличивают число интервалов).

II. Если $S \ll S_{\text{макс}}$, то увеличивают интервал. Уменьшают высоты подвеса антенн и т.д.

3.5. Особенности проектирования РРС на полуоткрытых и закрытых трассах

В этом случае при расчете применяют теорию дифракции радиоволн рис. 3.4.

β - угол дифракции, равный

$$\beta = -H/r_0k(1 - k). (3.18)$$

Множитель ослабления V в области тени и полутени убывает по экспоненциальному закону с увеличением β , т.е. с увеличением H множитель ослабления увеличивается по экспоненциальному закону.

$$h' = \frac{1}{2} \sqrt{r_0 \lambda}, \quad x, \quad x_{1,2}, \quad x_2, \quad x_{2,3} \quad \text{и} \quad x_3. \quad (3.22)$$

Затем вычисляют $x_{1,2}$ и $x_1 + x_2$.

Если $x_{1,2}$ больше суммы, то считают отдельно, в противном случае вместе.

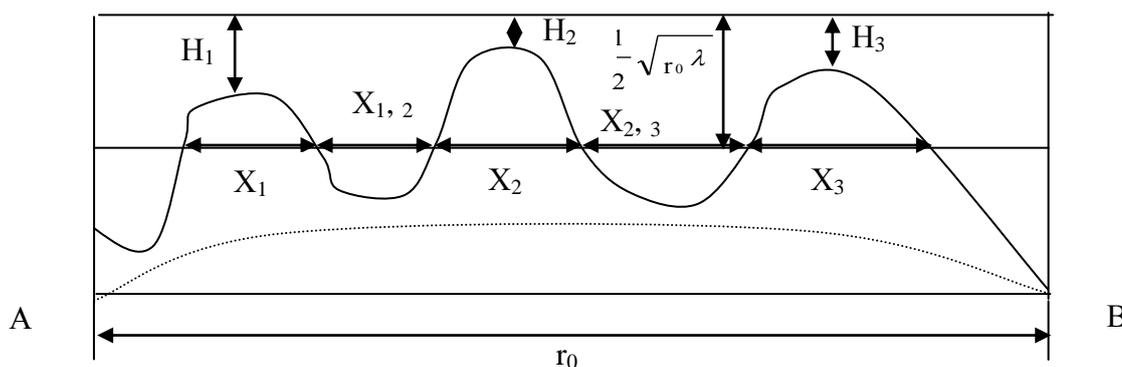


Рис. 3.5.

3.7 Резервирование, электропитание РРЛ

3.7.1 Резервирование

Для обеспечения надежной работы РРЛ предусматривается резервирование элементов радиооборудования. Существуют несколько различных систем резервирования.

1. Система постанционного резервирования. В этой системе для каждого ствола, на каждой станции, предусматривается дублирование радиоаппаратуры рис. 3.6.

Такая схема резервирования обеспечивает высокую надежность, но не эффективна (два комплекта, а работает один) и не возможно бороться с замираниями (оба комплекта работают на одну и ту же частоту).

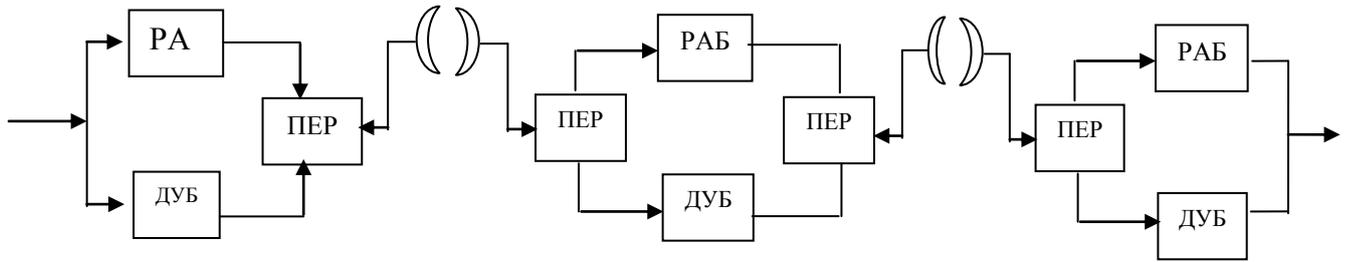


Рис. 3.6

2. Система посекционного резервирования. Здесь для нескольких стволов выделяется один резервный ствол (работа идет на различных частотах). При выходе из строя какого-либо рабочего ствола, нагрузку принимает резервный. Переключение осуществляется на концах секции рис. 3.7.

Такой способ резервирования обладает меньшей надежностью, чем постанционный резервирование, но зато имеется возможность бороться с селективными замираниями, а оборудование используется более эффективно. При одновременном выходе из строя двух рабочих стволов, на резервный переходит тот ствол, который имеет режим с преимуществом.

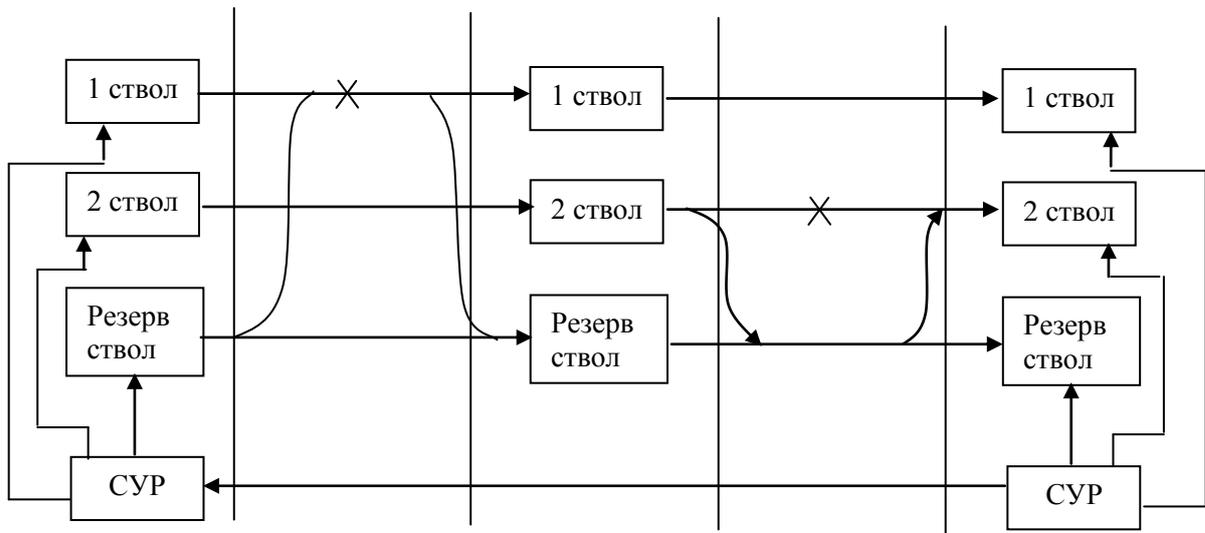


Рис. 3.7.

3. Погрупповая система с постанционным резервированием, но с пространственным разнесением. Здесь одновременно с резервированием

приемопередатчиков достигается возможность борьбы с быстрыми интерференционными замираниями.

Для переключения радиотрактов при автоматическом резервировании применяются быстродействующие переключатели разных типов. В цепях с сигналами СВЧ применяются вращающиеся волноводные переключатели, в цепях промежуточной частоты – герконы и диодные ключи, в групповом тракте – малогабаритные электромеханические реле, герконы или диодные переключатели. Время переключения составляет около 10 мс.

Передача сигналов управления резервированием с приемного конца секции на передающий осуществляется по служебным каналам встречного направления. Эти каналы образуются как по специальному служебному узкополосному стволу, так и в нижней части группового спектра телефонного ствола.

3.7.2. Электропитание

Для надежной работы РРЛ необходимо надежное электропитание.

На каждой станции РРЛ имеются 3 группы устройств обеспечивающих надежность электропитания.

1. Первичные источники электроснабжения (ПИЭ).
2. Переключающие устройства (ПУ).
3. Устройства, обеспечивающие стабильность и бесперебойность питания (СУ).

В качестве ПИЭ используют внешние источники, фидеры от государственных энергосистем. Как правило, стремятся подвести к РРС два фидера от независимых подстанций. Если такой возможности нет, то на РРС имеют собственный источник питания – автоматизированные дизель-генераторные установки ДГ. При наличии внешнего источника ДГ является резервным и находится в постоянной готовности к запуску.

Для случая перерыва в снабжении электроэнергией, на станции часть энергии запасается на аккумуляторных батареях. При пропадании электропитания станция некоторое время работает от запасной энергии. Одновременно включается резервный дизель-генератор ДГ, который затем замещает поврежденный источник электропитания.

3.7.3. Система питания со статическим преобразованием

Такая система, в которой постоянный ток преобразуется в переменный, в настоящее время нашла широкое распространение. Аппаратура в этой системе питается от преобразователя постоянного тока в переменный. В свою очередь преобразователь питается от аккумуляторных батарей, а батареи подзаряжаются от первичного источника или дизель-генератора через выпрямитель. Структурная схема такой системы питания имеет следующий вид рис. 3.8.

Преимущество такой системы состоит в том, что отсутствуют трущиеся механические элементы.

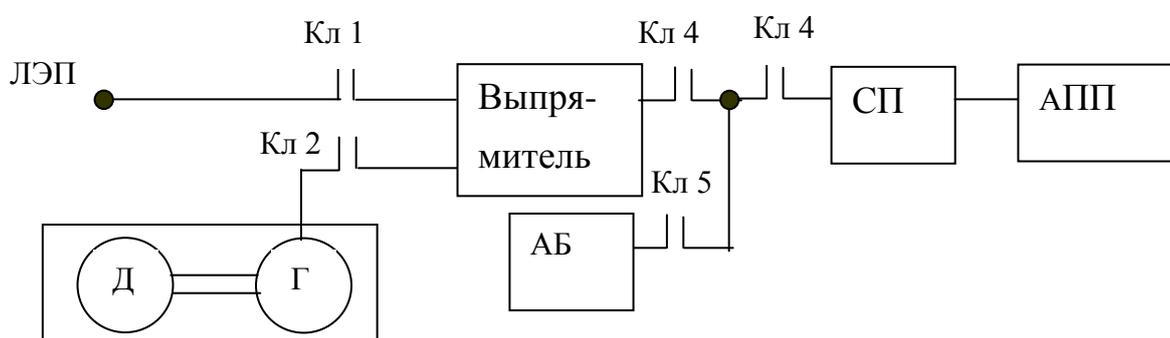


Рис. 3.8

В случае перерыва в электропитании, система со статическим преобразованием питается от аккумуляторных батарей.

На спутниковых и тропосферных РРС питание осуществляется, как правило, от двух независимых источников (большая потребляемая мощность

– несколько сотен киловатт). В качестве первичных источников могут быть как сеть переменного тока, так и собственные дизель-генераторы.

В тропосферных РРС каждый полукомплект аппаратуры питается от различных источников (двухлучевое питание), что позволяет обеспечить бесперебойную работу линии.

4. РАСЧЕТ ТРАССЫ РРЛ

Выбираем трассу АТС-25 – ХолматободСВП

Пролет 1 АТС-25 – ФерПИ ОРС1-УРС2 9,62 км

Пролет 2 ФерПИ – Язъяван УРС2- УРС3 26,5 км

Пролет 3 Язъяван – ОхунбабаевСВП УРС3- УРС4 9,76

Пролет 4 ОхунбабаевСВП – ХолматободСВП УРС4- ОРС5 5,14

Общая длина трассы – 51 км

Максимальная длина пролета – 26,5 км

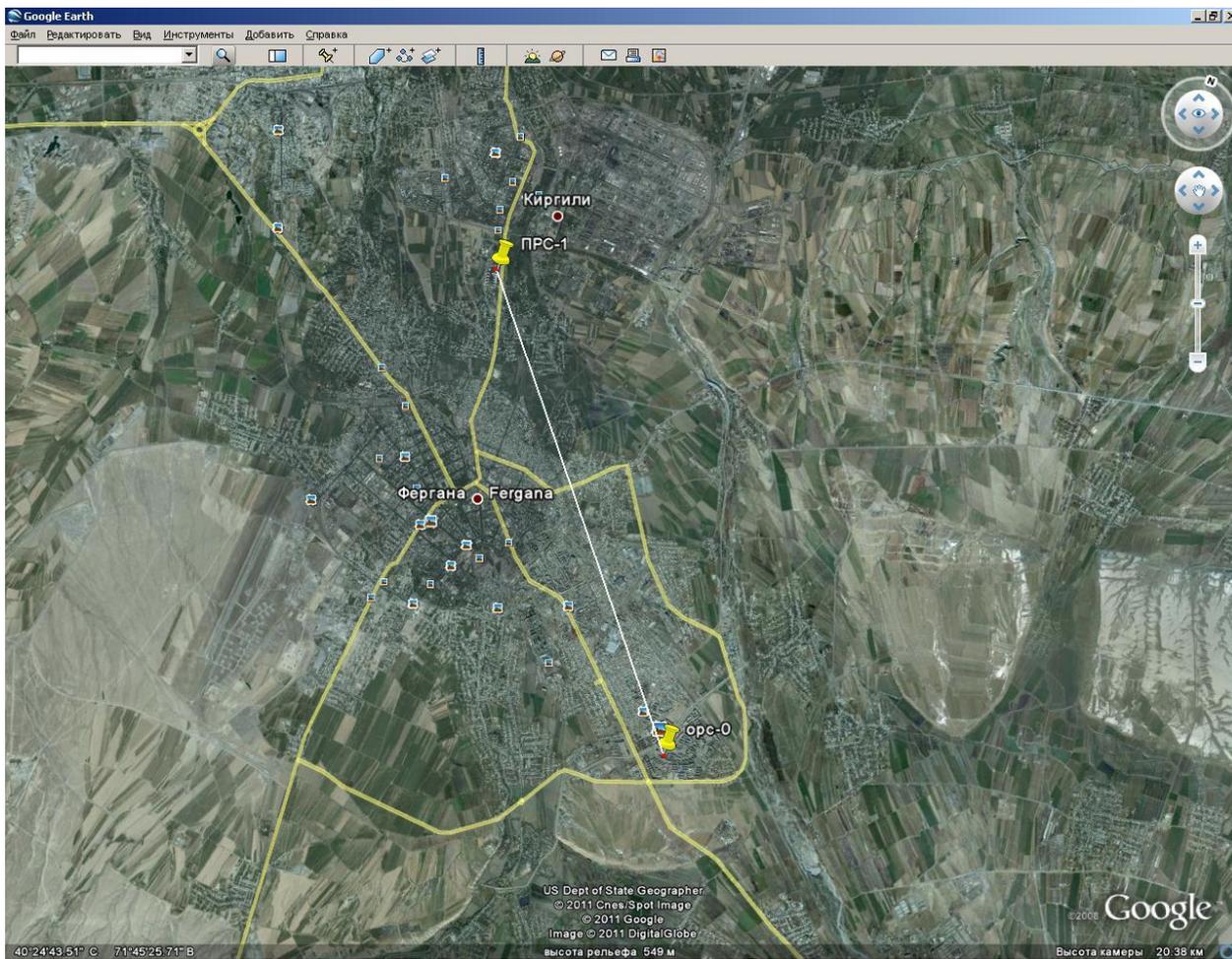
Минимальная длина пролета – 5 км

Средняя длина пролета – 13 км

4.1. Расчет пролета АТС-25 – ФерПИ

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 4.1.

Параметры станции	Обозначение	АТС-25:PPC-1	ФерПИ:PPC-2
Тип станции		оконечная	промежуточная
Наличие опоры для подвеса антенн		проект. башня	существ. башня
Высота подвеса основной антенны:	H_{II}	28	30
Диаметр основной антенны, м	d	0,6	0,6
Коэффициент усиления основной антенны	G_i	36,5	36,5
Данные пролета:			
Прямой азимут		302°	
Обратный азимут		156°	
Длина пролёта, км	R_0	9,62	
Тип местности		Сухопутная, пересеченная	



Карта пролета

1. Построение профиля пролёта:

Расчеты производим для пролета заданной ЦРРЛ.

Рассчитаем условный нулевой уровень (УНУ) по формуле:

$$y_1(K_i) = \frac{R_0^2}{2R_3} \cdot K_i(1 - K_i); \quad (4.1), \text{ где}$$

R_0 – длина пролета, равна 9,62 км;

R_3 – геометрический радиус земли (6370 км);

K_i – текущая относительная координата заданной точки ($K_i = 0,0; 0,1; \dots 1,0$).

Рассчитываем профиль интервала по формуле:

$$y(k_i) = y_1(k_i) + y_2(k_i); (4.2)$$

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.2. По результатам расчетов построим профиль пролета, рис.4.1.

Таблица 4.2 – Результаты расчета профиля пролета.

K_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
y_1	0	0,65	1,16	1,53	1,74	1,82	1,74	1,53	1,16	0,65	0
y_2	639	632	628	620	616	609	603	596	588	583	578
y	639	632,65	629,16	621,53	617,74	610,82	604,74	597,53	589,16	583,65	578

Расчёт высот подвеса антенн для относительного просвета, равного единице:

Определим величину просвета без учёта рефракции радиоволн:

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}); (4.3), \text{ где}$$

$H(0)$ – величина просвета без учёта рефракции радиоволн;

H_0 – критический просвет, определяемый как:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda K_{TP} (1 - K_{TP})}; (4.4), \text{ где}$$

R_0 – длина пролета, равна 9620 м;

K_{TP} – относительная координата наивысшей точки профиля пролета, $K_{TP} = 0,32$ исходя из профиля пролета;

$K_{TP} = \frac{R_i}{R_0}$, где R_i – расстояние до препятствия

λ – рабочая длина волны, определяемая как:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; (4.6), \text{ где}$$

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света;

$f = 15 \cdot 10^9$ Гц – рабочая частота для аппаратуры «Eclipse»;

2. Расчёт коэффициента полезного действия антенно-фидерного тракта:

Произведем расчет КПД антенно - фидерного тракта по формуле:

$$\eta = 10^{-0,1 \cdot \alpha_{\text{общ}}} \quad (4.8),$$

где $\alpha_{\text{общ}}$ - общее затухание тракта, складывающееся из затухания сосредоточенных элементов (принять равным 1.6 дБ), и затухания волновода. Затухание волновода находят, зная длину волновода (принять равной высоте подвеса антенн) и погонное затухание волновода (принять равным 0,05дБ/м). Общее затухание АФТ одной станции составляет:

$$\alpha = 1,6 + h \cdot 0,05 = 3 + 0 \cdot 0,05 = 3 \text{ дБ}$$

Отсюда КПД антенно - фидерного тракта:

$$\eta = 10^{-0,1 \cdot \alpha_{\text{общ}}} = 10^{-0,1 \cdot 3} = 0,69$$

Расчёт минимально-допустимого множителя ослабления:

Расчет минимально допустимого множителя ослабления $V_{\text{мин}}$ производят по формуле:

$$V_{\text{мин}} = P_{\text{пор}} - P_{\text{пд}} + W_0 - G_{\text{пд}} - G_{\text{пр}} - \eta_{\text{АФТ}} \text{ дБ}; \quad (4.9), \text{ где}$$

$P_{\text{пор}}$ – пороговая мощность сигнала на входе приемника, $P_{\text{пор}} = -67$ дБВт;

$P_{\text{пд}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, $P_{\text{пд}} = 19$ дБВт;

W_0 – затухание сигнала в свободном пространстве, дБВт, определяемое как:

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right), \text{ дБВт}; \quad (4.10)$$

Подставляя числовые значения в (9.5[5]) определим W_0 :

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right) = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 9620}{0,02} \right) = 136 \text{ дБ}$$

$G_{\text{пд}}, G_{\text{пр}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, величина

$$G_{\text{пд}} = G_{\text{пр}} = 36,5 \text{ дБ}$$

Отсюда минимально допустимый множитель ослабления равен:

$$V_{\text{мин}} = -67 - 19 + 136 - 36,5 - 36,5 - 0,69 = -24,06 \text{ дБ}$$

3. Расчет необходимого запаса на замирание.

Атмосферные возмущения оказывают влияние на условия передачи на радиорелейных линиях прямой видимости. Уровень принимаемого сигнала изменяется во времени и характеристики системы определяются вероятностью того, что уровень сигнала упадет ниже порогового значения, или спектр принимаемого сигнала будет сильно искажен.

Рассмотрим упрощенную структурную схему интервала радиолинии и соответствующую диаграмму уровней сигнала (рисунок 4.2). Очевидно, что качество работы линии связи, определяется уровнем сигнала на входе приемника $P_{\text{пр}}$ и возможными отклонениями этого уровня при замираниях.

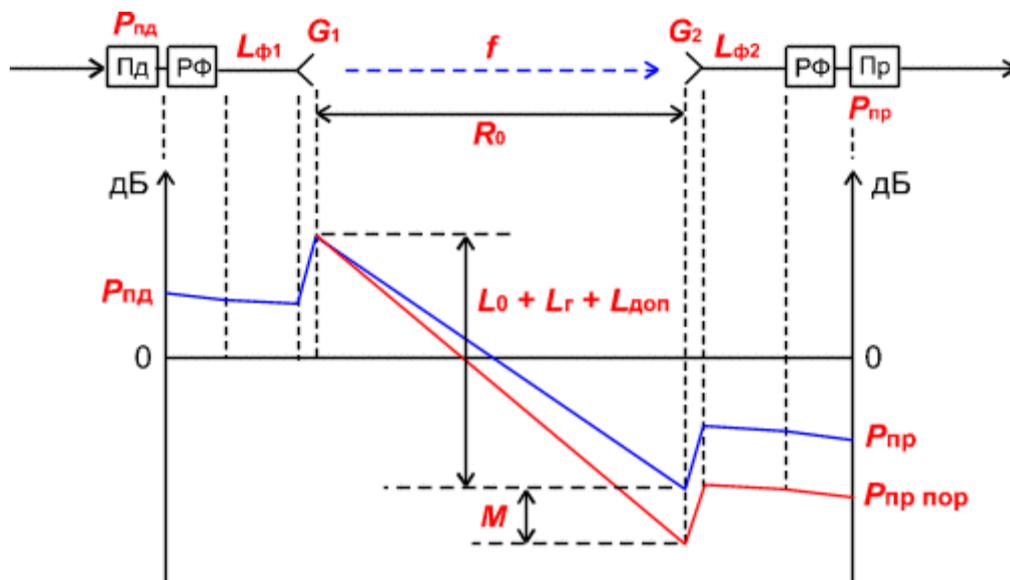


Рис. 4.2. Диаграмма уровней сигнала на пролете РРЛ

На диаграмме уровней видно, что сигнал излучается передатчиком с уровнем $P_{\text{нд}}$, проходит через разделительный фильтр (РФ), в котором уровень упадет за счет внутренних потерь и поступает через фидерную линию в передающую антенну с коэффициентом усиления G_1 . За счет потерь в

фидерной линии $L_{\phi 1}$ уровень сигнала еще уменьшится, а в передающей антенне увеличится на величину G_1 .

При распространении сигнала по интервалу РРЛ (протяженностью R_0 , на рабочей частоте f) уровень сигнала упадет за счет ослабления свободного пространства, потерь в газах атмосферы и некоторых дополнительных потерь. Общее ослабление сигнала за счет этих причин может достигнуть 130-140 дБ и больше.

В приемной антенне уровень сигнала увеличится на величину G_2 , затем уменьшится в приемной фидерной линии, в разделительном фильтре и поступит на вход приемника с уровнем $P_{пр}$. Это значение получается в отсутствии замираний сигнала на пролете РРЛ.

Запас на замирания M является разницей между уровнем сигнала на входе приемника $P_{пр}$ и его пороговым значением $P_{пр пор}$, которое определяется из параметров конкретной аппаратуры цифровых РРЛ для заданной величины $k_{ош}$ (10^{-3} или 10^{-6}).

Уровень сигнала на входе приемника можно определить по следующей формуле:

$$P_{пр} = P_{пд} + G_1 + G_2 - L_0 - L_{\phi 1} - L_{\phi 2} - L_r - L_{рф} - L_{доп}, \quad (4.11)$$

где $P_{пд}$ – уровень мощности передатчика, дБм;

G_1, G_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$L_{\phi 1}, L_{\phi 2}$ – ослабление сигнала в фидерных линиях (Ф1, Ф2), дБ;

При отсутствии фидера (когда приемопередатчики объединены с антенной в виде моноблока) необходимо учитывать конструктивные особенности устройства объединения, как правило, в этих случаях потери в фидерах можно принять равными 0 дБ. При больших диаметрах антенн соединение проводится коротким отрезком гибкого волновода, потери в котором $L_{\phi 1} = L_{\phi 2} = 0.5 \text{ дБ}$;

$L_{p\phi}$ – определяется из параметров аппаратуры. Обычно значение ослабления в разделительных фильтрах соответствует сумме потерь в передающем и приемном устройствах. При моноблочной конструкции, данные на уровень мощности передатчика и пороговые значения уровня сигнала на входе приемника, часто относятся к точкам, соответствующим уровням на антенном волноводном соединителе (другими словами, в значения уровней уже заложены потери в разделительных фильтрах). В этих случаях величина потерь $L_{p\phi} = 0$. При разнесенной конструкции приемопередатчиков и антенн, потери в РФ составляют 4 - 5 дБ в зависимости от типа и длины фидера.

$L_{доп}$ – дополнительные потери, складывающиеся из потерь в антенных обтекателях L_{Ao} и потерь от перепада высот приемной и передающей антенн

$$L_{пв} (L_{доп} = 1 - 2 \text{ дБ});$$

L_0 – ослабление радио волн при распространении в свободном пространстве, (4.12)

где R_0 – протяженность интервала РРЛ, км;

f – рабочая частота, ГГц.

L_r – атмосферные потери (потери в газах) рассчитываются по формуле:

$$L_r = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = \gamma_{сум} \cdot R_0, \quad (4.13)$$

где γ_0 и γ_H – погонные затухания в водяных парах и атомах кислорода

Таким образом, расчет запаса на замирания можно провести по следующей формуле:

$$M = P_{пР} - P_{пР\text{ пор}}, \quad (4.14)$$

где $P_{пР\text{ пор}}$ – минимально-допустимый уровень мощности сигнала на входе приемника (чувствительность приемника).

Уровень сигнала на входе приемника:

$$P_{\text{ПР}} = 19 + 36,5 + 36,5 - 135,1 - 3,5 - 3,5 - 0,1 = -51,1 \text{ дБ}$$

Расчет запаса на замирания:

$$M = -51,1 - (-67) = 15,9$$

4. Расчёт устойчивости связи на пролёте:

Суммарная устойчивость связи на пролёте РРЛ характеризуется суммарным процентом времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально допустимого и определяется по формуле:

$$T_{\text{ПР}}(V_{\text{МИН}}) = T_0(V_{\text{МИН}}) + \sum_n T_n(V_{\text{МИН}}) + T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}}) + T_{\text{Д}}(V_{\text{МИН}}); \quad (4.15), \text{ где}$$

$T_0(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально допустимого за счет экранирующего действия препятствий;

$\sum_n T_n(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления,

обусловленный интерференцией прямой волны и волн, отраженных поверхности Земли, меньше $V_{\text{МИН}}$ за счет попадания точки приема в области n-ного интерференционного минимума;

$T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше $V_{\text{МИН}}$ за счет интерференции прямой и волн, отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы;

$T_{\text{Д}}(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления

меньше $V_{\text{МИН}}$ за счет потерь энергии радиоволн в различного рода осадках (дождь, снег, туман и т.п.).

Расчёт составляющей $T_0(V_{\text{МИН}})$:

Величина $T_0(V_{\text{МИН}})$ зависит от протяженности интервала, длины волны, величины просвета, рельефа местности. На пролётах длиной менее 50 км, когда препятствия на трассе удовлетворительно аппроксимируются выпуклой сферой, расчет $T_0(V_{\text{МИН}})$ проводят по профилям, построенным при $g = 0$.

При этом $T_0(V_{\text{МИН}})$ определяется в зависимости от параметра, который определяется по формуле:

$$\Psi = 2,31A[P(\bar{g}) - P(g_0)]; \quad (4.16), \text{ где}$$

Параметр А рассчитывается как:

$$A = 1 / \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 \cdot K_{TP} (1 - K_{TP})}}; (4.17), \text{ где}$$

$\sigma = 7 \cdot 10^{-8} 1/\text{м}$ – стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости;

$\lambda = 0,02 \text{ м}$ – средняя длина волны;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 9620 \text{ м}$;

K_{TP} – относительная координата наивысшей точки профиля, $K_{TP} = 0,32$.

$$A = 1 / 0,00000007 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{(9620)^3 \cdot 0,32 (1 - 0,32)}} = 4,57$$

$P(\bar{g})$ – относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется по формуле():

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) + \Delta H(\bar{g})}{H_0} = \frac{3,65 + 0,46}{3,75} = 1,09$$

Рассчитываем процент времени ухудшения качества связи на участке РЛЛ из-за замираний, вызванных субрефракцией радиоволн на пролете.

Находим приращение просвета за счет рефракции радиоволн, существующей в течении 50% времени:

$$\Delta H(\bar{g}) = -(R_0/4)^2 \cdot \bar{g} \cdot k \cdot (1-k) = - (9,62 \cdot 10^3/4)^2 \cdot (-9 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,32 \cdot (1-0,32) = 0,46 \text{ м}$$

$P(g_0)$ – относительный просвет на интервале, при котором $V = V_{\text{мин}}$, определяется в зависимости от параметра μ , который для открытой трассы равен 1.

Из рисунка 4.3 находим $V_0 = -15$

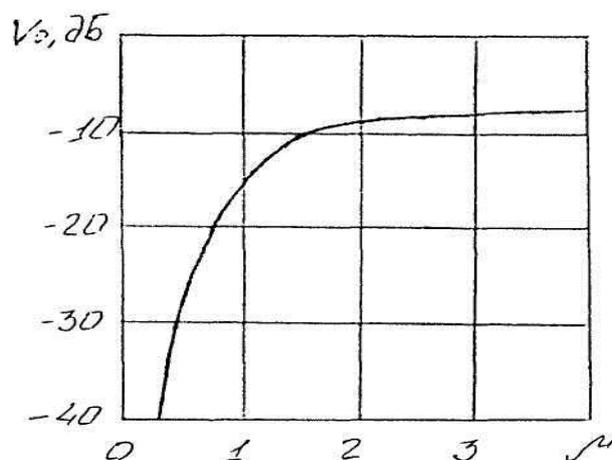


Рис. 4.3 Зависимость V_0 параметра препятствия

По формуле:
$$P(g_0) \frac{V_0 - V_{\min}}{V_0} = \frac{-15 - (-24,06)}{-15} = -0,6$$

$P(g_0) = -0,6$

Теперь, подставляя числовые значения в (4.16) определим Ψ :

$$\Psi = 2,31 \cdot 4,57 [1,09 - (-0,6)] = 17,9$$

Так как параметр пси больше чем 6, то составляющая, обусловленная экранирующим действием препятствий, равна 0.

$T_0(V_{\min}) = 0$

Расчёт составляющей $\sum_n T_{II}(V_{\min})$:

В общем случае величина $\sum_n T_{II}(V_{\min})$ определяется как:

$$\sum_n T_{II}(V_{\min}) = f \left[p(\bar{g}); A \right] \cdot \sqrt{\frac{V_{\min}^2 - (1 - \Phi)^2}{\Phi}} \cdot 100 \% ; (4.18)$$

По рис.4.4 определяем:

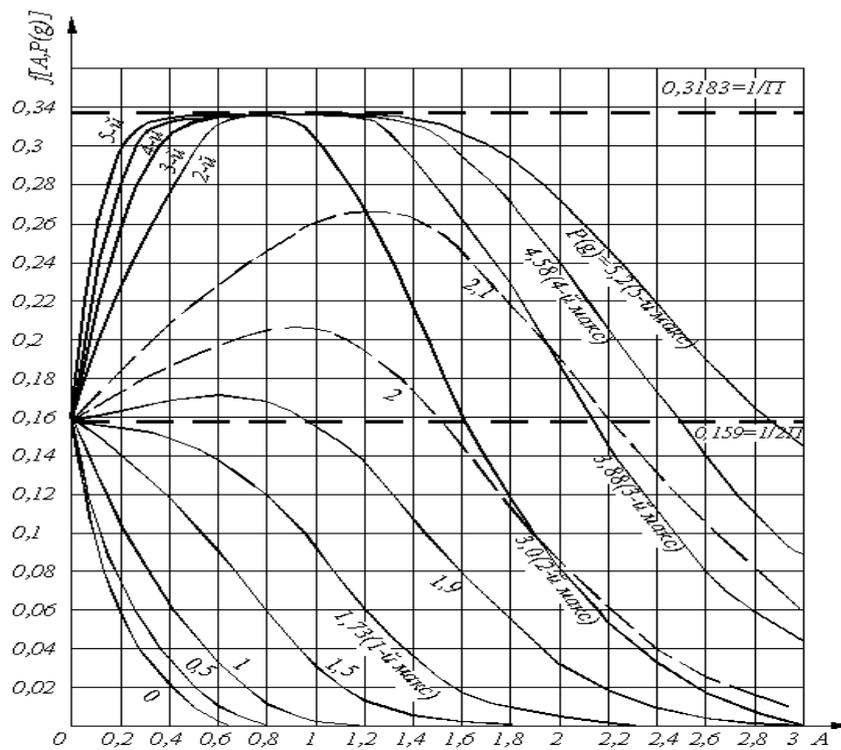


рис.4.4.

При $P(\bar{g}) = 1,09$ и $A = 4,57$, в такой ситуации замираний за счет интерференции волн отраженных от земной поверхности и прямой волны, нет.

Расчёт составляющее $T_{TP}(V_{МИН})$:

Величину $T_{TP}(V_{МИН})$ определим по соотношению:

$$T_{TP}(V_{МИН}) = V_{МИН}^2 \cdot T(\Delta \varepsilon); \quad (4.19), \text{ где}$$

$T(\Delta \varepsilon)$ – параметр, учитывающий вероятность возникновения многолучевых замираний, обусловленных отражениями радиоволн от слоистых неоднородностей тропосферы с перепадом диэлектрической проницаемости воздуха($\Delta \varepsilon$).

Значения $T(\Delta \varepsilon)$ представляются в % и определяются как:

$$T(\Delta \varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q \cdot R_0^2 \cdot \sqrt{f_0^3}; \quad (4.20), \text{ где}$$

Q – климатический коэффициент. В расчетах полагаем $Q = 1$;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 9,62$ км;

f_0 – рабочая частота, $f_0 = 15$ ГГц.

$$T(\Delta \varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 9,62^2 \cdot \sqrt{15^3} = 2,2$$

Далее, подставив полученные значения в (5.9[3]), вычислим $T_{TP}(V_{МИН})$:

$$T_{TP}(V_{МИН}) = V_{МИН}^2 \cdot T(\Delta \varepsilon) = (0,06)^2 \cdot 2,2 = 0,0008 \quad \%$$

Расчёт составляющей $T_D(V_{МИН})$:

Величина $T_D(V_{МИН})$ учитывается на ЦРРЛ, работающих на частотах выше 8 ГГц.

$$T_D(V_{МИН}) = 0,000001 \quad \%.$$

Суммарный процент времени замираний на пролете равен:

$$T_{ПР}(V_{МИН}) = T_0(V_{МИН}) + \sum_n T_{П}(V_{МИН}) + T_{TP}(V_{МИН}) + T_D(V_{МИН}); \quad (4.15)$$

$$T_{ПР}(V_{МИН}) = 0 + 0 + 0,0008 + 0,000001 = 0,000801 \quad \%$$

Определим устойчивость сигнала на заданном интервале:

$$У = 100 \quad \% - T_{ПР}(V_{МИН}) = 100 \quad \% - 0,000801 \quad \% = 99,999299 \quad \%$$

Проверка норм на неготовность

$$UR\partial = \frac{0,3L}{2500} \geq T_{ПР} - \text{норма на неготовность.} \quad (4.20)$$

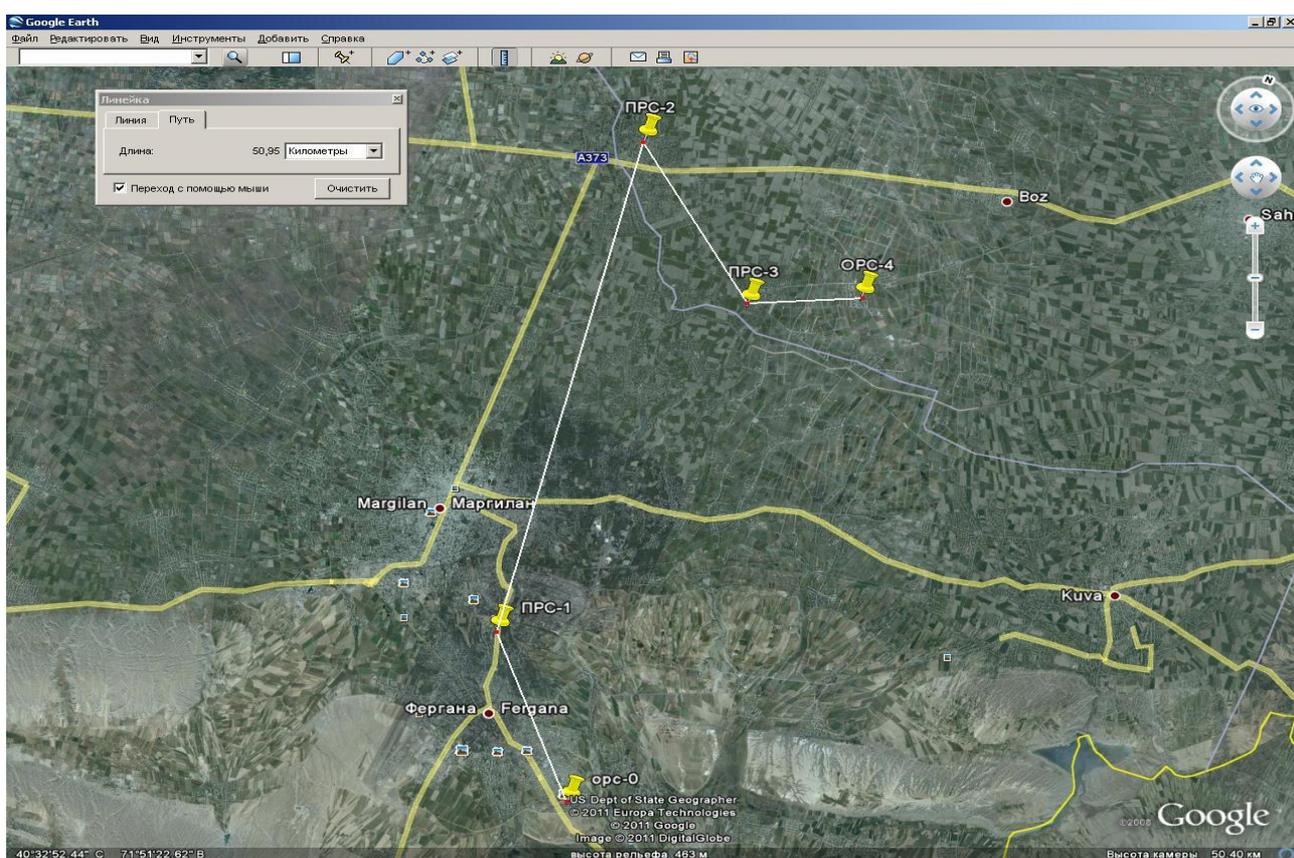
$$UR\partial = \frac{0,3 \cdot 9,62}{2500} = 1,1 \cdot 10^{-3} > 8 \cdot 10^{-4} \%$$

Нормы на неготовность выполняются.

4.2. Расчет пролета ФерПИ – Язъяван

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 4.3

Параметры станции	Обозначение	ФерПИ:РРС-2	Язъяван:РРС-3
Тип станции		промежуточная	промежуточная
Наличие опоры для подвеса антенн		существ. башня	проект. башня
Высота подвеса основной антенны:	H_{II}	33.5	24
Диаметр основной антенны, м	d	1.2	1.2
Коэффициент усиления основной антенны	G_i	37	37
Частота	f	7	7
Данные пролета:			
Прямой азимут		354°	
Обратный азимут		174°	
Длина пролёта, км	R_0	26.5	
Тип местности		Сухопутная, пересеченная	



Карта пролета

1. Построение профиля пролёта:

Расчеты производим для пролета заданной ЦРРЛ.

Рассчитаем условный нулевой уровень (УНУ) по формуле 4.1:

Рассчитываем профиль интервала по формуле(4.2).

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.4. По результатам расчетов построим профиль пролета, рис.4.5

Таблица 4.4. Результаты расчета профиля пролета.

K_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y_1	0	0,65	1,16	1,53	1,74	1,82	1,74	1,53	1,16	0,65	0
Y_2	559	548	543	533	516	507	499	494	486	480	474
Y	559	548,65	544,16	534,53	517,74	508,82	500,74	495,53	487,16	480,65	474

Расчёт высот подвеса антенн для относительного просвета, равного единице:

Определим величину просвета без учёта рефракции радиоволн:

λ – рабочая длина волны, определяемая как:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^9} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \text{ ()}, \text{ где}$$

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; ();

$f = 7 \cdot 10^9$ Гц – рабочая частота для аппаратуры «Eclipse»;

$$H_0 = \sqrt{\frac{26500 \cdot 0,042 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{3}} = 9,72 \text{ м}$$

Рассчитаем приращение просвета за счет рефракции, существующие в течении 80% времени (4.7).

\bar{g} – среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы, 1/м ($\bar{g} = -9 \cdot 10^{-8}$ 1/м).

$$\Delta H (\bar{g} + \sigma) = - \frac{(26500)^2}{4} \cdot (-9 + 7) \cdot 10^{-8} \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 0,88 \text{ м}$$

Итак, просвет равен:

$$H(0) = 9,72 - 0,88 = 8,84 \text{ м}$$

Произведем необходимые построения (рис.4.5) и графическим методом найдем высоты подвеса антенн h_1 и h_2

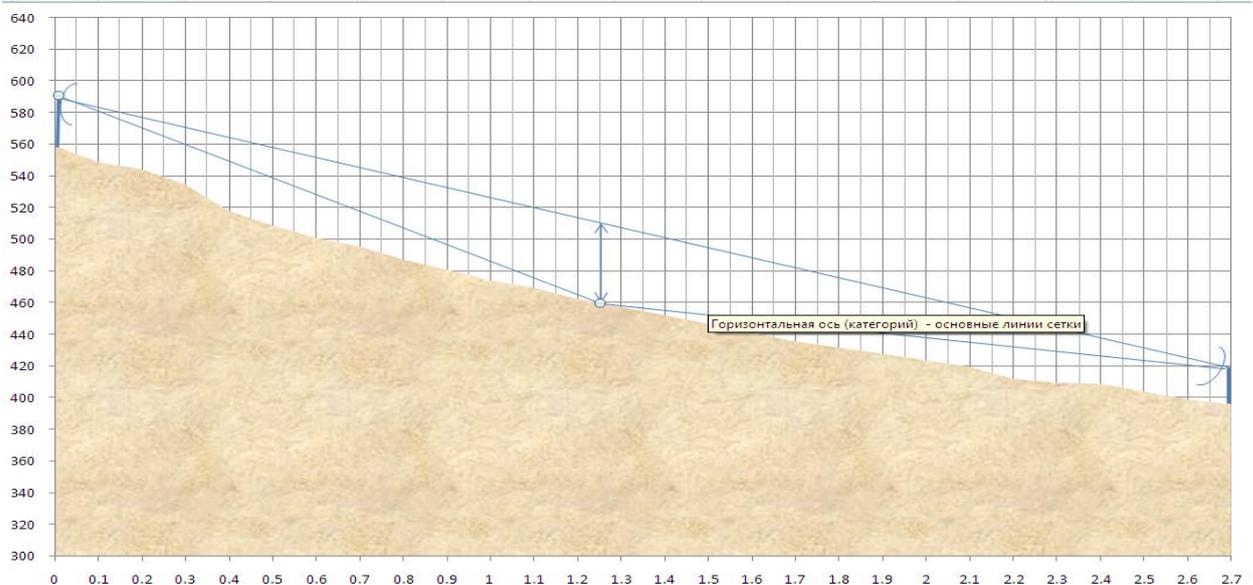


Рис.4.5. Продольный профиль пролета.

2. Расчет минимально допустимого множителя ослабления $V_{\text{МИН}}$ производят по формуле:

$$V_{\text{МИН}} = P_{\text{ПОР}} - P_{\text{ПД}} + W_0 - G_{\text{ПД}} - G_{\text{ПР}} - \eta_{\text{АВТ}} \text{ дБ}; \quad (4.9), \text{ где}$$

$P_{\text{ПОР}}$ – пороговая мощность сигнала на входе приемника, $P_{\text{ПОР}} = -75$ дБВт;

$P_{\text{ПД}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, $P_{\text{ПД}} = 24$ дБВт;

W_0 – затухание сигнала в свободном пространстве, дБВт, определяемое как:

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right), \text{ дБВт}; \quad (4.10)$$

Подставляя числовые значения в (9.5[5]) определим W_0 :

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right) = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 26500}{0,042} \right) = 138 \text{ дБ}$$

$G_{\text{ПД}}, G_{\text{ПР}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, величина

$$G_{\text{нд}}=G_{\text{пр}}=37 \text{ дБ}$$

Отсюда минимально допустимый множитель ослабления равен:

$$V_{\text{мин}} = -75 - 24 + 138 - 37 - 37 - 0,69 = -35,8 \text{ дБ}$$

3. Расчет необходимого запаса на замирание.

Уровень сигнала на входе приемника:

$$P_{\text{пр}} = 24 + 37 + 37 - 137,8 - 3,5 - 3,5 - 1 = -47,8 \text{ дБ}$$

Расчет запаса на замирания:

$$M = -47,8 - (-75) = 27,2$$

4. Расчет устойчивости связи на пролёте:

T_0 ($V_{\text{мин}}$) определяется в зависимости от параметра, который определяется по формуле:

$$\Psi = 2,31A[P(\bar{g}) - P(g_0)]; \quad (4.16), \text{ где}$$

Параметр А рассчитывается по формуле 4.17:

$\sigma = 7 \cdot 10^{-8} 1/\text{м}$ – стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости;

$\lambda = 0,042 \text{ м}$ – средняя длина волны;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 26500 \text{ м}$;

$K_{\text{ТР}}$ – относительная координата наивысшей точки профиля, $K_{\text{ТР}} = 0,5$.

$$A = 1 / 0,00000007 \cdot \sqrt{\frac{0,042}{(26500)^3 \cdot 0,5(1 - 0,5)}} = 1,37$$

$P(\bar{g})$ – относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется по формуле():

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) + \Delta H(\bar{g})}{H_0} = \frac{8,84 + 3,95}{9,72} = 1,31$$

Рассчитываем процент времени ухудшения качества связи на участке РЛЛ из-за замираний, вызванных субрефракцией радиоволн на пролете.

Находим приращение просвета за счет рефракции радиоволн, существующей в течении 50% времени:

$$\Delta H(\bar{g}) = -(R_0/4)^2 \cdot \bar{g} \cdot k \cdot (1-k) = - (26,5 \cdot 10^3/4)^2 \cdot (-9 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5) = 3,95 \text{ м}$$

$P(g_0)$ – относительный просвет на интервале, при котором $V = V_{\text{мин}}$, определяется в зависимости от параметра μ , который для открытой трассы равен 1.

Из рисунка 4.3 находим $V_0 = -15$

$$\text{По формуле: } P(g_0) \frac{V_0 - V_{\text{мин}}}{V_0} = \frac{-15 - (-35,87)}{-15} = -1,39$$

$$P(g_0) = -1,39$$

Теперь, подставляя числовые значения в (4.16) определим Ψ :

$$\Psi = 2,31 \cdot 1,37 \cdot [1,37 - (-1,39)] = 8,57$$

Так как параметр пси больше чем 6, то составляющая, обусловленная экранирующим действием препятствий, равна 0.

$$T_0(V_{\text{мин}}) = 0$$

Расчёт составляющей $\sum_n T_{\Pi}(V_{\text{мин}})$:

$$\sum_n T_{\Pi}(V_{\text{мин}}) = f \left[p(\bar{g}); A \right] \cdot \sqrt{\frac{35,87^2 - (1 - 0,2)^2}{0,2}} \cdot 100 \%$$

При $P(\bar{g}) = 1,31$ и $A = 4,57$, подкоренное выражение получается отрицательным, в такой ситуации замираний за счет интерференции волн отраженных от земной поверхности и прямой волны, нет.

Расчёт составляющей $T_{\text{ТР}}(V_{\text{мин}})$:

Q – климатический коэффициент. В расчетах полагаем $Q = 1$;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 9,62$ км;

f_0 – рабочая частота, $f_0 = 15$ ГГц.

$$T(\Delta \varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 26,5^2 \cdot \sqrt{7^3} = 5,3$$

Далее, подставив полученные значения в (4.19), вычислим $T_{\text{ТР}}(V_{\text{мин}})$:

$$T_{\text{ТР}}(V_{\text{мин}}) = V_{\text{мин}}^2 \cdot T(\Delta \varepsilon) = (0,016)^2 \cdot 5,3 = 0,0013 \%$$

Расчёт составляющей $T_{\text{Д}}(V_{\text{мин}})$:

Величина $T_d(V_{\min})$ учитывается на ЦРРЛ, работающих на частотах выше 8 ГГц. Для 7 ГГц данный параметр не учитывается.

Суммарный процент времени замираний на пролете равен:

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_o(V_{\text{мин}}) + \sum_n T_{\text{п}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) + T_d(V_{\text{мин}}); \quad (4.15)$$

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = 0 + 0 + 0,0013 = 0,0013 \quad \%$$

Определим устойчивость сигнала на заданном интервале:

$$У = 100 \quad \% - T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = 100 \quad \% - 0,0013 \quad \% = 99,9987 \quad \%$$

Проверка норм на неготовность

$$UR_{\partial} = \frac{0,3L}{2500} \geq T + T_o(V_{\min}) - \text{норма на неготовность.}$$

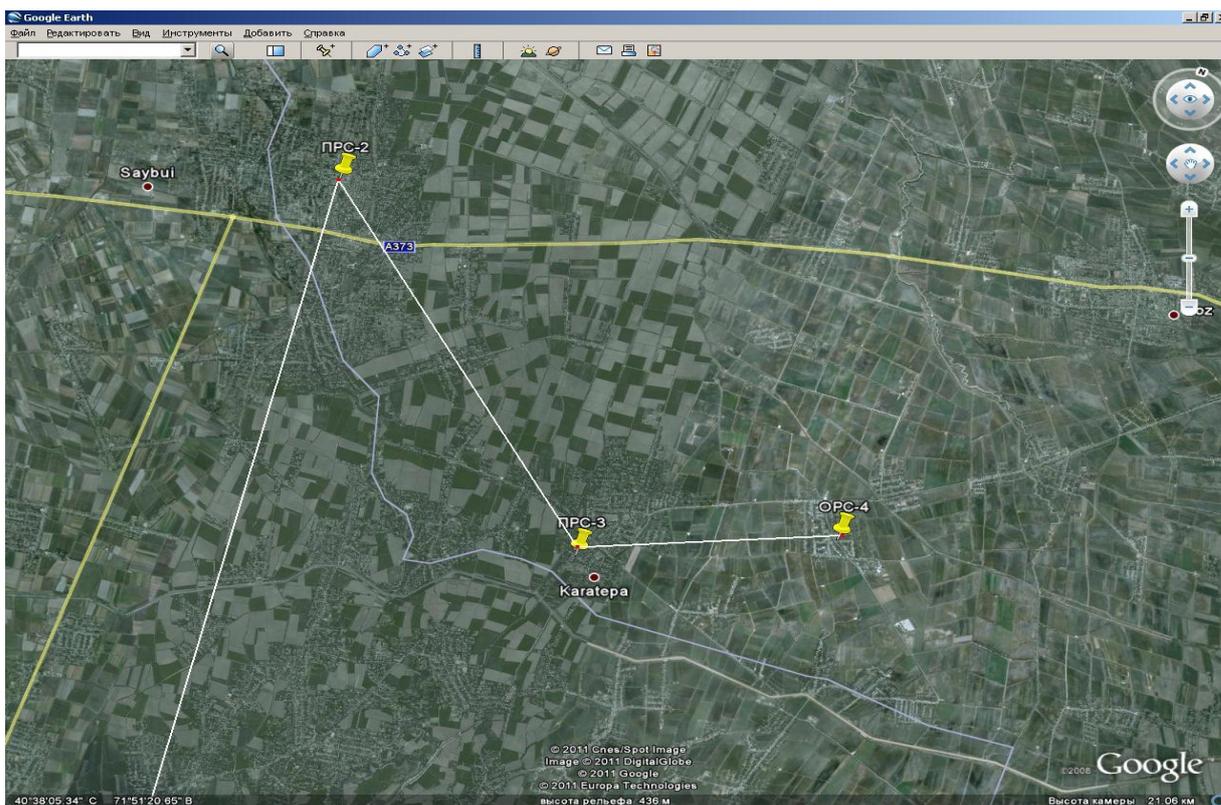
$$UR_{\partial} = \frac{0,3 \cdot 26,5}{2500} = 3 \cdot 10^{-3} > 1,3 \cdot 10^{-3} \quad \%$$

Нормы на неготовность выполняются.

4.3. Расчет пролета Язъяван – ОхунбабаевСВП

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 4.5.

Параметры станции	Обозначение	Язъяван:РРС-3	ОхунбабаевСВП:РРС-4
Тип станции		промежуточная	промежуточная
Наличие опоры для подвеса антенн		проект. башня	проект. башня
Высота подвеса основной антенны:	H_{II}	24	24
Диаметр основной антенны, м	d	0,6	0,6
Коэффициент усиления основной антенны	G_i	36,5	36,5
Частота	f	15	15
Данные пролета:			
Прямой азимут		132^0	
Обратный азимут		312^0	
Длина пролёта, км	R_0	9,76	
Тип местности		Сухопутная, пересеченная	



Карта пролета

1. Построение профиля пролёта:

Расчеты производим для пролета заданной ЦРРЛ.

Рассчитаем условный нулевой уровень (УНУ) по формуле 4.1:

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.6. По результатам расчетов построим профиль пролета, рис.4.6

Таблица 4.6 – Результаты расчета профиля пролета.

K_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
y_1	0	0,67	1,20	1,57	1,79	1,87	1,79	1,57	1,20	0,67	0
y_2	429	430	429	428	431	433	435	437	440	442	444
y	429	430,67	430,20	429,57	432,79	434,87	436,79	438,57	441,20	442,67	444

Расчёт высот подвеса антенн для относительного просвета, равного единице:

Определим величину просвета без учёта рефракции радиоволн:

λ – рабочая длина волны, определяемая как:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \text{ ()}, \text{ где}$$

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; ();

$f = 15 \cdot 10^9$ Гц – рабочая частота для аппаратуры «Eclipse»;

$$H_0 = \sqrt{\frac{9760 \cdot 0,02 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{3}} = 4,03 \text{ м}$$

Рассчитаем приращение просвета за счет рефракции, существующие в течении 80% времени (4.7)

\bar{g} – среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы, 1/м ($\bar{g} = -9 \cdot 10^{-8}$ 1/м).

$$\Delta H (\bar{g} + \sigma) = - \frac{(9760)^2}{4} \cdot (-9 + 7) \cdot 10^{-8} \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 0,12 \text{ м}$$

Итак, просвет равен:

$$H(0) = 4,03 - 0,12 = 3,91 \text{ м}$$

Произведем необходимые построения (рис.4.6) и графическим методом найдем высоты подвеса антенн h_1 и h_2

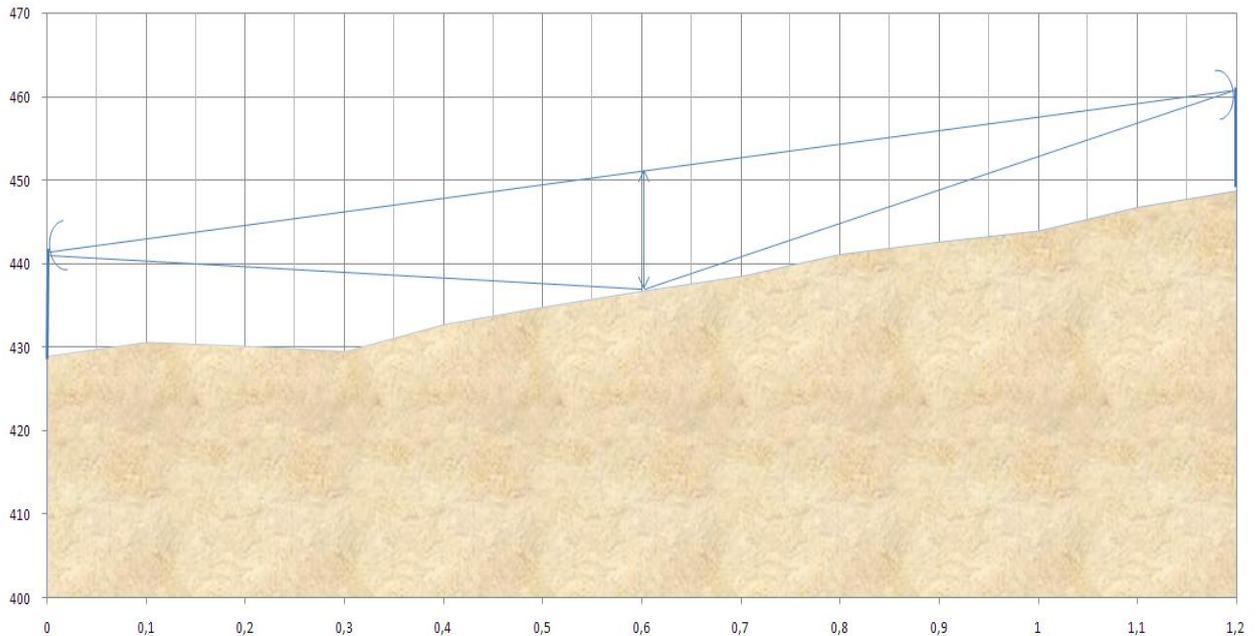


Рис.4.6. Продольный профиль пролета.

2. Расчет минимально допустимого множителя ослабления $V_{\text{МИН}}$ производят по формуле:

$$V_{\text{МИН}} = P_{\text{ПОР}} - P_{\text{ПД}} + W_0 - G_{\text{ПД}} - G_{\text{ПР}} - \eta_{\text{АВТ}} \text{ дБ}; \quad (4.9), \text{ где}$$

$P_{\text{ПОР}}$ – пороговая мощность сигнала на входе приемника, $P_{\text{ПОР}} = -87$ дБВт;

$P_{\text{ПД}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, $P_{\text{ПД}} = 25$ дБВт;

W_0 – затухание сигнала в свободном пространстве, дБВт, определяемое как:

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right), \text{ дБВт}; \quad (4.10)$$

Подставляя числовые значения в (9.5[5]) определим W_0 :

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right) = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 9760}{0,042} \right) = 135,7 \text{ дБ}$$

$G_{\text{ПД}}, G_{\text{ПР}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, величина

$$G_{\text{ПД}} = G_{\text{ПР}} = 36,5 \text{ дБ}$$

Отсюда минимально допустимый множитель ослабления равен:

$$V_{\text{мин}} = -87 - 25 + 135,7 - 36,5 - 36,5 - 0,69 = -49,9 \text{ дБ}$$

3. Расчет необходимого запаса на замирание.

Уровень сигнала на входе приемника:

$$P_{\text{пр}} = 25 + 36,5 + 36,5 - 135,7 - 0 - 0 - 1 = -38,7 \text{ дБ}$$

Расчет запаса на замирания:

$$M = -38,7 - (-87) = 48,3$$

4. Расчет устойчивости связи на пролёте:

Суммарная устойчивость связи на пролете РРЛ характеризуется суммарным процентом времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально допустимого и определяется по формуле:

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_0(V_{\text{мин}}) + \sum_n T_{\text{п}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{д}}(V_{\text{мин}}); \quad (4.15), \text{ где}$$

Расчет составляющей $T_0(V_{\text{мин}})$:

$T_0(V_{\text{мин}})$ определяется в зависимости от параметра, который определяется по формуле:

$$\Psi = 2,31A[P(\bar{g}) - P(g_0)]; \quad (4.16), \text{ где}$$

Параметр А рассчитывается по формуле 4.17:

$\sigma = 7 \cdot 10^{-8} 1/\text{м}$ – стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости;

$\lambda = 0,042 \text{ м}$ – средняя длина волны;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 9760 \text{ м}$;

$K_{\text{тр}}$ – относительная координата наивысшей точки профиля, $K_{\text{тр}} = 0,5$.

$$A = 1 / 0,00000007 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{(9760)^3 \cdot 0,5(1 - 0,5)}} = 4,19$$

$P(\bar{g})$ – относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется по формуле:

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) + \Delta H(\bar{g})}{H_0} = \frac{3,91 + 0,54}{4,03} = 1,1$$

Рассчитываем процент времени ухудшения качества связи на участке РЛЛ из-за замираний, вызванных субрефракцией радиоволн на пролете.

Находим приращение просвета за счет рефракции радиоволн, существующей в течении 50% времени:

$$\Delta H(\bar{g}) = -(R_0/4)^2 \cdot \bar{g} \cdot k \cdot (1-k) = - (9760 \cdot 10^3 / 4)^2 \cdot (-9 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5) = 0,54 \text{ м}$$

$P(g_0)$ – относительный просвет на интервале, при котором $V = V_{\text{мин}}$, определяется в зависимости от параметра μ , который для открытой трассы равен 1.

Из рисунка 4.3 находим $V_0 = -15$

По формуле:
$$P(g_0) \frac{V_0 - V_{\text{мин}}}{V_0} = \frac{-15 - (-49,9)}{-15} = -2,32$$

$$P(g_0) = -1,39$$

Теперь, подставляя числовые значения в (4.16) определим Ψ :

$$\Psi = 2,31 \cdot 1,37 \cdot [1,1 - (-2,32)] = 33,2$$

Так как параметр пси больше чем 6, то составляющая, обусловленная экранирующим действием препятствий, равна 0.

$$T_0(V_{\text{мин}}) = 0$$

Расчёт составляющей $\sum_n T_n(V_{\text{мин}})$

При $P(\bar{g}) = 1,1$ и $A = 4,19$, в такой ситуации замираний за счет интерференции волн отраженных от земной поверхности и прямой волны, нет.

Расчёт составляющей $T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}})$:

Q – климатический коэффициент. В расчетах полагаем $Q = 1$;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 9,62$ км;

f_0 – рабочая частота, $f_0 = 15$ ГГц.

$$T(\Delta \varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 9,76^2 \cdot \sqrt{15^3} = 2,26$$

Далее, подставив полученные значения в (4.19), вычислим $T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}})$:

$$T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) = V_{\text{мин}}^2 \cdot T(\Delta \varepsilon) = (0,003)^2 \cdot 2,26 = 0,000023 \quad \%$$

Расчёт составляющей $T_d(V_{\text{мин}})$:

Величина $T_d(V_{\text{мин}})$ учитывается на ЦРРЛ, работающих на частотах выше 8 ГГц.

$$T_d(V_{\text{мин}}) = 0,000001 \text{ \%}.$$

Суммарный процент времени замираний на пролете равен:

$$T_{\text{ПР}}(V_{\text{МИН}}) = T_0(V_{\text{МИН}}) + \sum_n T_{\text{П}}(V_{\text{МИН}}) + T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}}) + T_d(V_{\text{МИН}}); \quad (4.15)$$

$$T_{\text{ПР}}(V_{\text{МИН}}) = 0 + 0 + 0,000023 + 0,000001 = 0,000024 \text{ \%}$$

Определим устойчивость сигнала на заданном интервале:

$$Y = 100 \text{ \%} - T_{\text{ПР}}(V_{\text{МИН}}) = 100 \text{ \%} - 0,000024 \text{ \%} = 99,999976 \text{ \%}$$

Проверка норм на неготовность

$$UR_{\partial} = \frac{0,3L}{2500} \geq T + T_0(V_{\text{мин}}) - \text{норма на неготовность.}$$

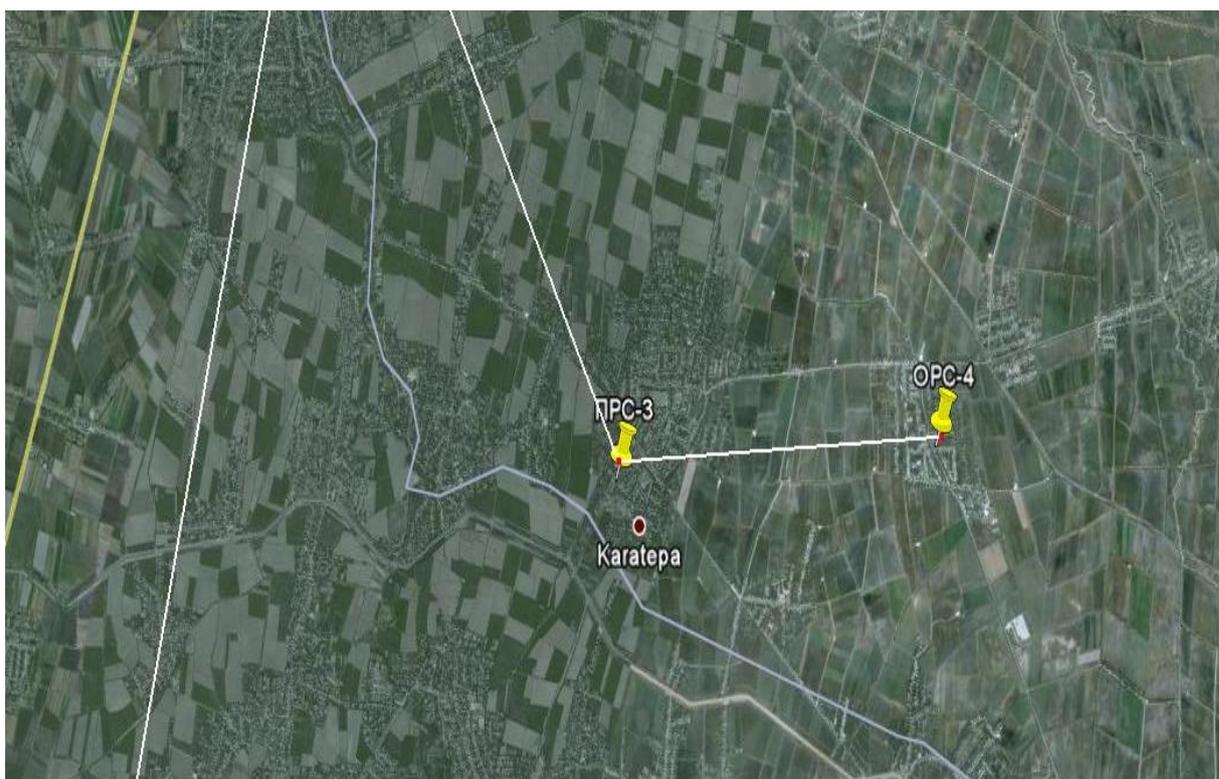
$$UR_{\partial} = \frac{0,3 \cdot 9,76}{2500} = 1 \cdot 10^{-3} > 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ \%}$$

Нормы на неготовность выполняются.

4.4. Расчет пролета ОхунбабаевСВП – ХолматободСВП

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 4.7.

Параметры станции	Обозначение	ОхунбабаевСВП:PPC-4	ХолматободСВП:PPC-5
Тип станции		промежуточная	оконечная
Наличие опоры для подвеса антенн		проект. башня	проект. башня
Высота подвеса основной антенны:	H_{II}	22,5	22,5
Диаметр основной антенны, м	d	0,6	0,6
Коэффициент усиления основной антенны	G_i	36,5	36,5
Частота	f	15	15
Данные пролета:			
Прямой азимут		66°	
Обратный азимут		246°	
Длина пролёта, км	R_0	5,14	
Тип местности		Сухопутная, пересеченная	



Карта пролета

1. Построение профиля пролёта:

Расчеты производим для пролета заданной ЦРРЛ.

Рассчитаем условный нулевой уровень (УНУ) по формуле 4.1:

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.8. По результатам расчетов построим профиль пролета, рис.4.7

Таблица 4.8 – Результаты расчета профиля пролета.

K_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
y_1	0	0,67	1,20	1,57	1,79	1,87	1,79	1,57	1,20	0,67	0
y_2	429	430	429	428	431	433	435	437	440	442	444
y	429	430,67	430,20	429,57	432,79	434,87	436,79	438,57	441,20	442,67	444

Расчёт высот подвеса антенн для относительного просвета, равного единице:

Определим величину просвета без учёта рефракции радиоволн:

λ – рабочая длина волны, определяемая как:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad (1), \text{ где}$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость света; (1);

$f = 15 \cdot 10^9 \text{ Гц}$ – рабочая частота для аппаратуры «Eclipse»;

$$H_0 = \sqrt{\frac{5140 \cdot 0,02 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{3}} = 2,92 \text{ м}$$

Рассчитаем приращение просвета за счет рефракции, существующие в течении 80% времени

\bar{g} – среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы, 1/м ($\bar{g} = -9 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$).

$$\Delta H (\bar{g} + \sigma) = - \frac{(5740)^2}{4} \cdot (-9 + 7) \cdot 10^{-8} \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 0,03 \text{ м}$$

Итак, просвет равен:

$$H(0) = 2,92 - 0,03 = 2,89 \text{ м}$$

Произведем необходимые построения (рис.4) и графическим методом найдем высоты подвеса антенн h_1 и h_2

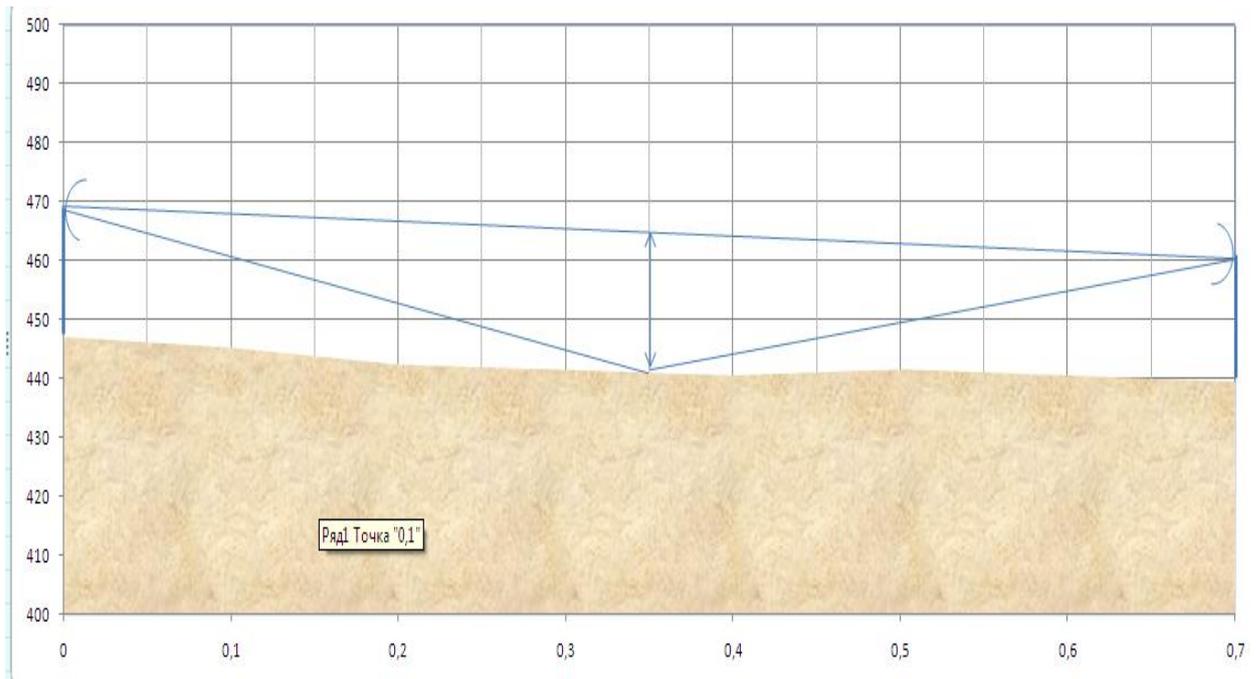


Рис.4.7. Продольный профиль пролета.

2.Расчёт минимально-допустимого множителя ослабления:

Расчет минимально допустимого множителя ослабления $V_{\text{мин}}$ производят по формуле:

$$V_{\text{мин}} = P_{\text{пор}} - P_{\text{пд}} + W_0 - G_{\text{пд}} - G_{\text{пр}} - \eta_{\text{авт}} \text{ дБ}; \quad (4.9), \text{ где}$$

$P_{\text{пор}}$ – пороговая мощность сигнала на входе приемника, $P_{\text{пор}} = -87$ дБВт;

$P_{\text{пд}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, $P_{\text{пд}} = 25$ дБВт;

W_0 – затухание сигнала в свободном пространстве, дБВт, определяемое как:

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right), \text{ дБВт}; \quad (4.10)$$

Подставляя числовые значения в (9.5[5]) определим W_0 :

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right) = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 5140}{0,042} \right) = 130,1 \text{ дБ}$$

$G_{\text{пд}}, G_{\text{пр}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, величина

$$G_{\text{нд}}=G_{\text{пр}}=36,5 \text{ дБ}$$

Отсюда минимально допустимый множитель ослабления равен:

$$V_{\text{мин}} = -87 - 25 + 130,1 - 36,5 - 36,5 - 0,69 = -55,5 \text{ дБ}$$

3. Расчет необходимого запаса на замирание.

Уровень сигнала на входе приемника:

$$P_{\text{пр}} = 25 + 36,5 + 36,5 - 130,1 - 0 - 0 - 1 = -34,1 \text{ дБ}$$

Расчет запаса на замирания:

$$M = -34,1 - (-87) = 52,9$$

4. Расчет устойчивости связи на пролёте:

Суммарная устойчивость связи на пролете РРЛ характеризуется суммарным процентом времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально допустимого и определяется по формуле:

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_0(V_{\text{мин}}) + \sum_n T_n(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) + T_d(V_{\text{мин}}); \quad (4.15), \text{ где}$$

Расчёт составляющей $T_0(V_{\text{мин}})$:

$T_0(V_{\text{мин}})$ определяется в зависимости от параметра, который определяется по формуле:

$$\Psi = 2,31A[P(\bar{g}) - P(g_0)]; \quad (4.16), \text{ где}$$

Параметр А рассчитывается по формуле 4.17

$\sigma = 7 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$ – стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости;

$\lambda = 0,02 \text{ м}$ – средняя длина волны;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 5140 \text{ м}$;

$K_{\text{тр}}$ – относительная координата наивысшей точки профиля, $K_{\text{тр}} = 0,5$.

$$A = 1 / 0,00000007 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{(5140)^3 \cdot 0,5(1 - 0,5)}} = 10,9$$

$P(\bar{g})$ – относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется по формуле():

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) + \Delta H(\bar{g})}{H_0} = \frac{2,89 + 0,15}{2,92} = 1,03$$

Рассчитываем процент времени ухудшения качества связи на участке РЛЛ из-за замираний, вызванных субрефракцией радиоволн на первом пролете.

Находим приращение просвета за счет рефракции радиоволн, существующей в течении 50% времени:

$$\Delta H(\bar{g}) = -(R_0/4)^2 \cdot \bar{g} \cdot k \cdot (1-k) = - (51140 \cdot 10^3 / 4)^2 \cdot (-9 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5) = 0,15 \text{ м}$$

$P(g_0)$ – относительный просвет на интервале, при котором $V = V_{\text{мин}}$, определяется в зависимости от параметра μ , который для открытой трассы равен 1.

Из рисунка 4.3 находим $V_0 = -15$

По формуле:
$$P(g_0) \frac{V_0 - V_{\text{мин}}}{V_0} = \frac{-15 - (-55,5)}{-15} = -2,7$$

$$P(g_0) = -2,7$$

Теперь, подставляя числовые значения в (4.16) определим Ψ :

$$\Psi = 2,31 \cdot 10,9 \cdot [1,03 - (-2,7)] = 94,7$$

Так как параметр пси больше чем 6, то составляющая, обусловленная экранирующим действием препятствий, равна 0.

$$T_0(V_{\text{мин}}) = 0$$

Расчёт составляющей $\sum_n T_{II}(V_{\text{мин}})$:

При $P(\bar{g}) = 1,03$ и $A = 10,9$, в такой ситуации замираний за счет интерференции волн отраженных от земной поверхности и прямой волны, нет.

Расчёт составляющей $T_{TP}(V_{\text{мин}})$:

Q – климатический коэффициент. В расчетах полагаем $Q = 1$;

R_0 – длина пролета, $R_0 = 5,14$ км;

f_0 – рабочая частота, $f_0 = 15$ ГГц.

$$T(\Delta \varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 5,14^2 \cdot \sqrt{15^3} = 0,6$$

Далее, подставив полученные значения в (4.19), вычислим $T_{TP}(V_{\text{мин}})$:

$$T_{TP}(V_{\text{мин}}) = V_{\text{мин}}^2 \cdot T(\Delta \varepsilon) = (0,003)^2 \cdot 2,26 = 2 \cdot 10^{-6} \%$$

Расчёт составляющей $T_d(V_{\text{мин}})$:

Величина $T_d(V_{\text{мин}})$ учитывается на ЦРРЛ, работающих на частотах выше 8 ГГц.

$$T_d(V_{\text{мин}}) = 0,000001 \%$$

Суммарный процент времени замираний на пролете равен:

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_0(V_{\text{мин}}) + \sum_n T_{\text{п}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}}) + T_d(V_{\text{мин}}); \quad (4.15)$$

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = 0 + 0 + 0,000002 + 0,000001 = 0,000003 \%$$

Определим устойчивость сигнала на заданном интервале:

$$У = 100 \% - T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = 100 \% - 0,000003 \% = 99,999997 \%$$

Проверка норм на неготовность

$$UR_{\partial} = \frac{0,3L}{2500} \geq T + T_0(V_{\text{мин}}) - \text{норма на неготовность.}$$

$$UR_{\partial} = \frac{0,3 \cdot 5,14}{2500} = 6 \cdot 10^{-4} > 3 \cdot 10^{-6} \%$$

Нормы на неготовность выполняются.

5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Основной принцип обеспечения безопасности – соблюдение организациями, эксплуатирующими вещательные станции, установленных «Санитарными нормами и правилами» предельно допустимых уровней электромагнитного поля. Каждая радио- и телевещательная станция имеет так называемый Стандартный паспорт, в котором определены границы санитарно-защитной зоны. Только при наличии этого документа территориальные органы, выполняющие контролирующие функции, разрешают эксплуатировать такие объекты. Периодически эти же органы выполняют инструментальную проверку электромагнитной обстановки на предмет ее соответствия установленным предельно допустимым уровням и нормам. В случае обнаружения отклонений эти органы имеют право обращаться в соответствующие инстанции, добиваясь приведения электромагнитной обстановки в соответствии с паспортной.

С целью обеспечения безопасности населения в пределах санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки запрещается строительство жилых зданий, лечебных, курортных, детских дошкольных и средних учебных заведений, предназначенных для круглосуточного пребывания людей. При необходимости должны приниматься меры по экранированию отдельных объектов, а также по защите от вторичного излучения, создаваемого элементами конструкции, зданиями, коммуникациями, линиями электропроводки и т.д.

5.1. Электромагнитные поля и излучения

Электромагнитные излучения различных частот находят широкое применение в связи. Источниками электромагнитных излучений в радиотехнических установках являются генераторы к антенне, антенные устройства, ВЧ трансформаторы, фидерные линии, в установках для термообработки материалов – электромагниты, конденсаторы. При работе

указанных устройств в окружающем их пространстве создаются электромагнитные поля (ЭМП). Наряду с полезным действием ЭМП проникая в организм человека, могут оказывать на него неблагоприятное влияние и быть причиной профессиональных заболеваний. Они могут вызвать расстройство нервной, эндокринной и сердечно сосудистой систем, у человека понижается кровяное давление, замедляется пульс, тормозятся рефлексy, изменяется состав крови. Влияние ЭМП сказывается также в тепловом воздействии на организм. Поглощённая телом человека энергия ЭМП, превращается в тепловую, вызывая перегрев тела и отдельных органов, что может привести к их заболеванию. Перегрев тела более чем на 1⁰С недопустим.

Особенно подвержены воздействию ЭМП мозг, глаза, кишечник, почки и семенники. Субъективное проявление воздействия ЭМП выражается в повышенной утомляемости, головной боли, раздражительности, сонливости, отдышке, ухудшению зрения, повышении температуры тела.

Степень поражения при воздействии ЭМП зависит от интенсивности, частоты и времени действия излучения. Чем больше интенсивность, частота и время действия ЭМП, тем сильнее воздействие на организм человека.

С целью предупреждения вредных воздействий ЭМП на человека, установлены предельно допустимые значения напряжённости и ППЭ ЭМП на рабочих местах. Для диапазонов волн ВЧ и УВЧ нормируется напряжённость электрической (Е) и магнитной (Н) составляющих ЭМП.

Для диапазонов волн СВЧ нормируется предельно допустимая плотность потока энергии (ППЭ) ЭМП, которая устанавливается исходя из допустимого значения энергетической нагрузки на организм W и времени пребывания в зоне облучения T.

$$\text{ППЭ} = W/T$$

На рабочих местах и в местах возможного пребывания персонала
Предельно Допустимая Плотность (ПДП) потока энергии ЭМП в диапазоне
частот 300 МГц – 300 ГГц

ПДП $\leq 10 \text{ Вт/м}^2$ или 10^3 мкВт/см^2 , а при наличии рентгеновского
излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях $> 28^\circ\text{C}$ –
 1 Вт/м^2 или 100 мкВт/см^2

Контроль интенсивности облучения должен проводиться не менее 1 раза
в год, а также при вводе в действие новых или реконструкции старых
генераторных установок и изменение условий труда. Измерения проводятся
при максимальной мощности в трёх точках на расстоянии 0,5 1 1,7 м от пола.

Для измерений электрической магнитной составляющих ЭМП
используется прибор ИЭМП – 1, для измерения плотности потока мощности –
приборы ПО – 1, ПО – 3, ПО – 9, ПО – 13, с помощью этих приборов можно
установить зону, в которой интенсивность ЭМП превышает предельно
допустимые нормы и принять соответствующие меры защиты.

К основным способам и средствам защиты от воздействия ЭМП
относятся:

1. Организационные меры защиты
2. Уменьшение интенсивности излучения от источника
3. Экранирование источника излучения
4. Экранирование или удаление рабочего места от источника излучения
5. Применение средств сигнализации
6. Применение средств индивидуальной защиты

В зависимости от конкретных условий работы может применяться одно
из этих средств или любая их комбинация.

Организационные меры – это рациональное размещение оборудования, установление определённых режимы работы установок и обслуживающего персонала.

К работе с установками ВЧ и СВЧ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие мед. осмотр, обучение и сдавшие экзамен по ТБ. Ежегодно обслуживающий персонал проходит мед. осмотр.

Если работа проходит в условиях повышенной опасности, при дозе облучения, превышающей предельно допустимые нормы, то для работников устанавливается укороченный рабочий день и дополнительный отпуск.

2. Уменьшение интенсивности излучения источника достигается применением согласованных нагрузок, поглотителей мощности.

При регулировке и испытании генераторов СВЧ, снятии частотных и амплитудных характеристик передатчиков последние подключаются не к антенне, а к нагрузке, в которой происходит затухание Электромагнитных волн.

Т. о. Исключается их излучение в окружающее пространство через антенну. Нагрузки (эквивалент антенны) применяемые в настоящее время, позволяют ослабить ВЧ энергию на 40-60 Дб.

При проверке работы приёмного, индикаторного, антенно-фидерного трактов, систем автоматики и управления радиостанцией можно воспользоваться маломощными имитаторами сигналов. В этом случае работает вся система станций, кроме передающего устройства, что исключает возможность облучения работающих.

3. Источник излучения экранируется с помощью спец. экранов. Защитные свойства экранов основаны на отражении и поглощении электромагнитных излучений различными материалами.

Типы экранов: сплошные, металлические, сетчатые металлические, мягкие металлические с х/б или другой тканью, поглощающие. Все экраны, кроме поглощающих обеспечивают отражение СВЧ энергии.

Поскольку глубина проникновения ЭМ энергии ВЧ с СВЧ очень мала, экран в виде замкнутых поверхностей из металлических листов 0,5 – 1 мм при толщине 0,01 мм поле СВЧ ослабляется на 50 дБ (100000 раз).

Легкий экран - фольга.

Сетчатый экран хуже экранирует на 20 – 30 дБ (100 – 1000 раз).

Эластичные экраны для экранных штор, драпировок, чехлов, спец. одежды, (комбинезоны, халаты, капюшоны) защищают от СВЧ энергии.

Для эластичных экранов х/б ткань в структуре которой тонкие металлические нити образуют сетку 0,5x0,5 мм, d проволоки 0,08 – 0,5 мм, защитные свойства сохраняются при t –ре - 40⁰С до + 100⁰С, R = 98%.

Прозрачные экраны из спец. прозрачного оптического стекла покрытого двуокисью олова даёт ослабление до 30 дБ в диапазоне волн 0,8 – 150 см.

Лучшими отражающими свойствами обладают металлы, имеющие высокую электропроводность.

Лучшими поглощающими свойствами обладают диэлектрики, имеющие большие потери.

Отражающие экраны из стали или меди, сплошные или сеточные. Листы экранов должны иметь надёжный контакт между собой. Экраны обязательно заземляются.

Сетчатые экраны обладают несколько худшими свойствами.

Поглощающие экраны выполняются из спец. резины. Полное поглощение электромагнитных волн возможно в материалах, для которых диэлектрическая постоянная и магнитная проницаемость равны. Эти требования не всегда соблюдаются и поглощающие экраны снабжаются

коническими шипами, увеличивающими поглощаемую способность. Если по технологическим причинам невозможно экранировать источник излучения, то экранируют рабочее место, или удаляют его на безопасное расстояние (дист. управление работой передатчика).

При превышении уровней интенсивности ЭМП по отношению к допустимым используются индивидуальные средства защиты. Это радиозащитные очки и спец. халаты с капюшонами или комбинезоны. Стёкла очков оР 3-5, покрыты плёнкой двуокиси олова. Очки ослабляют энергию на 30 дБ. Халаты и комбинезоны изготавливают из металлизированной ткани. Ослабляется излучение в этом случае за счёт отражающих свойств.

Радиоактивные вещества используются в контрольно-измерительной аппаратуре, извещателях пожарной сигнализации.

Рентгеновское излучение возникает в электровакуумных приборах, в которых высокие напряжения (десятки киловольт). Это лампа бегущей волны, электронно-лучевые трубки.

Источник облучения может быть внешним и внутренним, т.к. радиоактивные вещества могут попадать внутрь организма, через дыхательные пути и пищеварительный тракт (при вдыхании воздуха или потребления воды, продуктов, загрязнённых радиоактивными веществами).

В поражённом организме нарушается обмен веществ, функции УНС, желез внутренней секреции, кроветворных органов. В результате развивается лучевая болезнь, которая может быть острой и хронической в виде общих и местных поражений.

Общие – лейкомия (белокровие).

Местные – злокачественные опухоли, заболевания кожи. Ионизирующие излучения воздействуют на генетический код клеток, вызывая их необратимые изменения, что приводит к болезни в последующих поколениях.

Степень поражения человека определяется значением поглощённой дозы, видом излучения, временем воздействия, индивидуальной чувствительностью.

Нормами радиационной безопасности (НРБ – 69) установленные предельно допустимые дозы (ПДД) внешнего и внутреннего облучения:

для лиц непосредственно работающих с источником ионизирующих излучений (категория А),

находящихся вблизи источников излучения (категория Б), и для всего населения в целом (категория В).

Для категории А при облучении всего тела ПДД не должна превышать 3 бэр при однократном воздействии в течении квартала и 5 бэр при воздействии в течении всего года.

Для категории Б – 0,5 бэр в год.

Для категории В – 0,05 бэр в год.

Для контроля доз ионизирующих излучений используются методы : ионизационный, фотографический, химический, суинциляционный.

Все дозиметрические приборы делятся на две группы:

А) для количественных измерений дозы и мощности дозы облучения

Б) Индикаторные приборы для быстрого обнаружения источников излучения

Защита от воздействия радиоактивных веществ и ионизирующих излучений возможна с помощью ряда технических и организационных мероприятий.

Технические меры – экранирование, герметизация, удаление от источника излучения на большое расстояние.

Установка экранов у источников излучения существенно снижает дозы облучения.

Размеры, толщина и материал экранов выбирается в зависимости от вида излучения.

Защита от альфа частиц - слой воздуха в несколько см, одежда, перчатки.

От бета излучений - слой воздуха в несколько метров или слой алюминия в несколько миллиметров, т.к. эти виды излучений обладают малой проникающей способностью.

Гамма и рентгеновские излучения обладают большой проникающей способностью, поэтому для экранов применяют материалы с большими атомными весами (свинец, вольфрам) т.к. в этих материалах излучение поглощается наиболее интенсивно. Толщина экрана выбирается по спец. таблицам в зависимости от энергии гамма – излучений и кратности ослабления и колеблется в пределах от нескольких мм до десятков сантиметров.

Экраны могут быть стационарные, передвижные, устанавливаемые на рабочих местах.

Защитой от внутреннего облучения служит герметизация радиоактивных веществ. Радиоактивные вещества помещаются в специальные емкости – контейнеры, на них обязательно должен быть знак радиоактивной опасности.

Индивидуальные средства защиты халаты, комбинезоны, шапочки, шлемы, резиновые перчатки, очки, респираторы, специальные пневмо-костюмы с подачей воздуха.

Индивидуальные средства защиты эффективны при воздействии альфа –излучений, и малоэффективны при воздействии гамма – излучений.

Периодически защитные средства подвергаются дезактивации. Лица, работающие с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений пользуются дополнительными льготами (сокращённая рабочая неделя, дополнительный отпуск).

5.2. Радиоактивные вещества

Все радиоактивные вещества (РВ) имеют свой период полураспада, т.е. время в течении которого исходное количество радиоактивных ядер уменьшается вдвое. Скорость распада неизменна и присуща только данному изотопу при любых физических или химических воздействий на него.

Так для :

йода 131 - 8,04 дня

стронция 90 – 28 лет

цезия 137 - 30 лет

плутония 239 – 24 100 лет

урана 238 – 4,5 млрд. лет

Альфа частицы задерживаются листом бумаги, их пробег в воздухе 8 – 9 см, в тканях живого организма доли мм, т.е. эти частицы не способны проникнуть через слой кожи, но ионизирующая способность очень велика и опасность их воздействия резко возрастает при попадании внутрь организма с водой, пищей, воздухом, через открытую рану.

Бета частицы – большей проникающей способностью, но меньшей ионизирующей. Пробег в воздухе до 15м., в тканях организма 1 – 2 см.

Гамма излучение распространяется со скоростью света, обладает наибольшей глубиной проникновения, его может ослабить только свинец или бетонная стена.

Бер – биологический эквивалент рентгена. Для оценки радиационной обстановки на местности в рабочем или жилом помещении используют экспозиционную дозу облучения, на практике она измеряется в рентгенах (Р).

$$1\text{Р} = 0,95 \text{ рад.}$$

Так если уровень радиации 1Р/час т.е. за 1 час нахождения на местности человек получил дозу = 1Р.

Доза облучения от всех естественных источников ионизирующего излучения в год около 200мР, но в разных регионах Земли от 50 до 10^3 мР в год.

Диапазон ВЧ

$$E < 20 \text{ В/м}$$

$$H < 5 \text{ а/м}$$

Для помещений р/станций в диапазоне f от 0, 15 до 30 МГц величина излучений

$$E < 20 \text{ В/м}$$

Диапазон УВЧ (УКВ)

Для УВЧ установок помещений р/перед. станций и ТВ станций $E < 5 \text{ В/м}$

Диапазон СВЧ

Интенсивность облучения см. волнами оценивается по величине ППЭ

$0,01 \text{ МВт/см}^2$ (10 мкВт/см^2) – при облучении в течении рабочего дня

$0,1 \text{ МВт/см}^2$ (100 мкВт/см^2) – 2 часа в день

1 МВт/см^2 (100 мкВт/см^2) - при облучении 15 –20 мин. за рабочий день при условии обязательного пользования защитными очками

При облучении от нескольких МВт/см² и более появится тепловой эффект

5.3. Меры безопасности при устройстве и обслуживании установок и сооружений связи

1. Общие положения

1.1. Все работники, занятые на строительстве, ремонте и эксплуатации кабельных линий связи и проводного вещания, должны пройти медицинский осмотр и обучение безопасным методам ведения работ, а также соответствующим требованиям правил дорожного движения.

1.2. К ведению самостоятельных работ допускаются лица, прошедшие проверку знаний соответствующих разделов Правил. Ученики и практиканты могут допускаться к выполнению работ под руководством опытных работников, назначенных приказом или распоряжением начальника предприятия или начальника структурного подразделения (цеха, отдела, службы, участка) и только после проведения инструктажа и обучения правилам техники безопасности на рабочем месте.

К самостоятельной работе, связанной с обслуживанием ЭУ могут быть допущены лица после присвоения им квалификации разряда, сдачи экзаменов по ТБ и присвоения соответствующей квалификационной группы по электробезопасности.

1.3. Работники перед началом работ должны проверить наличие и исправность необходимых инструментов, защитных средств, предохранительных приспособлений, лестниц и стремянок.

О всех неисправностях необходимо заявить руководителю или его заместителю. Неисправные инструменты, защитные средства и предохранительные приспособления должны быть заменены.

1.4. Руководители работ – начальники структурных подразделений, а также инженеры, электромеханики, назначенные приказом администрации – обязаны лично присутствовать, руководить работами и обеспечивать строгое выполнение требований правил ТБ на особо опасных участках, а именно:

а) при погрузке и разгрузке барабана с кабелем, массой более 0,5т.

б) при рытье траншей и котлованов в непосредственной близости от места прохождения силовых кабелей, газопроводов, тепловых сетей и др. подземных коммуникаций.

в) при устройстве, переоборудовании и ремонте пересечений воздушных кабелей связи и проводов вещания с воздушными линиями электропередач, контактными проводами трамвая и троллейбуса.

г) при выполнении работ при пересечении железнодорожного полотна, трамвайных путей и при работах на расстоянии до 1,5 м от них.

д) при ремонте кабелей, которые используют для передачи ДП.

е) при работах в коллекторах, туннелях и технических подполах.

ж) при работе на кабелях связи, проложенных влф. канализации совместно с кабелем радиотрансляционной сети с $U = 120\text{В}$ и выше или кабелями с ДП; при работах в кабельных колодцах, коллекторах, чердаках, при прокладке кабелей по наружным стенам зданий на голове у работающих должна быть защитная каска.

з) при работе строительных механизмов вблизи от ЛЭП.

и) при работе в колодцах глубокого заложения (свыше 2,5 м).

к) при необходимости ведения аварийных работ, когда в колодец поступает газ.

Перед началом работы на особо опасном участке руководитель работ должен провести со своими работниками инструктаж по безопасным методам ведения работ, что должно фиксироваться в журнале с обязательной росписью лиц, получивших инструктаж и лица, проводившего инструктаж.

1.5. Работать на кабельных линиях во время грозы запрещается.

1.6. В каждой рабочей колонне или бригаде должна находиться аптечка. Каждый работник должен иметь индивидуальный антисептический пакет.

1.7. При несчастном случае необходимо принять меры по оказанию пострадавшему первой помощи и в случае необходимости направить его в ближайший мед. пункт или вызвать врача.

1.8. О каждом несчастном случае на производстве пострадавший или очевидец несчастного случая немедленно должен известить об этом мастера, начальника участка или соответствующего руководителя работ.

1.9. Несчастные случаи, происшедшие с работниками на производстве, подлежат расследованию, регистрации и учету, согласно действующему Положению о расследованиях и учете несчастных случаев на производстве.

1.10. Лица, виновные в нарушении настоящих Правил, подвергаются дисциплинарным взысканиям в соответствии с Уставом о дисциплине работников связи. Должностные лица, виновные в нарушении настоящих Правил привлекаются к административной или судебной ответственности.

5.4. Пожарная безопасность на предприятиях связи

Пожар – неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб.

Причины возникновения пожаров на предприятиях связи – неправильное устройство или неисправное состояние нагревательных приборов, электроустановок, неосторожное обращение с легковоспламеняющимися жидкостями, нарушение правил поведения сварочных работ, нарушение пожарного режима (неосторожное обращение с огнем, курение в недозволённых местах). Многие пожары возникают от самовозгорания веществ, действия статического электричества и др.

Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений, а так же разработок технологических процессов ведутся таким образом, чтобы вероятность возникновения пожара и вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей не превышала 10^{-6} в год.

Надзор и контроль за соблюдением правил пожарной безопасности осуществляет Главное управление пожарной охраны МВД Республики через соответствующие управления и отделы краев, областей. Им подчиняются районные инспекции пожарного надзора, а также пожарные части и отряды.

Органы Госпож надзора имеют право налагать штрафы на лиц виновных в нарушениях пожарного режима, приостанавливать работу отдельных участках или на предприятиях в целом, если появляется угроза возникновения пожара.

Ответственным за пожарную безопасность на ПС ее руководитель является руководитель, который приказом по предприятию возлагает ответственность за пожарную безопасность на руководителей цехов, участков, служб. В каждом помещении вывешивается табличка с указанием фамилии лица, ответственного за пожарную безопасность.

На ПС, где имеется пожарно-сторожевая охрана (ПСО) повседневная пожарно-профилактическая работа ведется личным составом подразделений ПСО.

Важная роль в организации проведения пожарно-профилактической работы принадлежит объектовым пожарно-техническим комиссиям (ПТК). В состав ПТК входят главный инженер предприятия (председатель), представители ПСО, гл. энергетик, гл. механик, гл. технолог, инженер по ТБ, представители профсоюзной организации. Обследование предприятия ПТК проводят не реже 1 раза в квартал.

5.4.1. Общие сведения о горении и средствах гашения огня.

Горение - это быстропротекающая химическая реакция окисления вещества, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и света. Горение может проходить с образованием пламени и без пламени. Процесс горения возможен, если имеются горючие вещества, окислитель и источник зажигания.

Источником зажигания может быть горящее или нагретое тело, а также эл. разряд, имеющий достаточный запас тепловой энергии.

Окислитель – кислород, содержащийся в воздухе, но процесс горения возможен и при отсутствии кислорода – водород, сурьма и некоторые металлы горят в хлоре. Процесс горения возможен, если имеется достаточное количество окислителя. Горения большинства веществ прекращается, если концентрация кислорода в воздухе понижается до 12 – 14 %

Взрыв – мгновенное химическое превращение, характеризующееся выделением энергии и образованием сжатых газов.

При взрывах выделяется большое количество газов, они, нагреваясь до высокой температуры, расширяются в объеме и давят с большой силой на стены зданий или сосудов, в которых происходит взрыв. Давление в момент взрыва достигает 10^6 Па, $t - 1500 - 2000$ °С скорость распространения взрывной волны несколько сотен метров в секунду. Поэтому взрывы ведут к большим разрушениям и пожарам. Тепловая энергия, выделяющаяся в

процессе вспышки оказывается недостаточной для поддержания дальнейшего процесса горения.

Воспламенение – это возникновение горения под воздействием источника зажигания с образованием пламени (возгорания). Наименьшая температура горючих веществ, при которой возникает устойчивое горение, называется температурой воспламенения.

Самовоспламенение – возгорание без источника зажигания. Торф, сажа, промасленная ветошь это пирофорные вещества способные к самовозгоранию.

Минимальная температура горючих веществ, при которой происходит самовозгорание, называется температурой самовоспламенения. Наименьшая концентрация горючих веществ, при которой происходит возгорание, называется нижним концентрационным пределом воспламенения.

Верхний концентрационный предел воспламенения определяется максимальной концентрацией горючих веществ, при которой возможно воспламенение. Концентрационные пределы воспламенения (КПВ) для паров и газов выражаются в %, для пылей г/м^3 .

Например, для бензина 0,79% и 5,16%, для угольной пыли – 114 г/м^3 .

Процесс горения можно прекратить, если понизить температуру горящих веществ ниже температуры воспламенения или прекратить доступ кислорода к горящим материалам. Это достигается двумя способами: охлаждением и изоляцией. Для охлаждения используют воду, углекислый снег; для изоляции – пар, пену, огнегасительные порошки, песок, асбестовое полотно.

Вода – наиболее распространенное дешевое средство гашения огня и жидких газообразных веществ.

Вода не применяется для тушения легковоспламеняющихся жидкостей (бензина, керосина, бензола и т.п.), имеющих меньшую плотность, чем вода. Такие жидкости растекаются по воде и увеличивают поверхность горения.

Нельзя тушить водой карбид (выделяется ацетилен).

Нельзя тушить водой ЭУ под напряжением, т.к. струя воды электропроводна и через нее возможно поражение человека эл. током.

Для тушения ЭУ используется углекислота (CO_2), т.к. она обладает низкой электропроводностью. При быстром испарении сжиженной углекислоты образуются хлопья в виде снега с температурой $\approx 78^\circ\text{C}$. Углекислота охлаждает горящее вещество и препятствует проникновению кислорода к нему.

Горючие жидкости, особенно нефтепродукты, тушат с помощью воздушно – мех. пены, которая образуется при интенсивном перемешивании водных растворов пенообразователей (ПО – 1, ПО – 6) с воздухом.

Химическая пена образуется при соединении, например серной кислоты с раствором щелочи.

Огнегасительные порошки применяют для прекращения горения твердых веществ, вступающих в реакцию с водой, ЭУ.

Порошки создают изолирующий слой. При нагревании, они разлагаются с образованием не горючих газов, которые снижают концентрацию кислорода. Горение твердых, газообразных и жидких веществ на небольшой площади можно прекратить, забросав очаг песком, накинув асбестовую, брезентовую ткань или кошму.

Требования пожарной безопасности к производственным помещениям и оборудованию.

При проектировании и строительстве производственных зданий необходимо учитывать пожарную опасность производства. Согласно

Строительным нормам и правилам все производства по пожарной и взрывной опасности делятся на категории А, Б, В, Г, Д и Е. Большинство ПС относятся к категории В.

Производства категории В (пожарооснащенные) характеризуются наличием горючих жидкостей с температурой вспышки паров более 61°C, горючей пыли или волокон, нижний предел воспламенения которых более 65 г/м³, веществ, способных гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, твердых сгораемых веществ. К этому типу относятся помещения ПС, в которых имеются кабели с горючей оболочкой, оборудование с применением дерева и пластика, бумага, мешкотара, горючая пленка и т.п.

Выбор местоположения зданий определяется с учетом господствующих ветров. Материалы и конструкции, применяемые при строительстве, определяют степень огнестойкости зданий и сооружений. Степень огнестойкости зависит от группы возгораемости материалов и предела огнестойкости конструкций. Материалы по возгораемости делятся на негорючие, трудно горючие и горючие. Предел огнестойкости строительства конструкции – время в часах, определяемое от начала испытания на огнестойкость до возникновения одного из признаков:

1. Образование в конструкции сквозных трещин или потери несущей способности.

2. Повышение температуры на не обогреваемой конструкции до 140°C.

Пределы огнестойкости основных строительных конструкций из негорючих или трудно горючих материалов изменяются от 0,5 до 2,5 час.

В зависимости от категории производства и степени огнестойкости зданий выбирается их этажность.

Для категории А, Б – число этажей не должно превышать 6.

Для категорий В – число этажей не ограничивается, но основные несущие конструкции должны выполняться из не горючих и трудно горючих материалов. В проектах всех сооружений ПС должны быть предусмотрены пути для быстрой и безопасной эвакуации людей и материальных ценностей. (Только не лифты). Пути эвакуации должны быть короткими, и иметь достаточную ширину. Выходные двери должны открываться только наружу (устройство качающихся и раздвижных дверей не допускается). Здания высотой >10м оборудуют пожарными лестницами с наружи.

5.5. Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Рассчитать общее освещение люминесцентными лампами в цехе шириной А м и длиной В м, высотой Нм, с побеленным потолком $p_n = 70\%$, стены светлые с незавешенными окнами $p_n = 50\%$. С малыми выделениями пыли, дыма, копоти.

Требуемая освещенность по нормам – E_n лк.

Принимаем светильник диффузный прямого света решётчатым затемнителем /15 °/ с люминесцентными лампами ДС – 30, Имеющими световой поток $F_3 = 1160$ лм.

Указания к решению задачи.

$$F_{л} = E_n * K * S * Z / N * h , \text{ лм} \quad (5.5.1)$$

где: F_k – световой поток каждой лампы в лм;

E_n – нормируемая освещённость в лм;

K – коэффициент запаса (табл 5.5.1);

S – площадь помещения, m^2 ;

h - коэффициент использования светового потока, т. е. отношение потока, падающего на рабочую поверхность, к суммарному потоку всех ламп, зависит от коэффициента отражения потока p_n , стен p_c , величины

показателя помещения 1, учитывающего геометрические параметры помещения (табл. 5.5.2);

Z – отношение средней освещенности к минимальной: $Z=1.1-1.2$.

1. Определение величины показателя помещения /индекс помещения/

$$i = S / h(A+B), \quad (5.5.2)$$

где S – площадь помещения, m^2 ; A – ширина помещения, м; B – длина помещения, м; h – расчётная высота /расстояние от светильника до рабочей поверхности/, м.

2. Определим расчетную высоту :

$$h = H - h_c - h_p \text{ . м} \quad (5.5.3)$$

где H – высота помещения, м ; h – высота подвеса светильника, $h_c=0.5$ м; h_p – высота рабочего места $h_p=0.8$ м.

3. Для определения количества светильников, необходимо найти расстояние между светильниками – L . При многорядном расположении светильников наивыгоднейшее отношение L : $h = 1.5$; $L = 1.5 * h$.

4. Определение количества ламп по ширине и длине помещения:

$$N(A) = A / L ; \quad N(B) = B / L . \quad (5.5.4)$$

5. Общее количество светильников определяется :

$$N = N(A) * N(B) \quad (5.5.5)$$

6. Определяем световой поток каждой лампы.

В случае, если расчётное значение светового потока каждой лампы $/F_{\text{п}}/$ превышает заданное $/F_3/$, необходимо пересчитать количество светильников.

Дано:

$E_n = 500$ лк; Длина =15 м; Ширина =10 м; Высота =5 м;

5.5.1. Решение

1. Определим расчетную высоту :

$$h = 5 - 0,5 - 0,8=3,7 \text{ м}$$

2. Определим величины показателя помещения /индекс помещения/

$$i = S / h(A+B),$$

$$S = 10 \cdot 15 = 150 \text{ м}^2;$$

$$i = 150 / 3.7(10 + 15) = 1.62$$

3. Для определения количества светильников, необходимо найти расстояние между светильниками – L. При многорядном расположении светильников наивыгоднейшее отношение L: h = 1.5; L = 1.5 * h

$$L = 1.5 \cdot 1.5 = 2.25$$

4. Определим количество ламп по ширине и длине помещения:

$$N(A) = 15 / 2.25 = 6.66 ; N(B) = 10 / 2.25 = 4.44$$

5. Общее количество светильников

$$N = 6.66 * 4.44 = 29.5 \approx 30$$

6. Определяем световой поток каждой лампы.

$$F_{\text{л}} = E_{\text{н}} * K * S * Z / N * h, \text{ лм} \quad (5.5.1)$$

$$F_{\text{л}} = \frac{500 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{30 \cdot 37} = 111 \text{ лм}$$

Вывод: расчётное значение светового потока каждой лампы /F_л/ не превышает заданное /F_з/.

$$111 \text{ лм} < 1160 \text{ лм}$$

$$F_{\text{л}} < F_{\text{з}}$$

Таблица 5.5.1.

Коэффициенты запаса K

Характеристика помещения	Коэффициенты запаса		Сроки чистки светильников
	При люминесцентных лампах	При лампах накаливания	
С большим выделением пыли, дыма или копоти..	2	1,7	4 раза в месяц
С средними выделением пыли, дыма или копоти..	1,8	1,5	3 раза в месяц

С малыми выделениями пыли, дыма или копоти....	1,5	1,3	2 раза в месяц
Открытые пространства...	1,5	1,3	3 раза в год

Таблица 5.5.2.

Коэффициенты использования люминесцентных светильников различного типа

Индекс площади помещения	Коэффициент использования светильников										
	Диффузного прямого света с решётчатым затемнителем 15			Подвесного открытого сверху с решётчатым затемнителем			Плафона с решётчатым затемнителем 30				
	При различных p_n и p_c /в % соответственно/										
	30	50	70	50	50	70	70	50	50	50	70
	10	30	50	30	50	50	70	30	50	50	70
0,5	15	17	20	13	15	17	23	13	15	15	19
0,6	19	22	24	16	19	22	17	16	19	19	22
0,7	23	23	27	19	21	24	30	19	21	21	24
0,8	25	25	30	21	23	26	32	21	22	23	25
0,9	27	27	31	22	24	28	33	22	23	24	26
1,0	29	29	32	23	25	30	35	23	24	24	27
1,1	30	30	33	24	27	31	36	24	25	25	28
1,1	31	31	34	26	18	33	38	25	26	26	29
1,25	33	33	35	28	30	35	40	20	27	28	30
1,5	34	34	37	29	32	37	41	27	28	29	31
1,75	36	36	38	31	33	39	43	28	29	30	32
2,0	37	37	39	32	35	40	44	29	30	31	33
2,25	38	39	41	33	36	42	46	30	31	32	33
2,5	39	39	42	35	37	44	47	31	32	33	34
3,0	40	39	43	36	38	46	49	32	32	33	34
3,5	41	41	44	36	39	47	50	32	33	34	35
4,0	42	42	44	39	41	49	52	33	34	34	35

5.6. Расчет искусственного защитного заземления

Рассчитать устройство искусственного защитного заземления, выполненное вертикальными трубами диаметром d мм и длиной $1T$ м в грунте удельным сопротивлением ρ Ом.м. Коэффициент сезонности, учитывающий изменения удельного сопротивления грунта в течении года, $K_c = 1.3$. Трубы соединены между собой стальной полосой и зарыты в грунт на глубину $t_0 = 0.8$ м.

Заземляющее устройство предполагается выполнить выносного типа с размещением заземлителей по прямоугольному контуру.

Указания к решению задачи:

1. сопротивление растеканию тока одиночного трубчатого заземлителя составит:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho}{2\pi * 1T} \left(\ln \frac{21T}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + 1T}{4t - 1T} \right), \text{ Ом} \quad (5.6.1)$$

где: ρ – удельное сопротивление грунта (таблица 5.6.1);

t – расстояние от поверхности земли до середины трубы

$$(t = t_0 + 0.5 1T), \text{ м} \quad (5.6.2)$$

2. С учётом сезонных изменений сопротивления грунта:

$$R''_{\text{тр}} = R_{\text{тр}} * K_c, \text{ Ом} \quad (5.6.3)$$

3. Необходимое количество заземлителей N , принимая во внимание коэффициент использования труб, учитывающий их взаимное экранирование η_3 , который выбирается в зависимости от отношения расстояние между трубами a к их длине ($1T$):

$$\text{при } \frac{a}{1T} = 2 \quad \eta_3 = 0.45 / 0.6$$

$$\text{при } \frac{a}{1T} = 3 \quad \eta_3 = 0.6 / 0.8$$

$$N = \frac{R''_{\text{мп}}}{R_3 * \eta_3}; \quad (5.6.4)$$

$R_3 = 10 \text{ Ом}$ - допустимое сопротивление заземления.

4. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1.05 * a * (N-1), \text{ м} \quad (5.6.5)$$

5. Сопротивление растеканию тока соединяющей полосы:

$$R_n = \frac{\rho}{2n \cdot l_n} * \frac{2l^2}{b * t_1} \quad (5.6.6)$$

где: b – ширина полосы / $b = 0.02 / 0.06\text{м}$ / ;

t_1 – расстояние по глубине от поверхности земли до середины

полосы

$$(t_1 = t_0 + 0.5b), \text{ м} \quad (5.6.7)$$

6. С учётом сезонности изменения сопротивления грунта:

$$R'' = R_n * K_c, \text{ Ом} \quad (5.6.8)$$

7. Сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства:

$$R_{э.у.} = \frac{R''_m * R''_n}{R''_m * \eta_n + R''_n * \eta_m * N}, \text{ Ом} \quad (5.6.9)$$

где: η_n – коэффициент учитывающий взаимное экранирование заземлителей с соединительной

полосой / $\eta_n = 0.8 / 0.9$ /;

η_T – коэффициент учитывающий взаимное экранирование заземлителей / $\eta_T = 0.75 / 0.8$ /.

Таблица 5.6.1.

Грунт	Удельное сопротивление грунта, 10^2 Ом.м
Песок	1 – 4
Супесок	1.5 - 4
Суглинок	0.4 – 1.5
Глина	0.08 – 0.7
Чернозём	0.09 – 5.3

Дано: $l_T = 2 \text{ м}$; $a = 4 \text{ м}$; $d = 0,06 \text{ м}$; $K_c = 1,3$ $t_0 = 0,8 \text{ м}$; грунт – песок;

5.6.1. Решение

1. Сопротивление растеканию тока одиночного трубчатого заземлителя составит:

$$R_b = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 2}{4 \cdot 1,8 - 2} \right) = 74,34 \text{ Ом.}$$

где: $\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

$t = 1,8 \text{ м}$;

$$t = \frac{2}{2} + 0,8 = 1,8 \text{ м};$$

2. С учётом сезонных изменений сопротивления грунта:

$$R''_{\text{тр}} = 74,64 \cdot 1,3 = 96,65 \text{ , Ом}$$

3. Необходимое количество заземлителей N , принимая во внимание коэффициент использования труб, учитывающий их взаимное экранирование η_3 , который выбирается в зависимости от отношения расстояние между трубами a к их длине ($1T$):

$$\text{при } \frac{a}{1T} = 2 \quad \eta_3 = 0.45 / 0.6;$$

$$N = \frac{96,65}{10 \cdot 0.45} = 21.47 \approx 21;$$

$R_3 = 10 \text{ Ом}$;

4. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1.05 \cdot 4 \cdot (21-1) = 84 \text{ , м};$$

5. Сопротивление растеканию тока соединяющей полосы:

$$R_n = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 84} \ln \frac{2 \cdot 84^2}{0,06 \cdot 0,83} = 3 \text{ Ом};$$

где: $b = 0.06 \text{ м}$;

$t_1 = 0,83 \text{ м}$;

$$t_1 = \frac{0,06}{2} + 0,8 = 0,83 \text{ м};$$

6. С учётом сезонности изменения сопротивления грунта:

$$R'' = 3 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ , Ом}$$

7. Сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства:

$$R_{\text{э.у.}} = \frac{96,65 \cdot 3,9}{96,65 \cdot 0,8 + 3,9 \cdot 0,75 \cdot 2} = 2,7 \text{ Ом.}$$

где: η_n – коэффициент учитывающий взаимное экранирование заземлителей с соединительной полосой / $\eta_n = 0,8 / 0,9$;

η_T – коэффициент учитывающий взаимное экранирование заземлителей / $\eta_T = 0,75 / 0,8$.

Вывод : сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства составляет 2,7 Ом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа рассматривает вопросы проектирование РРЛ на четырех пролетах, на оборудовании Eclipse фирмы STRATEX NETWORKS.

Были доведены потоки до каждой РРЛ с учетом расчетов. Каждая РРЛ предназначена для использования в сотовой сфере построения сети.

Из приведенных расчетов качественных показателей видно, что ЦРРЛ удовлетворяет ведомственным нормам на технологическое проектирование.

Литература

1. Садо́мовский А. С., Гульшин В. А. Расчет радиорелейных линий: Методические указания по курсовому проектированию. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 28 с.
2. Евсеенко Г. Н. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005. — 100 с.
3. Маковеева М. М., Шинаков Ю. С., Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов – М.: Радио и связь, 2002 – 440 с.
4. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, Москва, 1987 г., 243 с.
5. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1987. – 192с.
6. М. А. Баркун, О. Р. Ходасевич - Цифровые системы синхронной коммутации. -М.:Эко-Трендз, 2001 г. 187 с.
7. Правила по охране труда при работах на радиорелейных линиях связи - ПОТ РО-45-010-2002;
8. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 1994г. 153с.
9. Руководство по дипломному проектированию: Учебно-методическое пособие/ www.library.tuit.uz
10. Справочник по радиорелейным системам; Международный союз электросвязи, - Бюро радиосвязи, 1996 г., Женева 354 с.
11. Телекоммуникационные системы и сети. Т1: Учеб. Пособие/ Крук Б. И., Попантонопуло В. Н., Шувалов В. П., - Изд. 2-е, испр и доп., - Новосибирск: Сиб. предприятие «Наука» РАН, 1998 г 523 с.
12. Руководство по эксплуатации Eclipse. 260-668066-001 Версия 012 Март 2005. – 375 с.

Приложение