

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., Шагиахметов Д.Р.

(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)

« _____ » _____ 2014 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка**

на тему: Исследование распространения радиоволн в РРЛ для
различных типов местности

Магистрант <u>Усембаев И.Б.</u>	_____	группа <u>ИТСП-12-1</u>
(Ф.И.О.)	(подпись)	
Руководитель <u>к.ф.м.н, доцент</u>	_____	<u>Жунусов К.Х</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Технический консультант	_____	_____
	(подпись)	(Ф.И.О.)
Рецензент <u>к.т.н., доцент КазАТК</u>	_____	<u>Чигамбаев Т.О.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Консультант по ВТ <u>к.х.н., ст..преп.</u>	_____	<u>Данько Е.Т.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Нормоконтроль <u>ст.преп.</u>	_____	<u>Абрамкина О. А.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)

Алматы, 2014

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»
Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»
Кафедра «Телекоммуникационных систем»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Усембаеву И.Б
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации « Исследование распространения радиоволн в РРЛ для различных типов местности
утверждена Ученым советом университета №142 от « 31» октября 2013 г.
Срок сдачи законченной диссертации « 25» декабря 2013 г.
Цель диссертационной работы состоит в экспериментальном исследовании влияния параметров алгоритма WRED на качество передачи и нахождение оптимальных значений параметров для предотвращения перегрузок в сетях передачи данных.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Этапы развития телекоммуникационных систем
2. Основные принципы качества обслуживания в IP-сетях
3. Анализ работы механизма предотвращения перегрузки
4. Исследование работы механизма WRED
5. Расчёт требований к качеству обслуживания в IP-сетях

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- Рисунок 4.1 – График вероятности отбрасывания пакетов механизмом WRED
- Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной модели сети
- Рисунок 4.3 – Зависимость потерянных пакетов от параметра w_d
- Рисунок 4.4 – Зависимость средних значений параметра MOS от параметра w_d
- Рисунок 4.5 – Зависимость среднего значения потерянных пакетов, потерь вызванных механизмом Random Drop и Tail Drop, от значения T_{MAX}
- Рисунок 4.6 – Зависимость задержки передачи голосового трафика от значения T_{MAX}
- Рисунок 5.1 – Схема подключения абонентов к сети доступа

Рекомендуемая основная литература

1. Santiago Alvarez, QoS for IP Networks – Cisco Press, November 2001.
2. Гончаров А.А., Ильин А.Ю., Семенов Ю.А., Исследование возможностей получения гарантированного качества обслуживания – Информационные процессы, 2006

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный обзор согласно темы диссертации	01.10.2012	
2 Создание модели для проведения эксперимента на базе оборудования MINI LINK Craft, MENTUM Elipse	14.01.2013	
3 Экспериментальное исследование работы РРЛ	02.02.2013	
4 Исследование влияния разных параметров алгоритма WRED на перегрузку в сети	20.02.2013	
5 Расчет параметров качества обслуживания в IP-сетях	12.03.2013	
6 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	02.11.2013	
7 Оформление диссертационной работы	25.12.2013	

Дата выдачи задания _____ 05.09.2012 г. _____

Заведующий кафедрой _____ (Коньшин С.В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Данько Е.Т.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Капасов Ж.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Берілген жұмыста Әр – түрлі аймақ түріне арналған радио релелі желілердегі радио толқындардын таралуы зерттелген. Құрал – жабдықтарды таңдау және радио релейлі желілерді ең тиімді жоспарлау нұсқалары қарастырылған. Желінің сенімді тоқтаусыз жұмысын қамтамасыз ету және анализ әдістері құрастырылған. Құрастырылған моделдің сандық зерттелу нәтижелері корсетілген

Аннотация

В данной работе исследовалась распространения радиоволн в радио релейных линиях для различных типов местности. Рассмотрены вопросы по выбору оборудования, и наилучшие варианты при планирования РРЛ сети. Разработан метод анализа и обеспечения надежности бесперебойной работы сети. Приведены результаты численных исследований разработанной модели.

Введение

В настоящее время существуют проблемы с покрытием связи, как в удаленных местах, так и в горной местности. Большинство операторов связи в целях экономии финансовых средств, стараются инвестировать вложения в густонаселенные места. Обеспечить покрытие связи в горной местности является проблематичным, как со стороны финансовой части, так и со стороны установки оборудования. Первое что необходимо для этого – антенно-мачтовое сооружение и подвод электропитания к сооружению. Вторым основным аспектом является разрешение на получение пользования радиочастотами радиорелейных линий. На данный момент, практически во всех странах СНГ существует проблема распределения частотного ресурса. Данная проблема напрямую связана с протяженностью радиорелейного интервала. Чем больше интервал, тем меньше должна быть частота. Если расстояние в десять километров можно закрыть оборудованием на 23 и 28 ГГц и без особого труда получить разрешение на использование данных частот, то для расстояния больше необходимо получить разрешение на 3,5,7,10 ГГц, что является весьма проблематичным, так как по частотному распределению данные частоты относятся к силовым структурам. Также надо учесть, что для различных частотных диапазонов, имеются свои особенности распространения радиоволн и чем больше частота, там выше затухание сигнала.

Радиорелейные линии можно было бы заменить оптоволоконными линиями связи, но в районах с малой плотностью населения или сложным географическим рельефом организация наземных каналов связи оказывается весьма сложной технически и крайне неэффективной экономически.

Целью настоящей диссертационной работы является решение актуальной задачи детального исследования распространение волны в РРЛ для различных местностей.

При этом можно получить повышения эффективности использования полос частот цифровыми радиорелейными линиями, работающими в диапазонах 2,4,6 и 8 ГГц в свете идей, высказанных в [5,6]. Полосы частот, выделенные для РРЛ в указанных диапазонах, имеют особое значение по двум причинам: во-первых, некоторые из этих полос, согласно Регламенту радиосвязи, выделены для совместного использования РРЛ и спутниковыми системами связи и, во-вторых, в этих диапазонах еще практически не оказывается ослабление радиоволн в осадках. Полосы частот, выделенные для РРЛ в более высокочастотных диапазонах, менее выгодны с технико-экономической точки зрения из-за значительного ослабления радиоволн осадками, вследствие чего возникает необходимость в существенном энергетическом запасе для компенсации ослаблений уровня сигнала даже на коротких пролетах.

1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦРРЛ И ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

Радиорелейная связь — один из видов наземной радиосвязи, основанный на многократной ретрансляции радиосигналов. Радиорелейная связь осуществляется как правило между стационарными объектами.

Исторически радиорелейная связь между станциями осуществлялась с использованием цепочки ретрансляционных станций, которые могли быть как активными, так и пассивными.

Отличительной особенностью радиорелейной связи от всех других видов наземной радиосвязи является использование узконаправленных антенн так же дециметровых, сантиметровых или миллиметровых радиоволн.

Радиорелейные линии связи основываются на принципах многократной ретрансляции сигнала, что иллюстрируется упрощенной структурной схемой, показанной на рис.1.1. Различаются *оконечные, промежуточные* и *узловые* станции.



Рисунок 1.1 – Структурная схема одного направления радиорелейной линии связи

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 (дуплексера). Модуляция и демодуляция сигналов проводится 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. Существуют системы РРЛ с непосредственной модуляцией сигналов СВЧ (например, аппаратура Эриком-11), но они имеют ограниченное распространение.

Упрощенная структурная схема оконечной станции показана на рисунке 1.2.

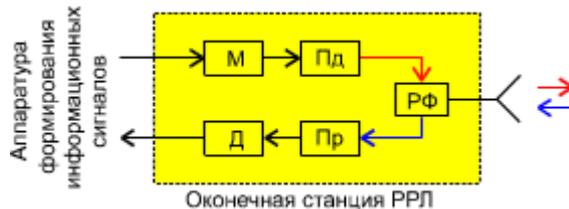


Рисунок 1.2 - Упрощенная структурная схема оконечной станции

Промежуточные станции располагаются на расстоянии прямой видимости и предназначены для приема сигналов, усиления их и дальнейшей передаче по линии связи. Прием и передача сигналов на промежуточных станциях должна проводиться на разных частотах для устранения паразитных связей в приемопередатчиках за счет влияния обратного излучения близко расположенных антенн. Разница между частотами приема и передачи называется частотой сдвига ($f_{сдв}$). На рисунке 1.3 показана структурная схема промежуточной станции.

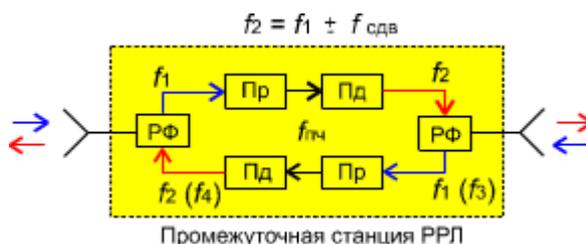


Рисунок 1.3 - структурная схема промежуточной станции.

Узловые станции (рисунке 1.4) выполняют как функции промежуточных станций, так и функции ввода и вывода информации. Поэтому они устанавливаются в крупных населенных пунктах или в точках пересечения (ответвления) линий связи.

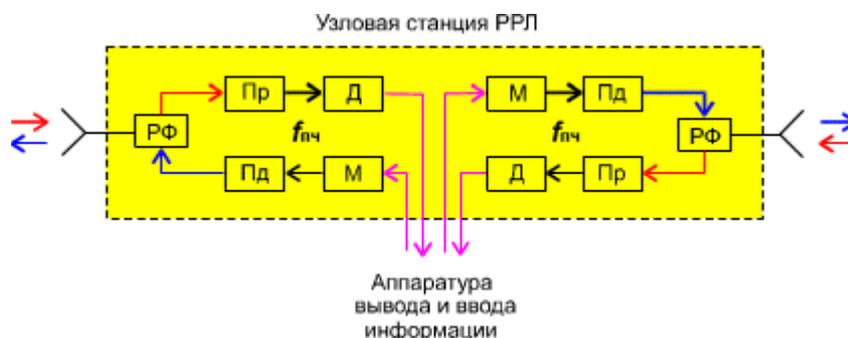


Рисунок 1.4 – Узловая станция

Промежуток между ближайшими станциями называется пролетом (или интервалом) РРЛ. Протяженность пролета зависит от многих причин и, в среднем, достигает 50 - 60 км в диапазонах частот до 6 - 8 ГГц и нескольких км в диапазонах 30 - 50 ГГц. Промежуток между оконечной станцией и ближайшей узловой или между узловыми станциями называется секцией РРЛ, а совокупность приемопередающего оборудования образует ствол РРЛ. Различаются однонаправленные стволы и двунаправленные (для дуплексной связи).

При передачи сигналов в прямом и обратном направлениях применяются 2 - частотные и 4 - частотные системы.

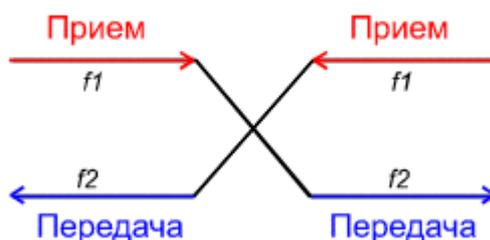


Рисунок 1.5 – 2х частотная системы передачи сигналов

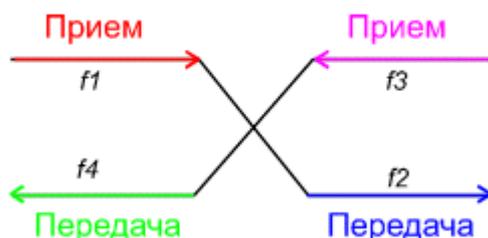


Рисунок 1.6 – 4х частотная системы передачи сигналов

2-частотная система (рисунок 1.5) экономична с точки зрения использования полосы частот, выделенной для организации радиорелейной связи, но требует применения антенн с хорошими защитными свойствами от приема и передачи сигналов с боковых и обратных направлений. В диапазонах частот выше 10 ГГц широко применяются параболические антенны улучшенного исполнения с дополнительными экранами (воротниками), позволяющими достичь требуемых показателей.

4-частотная система (рисунок 1.6) допускает применение более простых и дешевых антенн и позволяет улучшить защищенность линии связи от взаимных помех, но используется достаточно редко. Как правило, четырехчастотную систему можно рекомендовать для организации линий связи при очень сложной электромагнитной обстановке.

Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного

моделирования. Для повышения экономической эффективности и пропускной способности радиорелейные системы часто делают многоствольными, в которых на каждой станции работают с различными частотами несколько приемопередатчиков через общие антенно-фидерные устройства.

С целью увеличения надежности работы линии связи применяются различные способы резервирования. В диапазонах частот выше 10 ГГц в ЦРРЛ наибольшее распространение получают системы резервирования 1 + 1, когда на один рабочий ствол приходится один резервный. В сложных условиях распространения радиоволн, оба ствола могут быть использованы для организации разнесенного приема, существенно улучшающего устойчивость работы системы связи. Зачастую строятся простые одноствольные системы связи без резервирования, учитывая высокую надежность современной аппаратуры. К примеру, время наработки на отказ аппаратуры ЦРРЛ типа MINI LINK шведской фирмы ERICSSON достигает (согласно рекламе) 20 - 30 лет.

Широкое развитие информационных радиосетей заставляет строго регламентировать использование рабочих частот в выделенных диапазонах волн. На рисунке 1.7 показан пример плана распределения рабочих частот для системы РРЛ, работающей в диапазоне 11 ГГц в соответствии с [Рекомендациями 387-2 МСЭ-Р](#).

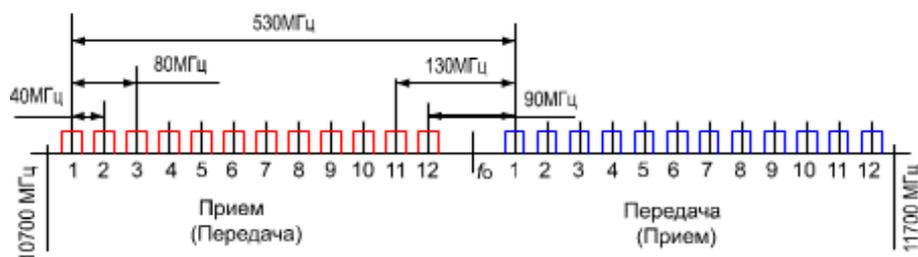


Рисунок 1.7 - пример плана распределения рабочих частот

В более высокочастотных диапазонах волн применяются гибкие частотные планы. Разнос частотных каналов в таких случаях определяется пропускной способностью (скоростью работы ЦРРЛ) и видом модуляции. Чаще всего применяется шаг разнеса рабочих частот равный 3.5 МГц. Тогда, к примеру, при скорости работы 4 Мбит/с и 4-уровневой модуляции разнос частот можно выбрать равным шагу разнеса, а при кратном увеличении скорости разнос также кратно увеличивается и может равняться 7, 14 или 28 МГц.

В последние годы разработаны новые частотные планы с использованием двойной поляризации радиоволн, позволяющие существенно повысить эффективность использования частотного спектра.

Современная аппаратура радиорелейных систем для диапазонов частот выше 10 ГГц имеет определенные особенности в конструктивном выполнении по сравнению с более низкочастотной аппаратурой. В диапазонах частот до 10

ГГц приемопередающая аппаратура, как правило, выполняется в виде достаточно громоздких стоек, располагающихся в аппаратных помещениях. Связь с антеннами осуществляется фидерными волноводами, имеющими значительную длину и, следовательно, вносящими существенные потери. Переход к диапазонам частот выше 10 ГГц существенно изменил конструктивное выполнение аппаратуры. Аппаратура, работающая в диапазоне выше 10 ГГц, имеет небольшие габариты и располагается на вершине антенной опоры, объединенная в единый блок с антенной.

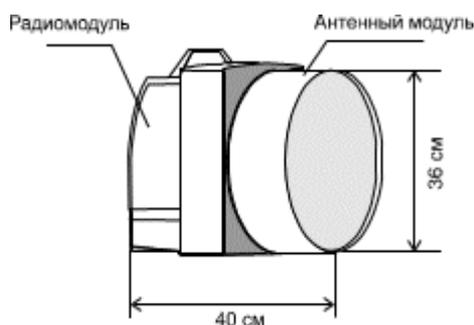


Рисунок 1.8 - Пример конструктивного выполнения приемопередающего блока цифровой аппаратуры MINI-LINK

На рисунке 1.8 [12:42:54] Тулеутай: При анализе причин самоподобности в трафике утверждается, что самоподобность может возникать в результате объединения множества отдельных, но сильно изменчивых ON/OFF источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии. Иначе говоря, в результате наложения образуется объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению. Однако авторы признают, что, несмотря на ценность, эти результаты страдают из-за целого ряда предположений, не являющихся реалистичными в условиях реального сетевого окружения. Сложность понимания лежащих в основе принципов, которые могут привести к самоподобию в сетевом трафике, определяется, по мнению авторов, тем, что не существует одного фактора, вызывающего самоподобность.

На основе анализа библиографических источников (в основном американских) авторы приводят основные факторы, которые могут продуцировать в сетевом трафике долговременную зависимость различных видов: поведение пользователя; генерация, структура и поиск данных; объединение трафика; средства управления сетью; механизмы управления с обратной связью; развитие сети. Детальный анализ каждого из них проводится ниже.

Следует отметить, что действие указанных механизмов позволяет влиять на структуру трафика, изменяя его природу и, если самоподобие уже



присуще трафику, то в некоторых случаях усилить ее.

Рисунок 1.9 - расположения модулей аппаратуры на антенной опоре

Компактная аппаратура с небольшими габаритами и весом, которая применяется в диапазонах частот выше 10 ГГц, допускает использование облегченных антенных мачт, выполненных в виде треугольного сечения или трубчатых конструкций, которые можно установить на высоких зданиях, дымовых трубах или возвышенных местах. Приемопередающие блоки соединяются коаксиальными кабелями с модемным оборудованием, располагающимся в помещении. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Современное модемное оборудование - это легко трансформирующийся комплекс, функционирующий под управлением центрального или местного компьютера.

Модемное оборудование может обеспечивать формирование и обработку цифровых потоков на скорости от 1 до 34 Мбит/с, проводить мультиплексирование потоков и функционировать в режимах организации сетей связи любой конфигурации.

Для примера, на рисунке 1.10 показана схема организации системы связи между локальными компьютерными сетями. Подобную схему можно применить и для связи между базовыми станциями подвижной связи.

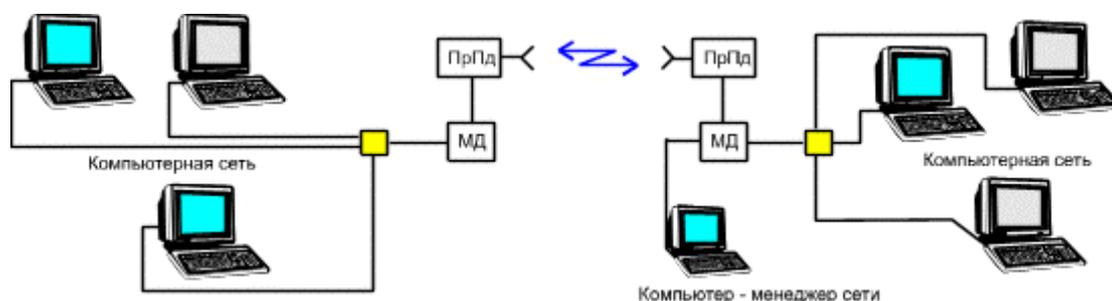


Рисунок 1.10 - схема организации системы связи между локальными компьютерными сетями

Пример типовой конфигурации цифровой сети связи представлен на рисунке 1.11. Здесь показаны различные типы станций РРЛ, работающих с разными цифровыми потоками, с резервированием и без резервирования, функционирующие под управлением компьютера - менеджера сети

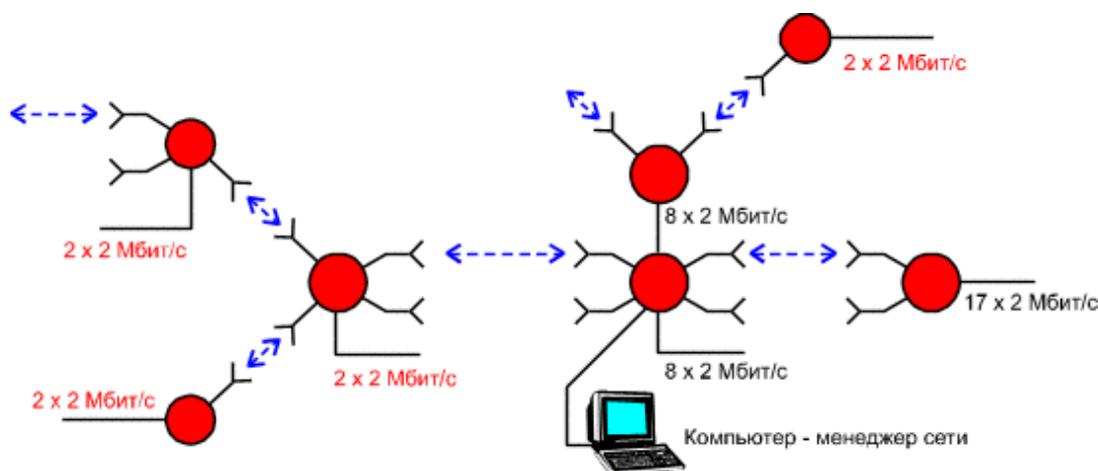


Рисунок 1.11 - Различные типы станций РРЛ, работающих с разными цифровыми потоками

В последние годы начинают бурно развиваться микроволновые многоканальные системы распределения информации (MMDS, MVDS, LMDS). Такие системы позволяют организовать распространение телевизионных программ или компьютерной информации для индивидуальных или коллективных абонентов. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Системы MMDS представляют собой сеть базовых станций, работающих в диапазоне частот 2.7 ГГц, с антеннами, имеющими круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и угол раскрытия порядка 3 - 6 град. в вертикальной плоскости ($G = 12-17$ дБ).

Множество приемных абонентских устройств (как индивидуального, так и коллективного пользования), с направленными антеннами, имеющими коэффициент усиления 25 - 35 дБ, располагаются в зоне прямой видимости от базовых станций. Обмен информацией между базовыми станциями осуществляется при помощи различных систем связи, в том числе и при помощи РРЛ. Наиболее перспективны, с точки зрения использования в подобных системах связи, диапазоны частот выше [12:42:54] Тулеутай: При анализе причин самоподобности в трафике утверждается, что самоподобность может возникать в результате объединения множества отдельных, но сильно изменчивых ON/OFF источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии. Иначе говоря, в результате наложения образуется объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению.

Однако авторы признают, что, несмотря на ценность, эти результаты страдают из-за целого ряда предположений, не являющихся реалистичными в условиях реального сетевого окружения. Сложность понимания лежащих в основе принципов, которые могут привести к самоподобию в сетевом трафике, определяется, по мнению авторов, тем, что не существует одного фактора, вызывающего самоподобность.

На основе анализа библиографических источников (в основном американских) авторы приводят основные факторы, которые могут продуцировать в сетевом трафике долговременную зависимость различных видов: поведение пользователя; генерация, структура и поиск данных; объединение трафика; средства управления сетью; механизмы управления с обратной связью; развитие сети. Детальный анализ каждого из них проводится ниже.

Следует отметить, что действие указанных механизмов позволяет влиять на структуру трафика, изменяя его природу и, если самоподобие уже присуще трафику, то в некоторых случаях усилить ее. 10 ГГц, так как диапазоны часто ниже 10 ГГц сильно загружены и не позволяют строить компактные приемные устройства. Для локальных систем распределения информации (LMDS) предполагается использовать диапазон частот 27 - 29 ГГц. Применение частот выше 30 ГГц позволяет принимать информацию с высоким качеством только на небольших расстояниях (2 - 7 км) из-за малого коэффициента усиления антенн базовых станций (в случае применения кругового излучения) и значительных потерь при распространении в гидрометеорах и газах атмосферы. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Однако габариты пользовательских антенн и ресиверов получаются весьма малыми. Поэтому в Европе выделен диапазон частот 40,5—42,5 ГГц для организации систем распределения видеoinформации (MVDS).

Разница в названиях систем весьма условна, поскольку рекомендации для них разрабатывались на разных континентах. С технической же точки зрения это одни и те же устройства, изготовленные, как правило, производителями радиорелейного оборудования. Радиотракт такой системы «прозрачен» для передачи различных типов аналоговых или цифровых сигналов, будь то NTSC, PAL, SECAM или DVB. Различия будут лишь в числе каналов.

Для передачи сигналов телевидения вполне может быть использован цифровой стандарт MPEG-2, получивший широкое распространение в спутниковых системах телевизионного вещания, и модуляция COFDM, защищенная от интерференционных искажений. Для улучшения энергетических показателей на базовых станциях, возможно применение секторных и многолепестковых антенных систем с коэффициентами усиления до 30 - 40 дБ.

2 Краткие рекомендации по выбору рабочих частот

В настоящее время освоен весьма широкий диапазон рабочих частот для целей микроволновой радиосвязи, начиная с диапазона 2 ГГц.

Диапазон 2 ГГц (1.7-2.1 ГГц)

Этот диапазон характеризуется возможностью распространения сигналов на достаточно протяженных пролетах (до 50-80 км). Устойчивость распространения радиоволн в сильной степени зависит от экранирующего действия препятствий на интервалах РРЛ при атмосферной рефракции. В этом диапазоне волн 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.

Диапазон 4 ГГц (3.4-3.9 ГГц)

Наиболее освоенный и загруженный РРЛ диапазон частот. В этом диапазоне работают многие магистральные системы связи. Характеризуется возможностью получать довольно протяженные пролеты (40-55 км) при хороших качественных показателях. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Остронаправленные антенны (с коэффициентами усиления порядка 40 дБ) обладают значительными габаритами и весом (прил.2) 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.

Диапазон 6 ГГц (5.6-6.2 ГГц)

Популярный в последние десятилетия диапазон частот, предназначенный 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 ГГц (7.9-8.4 ГГц)

Диапазон 8 ГГц освоен в настоящее время достаточно хорошо. В нем работает большое количество радиорелейных систем средней емкости

(порядка 300-700 ТЛФ 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 составляет 30-40 км. Антенны имеют высокий коэффициент усиления при диаметрах порядка 1.5 - 2.5 м.

При анализе причин само подобности в трафике утверждается, что само подобность может возникать в результате объединения множества отдельных, но сильно изменчивых ON/OFF источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии. Иначе говоря, в результате наложения образуется объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению. Однако авторы признают, что, несмотря на ценность, эти результаты страдают из-за целого ряда предположений, не являющихся реалистичными в условиях реального сетевого окружения. Сложность понимания лежащих в основе принципов, которые могут привести к самоподобию в сетевом трафике, определяется, по мнению авторов, тем, что не существует одного фактора, вызывающего само подобность.

На основе анализа библиографических источников (в основном американских) авторы приводят основные факторы, которые могут продуцировать в сетевом трафике долговременную зависимость различных видов: поведение пользователя; генерация, структура и поиск данных; объединение трафика; средства управления сетью; механизмы управления с обратной связью; развитие сети. Детальный анализ каждого из них проводится ниже.

Следует отметить, что действие указанных механизмов позволяет влиять на структуру трафика, изменяя его природу и, если самоподобие уже присуще трафику, то в некоторых случаях усилить ее. Интенсивное развитие систем связи привело к бурному освоению этих диапазонов частот.

Средняя протяженность пролетов достигает 20 км для зон с умеренным климатом. Аппаратура Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. выполняется в виде моноблока. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.6, 1.2 или 1.8 м при коэффициентах усиления от 38 до 46 дБ.

В ряде регионов России диапазон 15 ГГц уже перегружен радиосредствами. Диапазон 18 ГГц пока более свободен.

На распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и интерференция Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. прямых и отраженных волн. Ослабление в

дожде может составлять 1-12 дБ/км (при интенсивности дождей 20-160 мм/час). Некоторое влияние оказывает и сама атмосфера (атомы кислорода и молекулы воды), ослабление в которой достигает 0.1 дБ/км.

значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Сильное влияние дождей приводит к неустойчивости работы системы связи.

Необходимо учитывать, что этот диапазон является почти предельным для создания радиосистем, так как на частотах выше 60 ГГц наблюдается непрозрачность атмосферы для радиоволн из-за поглощения энергии в атомах кислорода (резонансные частоты поглощения равны 60 и 120 ГГц [1], рис. 9.36). Однако, в последние годы, появился интерес к этим диапазонам для создания безлицензионных радиосистем с пролетами протяженностью 1-2 км.

В условиях очень сухого климата, при малой вероятности осадков или на коротких пролетах, может использоваться диапазон частот 84-86 ГГц и выше в Казахстане имеется аппаратура на диапазон частот 93 ГГц.

1.1 ВЫБОР МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИЙ РРЛ, ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПРОЛЕТОВ И ВЫБОР ВЕЛИЧИН ПОДВЕСА АНТЕНН

Выбор мест расположения станций и построение профилей пролетов необходимо проводить в соответствии с рекомендациями, приводимыми в [1]. При выборе мест расположения станций нужно учитывать принцип "зигзагообразности" линии связи [1], Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. наличие подъездных путей и линии электропередачи, общий рельеф местности, характер почвы и пр. Это достаточно длительный и неоднозначный процесс, так как необходимо проводить выбор из множества возможных вариантов проведения трассы РРЛ. Кроме того, удачный выбор мест расположения станций для одного пролета может быть неприемлемым для соседних пролетов.

При расчете цифровых РРЛ необходимо строить профили каждого пролета при нулевой атмосферной рефракции, нормальной рефракции для данного климатического района и субрефракции.

Известно, что наличие рефракции учитывается так называемой трансформацией профиля. Подробно с методикой построения профилей и трансформацией можно познакомиться в [1]. На рис. 2.1 - показаны характерные примеры продольных профилей пролетов. Рассмотрим характерные особенности этих профилей, их возможные влияния на устойчивость работы линии связи и области применения в различных условиях.

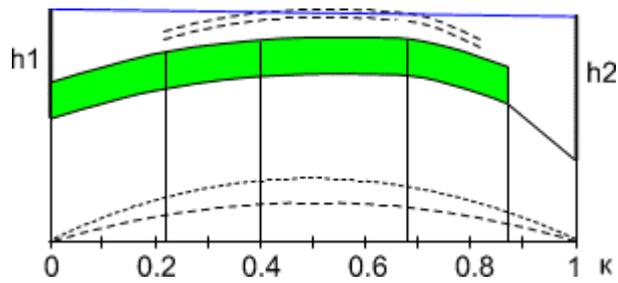


Рисунок 1.12 - Характерный пример продольного профиля пролета

Продольный профиль, показанный на рисунке 1.12, не имеет больших перепадов высот, и значительная часть поверхности покрыта лесом. При длине волны короче 5 см отражения от такой поверхности носят диффузный характер и коэффициент отражения Φh . Следовательно, с точки зрения интерференционных замираний такой вид профиля удачен. Но он неприемлем в случае протяженности пролета в 40 - 60 км, так как, при этом велика вероятность закрытия трассы из-за субрефракции. Ширина препятствия на профиле велика, и в моменты закрытия трассы будут наблюдаться глубокие замирания, которые могут длиться минутами, а то и часами.

Конечно, можно выбрать такую большую величину просвета, чтобы закрытия трассы не могло быть, но, при значительной протяженности пролета высоты подвеса антенн будут слишком велики, что приведет к высокой стоимости линии связи. Поэтому, на длинных пролетах, такая форма профиля интервала нежелательна.

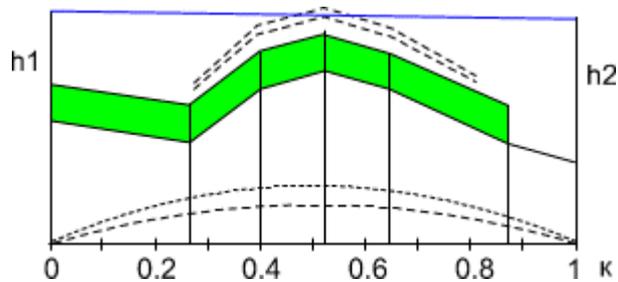


Рисунок 2.2 - Характерный пример продольного профиля пролета с переставленной антенной опорой

На рисунке 2.2 показан профиль того же пролета, но правая антенная опора переставлена на другое место (в данном конкретном случае - на расстояние около 2 км). Видно, что форма препятствия на профиле существенно изменилась. Препятствие стало более острым и, следовательно, при закрытии трассы, замирания сигнала уменьшатся по сравнению с препятствием на рисунке 2.1

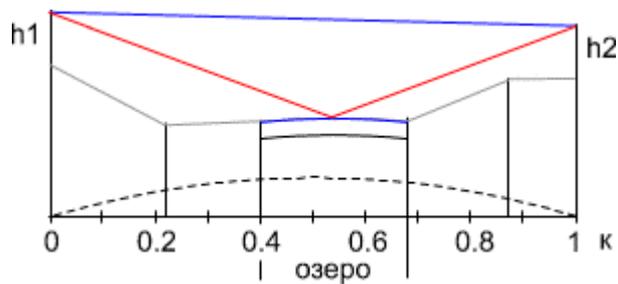


Рисунок 2.3

На продольном профиле (рисунок 2.3) антенные опоры установлены на возвышенных местах, что, на первый взгляд выгодно, так как позволяет получить большую величину просвета при малых высотах антенных опор. Однако на участках пролета с координатами $k = 0.2$ до 0.7 имеются плоские участки, от которых возможно появление отраженных волн, приводящих к интерференционным замираниям. Положение усугубляется тем, что в середине пролета находится водное пространство. Коэффициент отражения от поверхности воды достигает 1 (при отсутствии волнения) и энергия отраженной волны будет равна энергии прямой волны, что приведет к возможному падению мощности сигнала на входе приемника при интерференции до 0.

Длительность интерференционных замираний составляет секунды и доли секунд [1]. В цифровых системах связи интерференционные замирания определяют качественные параметры линии. Поэтому, выбирать пролеты с такими профилями нежелательно. Эти замечания не относятся к коротким пролетам, протяженностью несколько километров, так как отраженной волны может здесь не быть из-за направленных свойств антенных устройств. Например, такой пролет рассчитывался для линии связи, проходящей через Северную Двину. Протяженность пролета составляет 4 км, величина просвета - 15 м, рабочая частота 11 ГГц. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. ГГц, коэффициент усиления антенн 41 дБ. При этом радиус поперечного сечения электромагнитного луча, сформированного направленными свойствами антенны (диаграммой направленности), на середине пролета около 12 м (по уровню половинной мощности). Следовательно, в этих условиях появление отраженной волны невозможно, и данная форма профиля вполне приемлема. При протяженности же пролета 20 км, радиус раскрытия диаграммы направленности антенны (на середине пролета) достигает величин в несколько десятков метров. Значит при такой форме пролета для устойчивой работы линии связи величина просвета должна превышать эти величины.

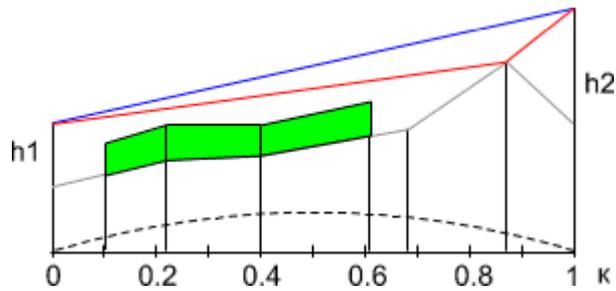


Рисунок 2.4

Профиль пролета, показанный на рисунке 2.4, содержит участок ($k = 0.87$) от которого возможно появление отраженной волны. Но форма препятствия такова, что отражение может произойти от одной точки, а не от какой-то поверхности. В этом случае уровень отраженной волны невелик, и замирания сигнала из-за интерференции не очень глубокие. Параметры, учитывающие отраженную волну можно определить по методике, приведенной в [1, разд. 9.12]. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования.

Отражения от наивысшей точки препятствия на профиле пролета ($k = 0.22$) в данном случае практически отсутствуют, так как эта точка покрыта лесом. Вероятность закрытия трассы из-за субрефракции для данного профиля невелика из-за близости вероятных точек отражения к антенным опорам (точки отражения расположены на краях пролета). Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Поэтому подобные профили пролетов позволяют получить приемлемые результаты работы линии связи.

Еще лучшее качество работы линии связи позволяют получить пролеты, в которых отраженная волна экранируется какими-либо препятствиями на профиле (например, лесом) как показано на рисунке 1.16.

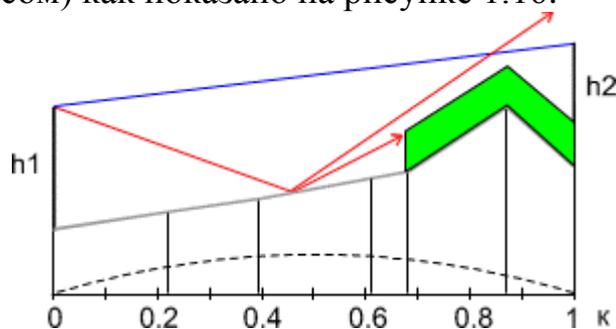


Рисунок 1.16

При наличии таких профилей необходимо проследить, чтобы экранирование отраженной волны происходило при всех значениях градиента диэлектрической проницаемости атмосферы (т.е. при любой возможной трансформации профиля).

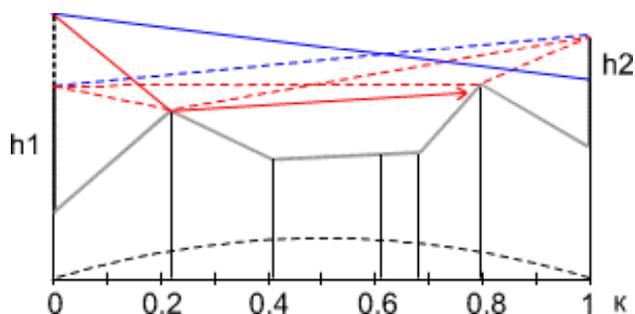


Рисунок 1.17

Профиль пролета (рисунок 1.17) имеет две возможные точки отражения электромагнитных волн. Показанные пунктиром линия прямой видимости и отраженные лучи, получаются здесь при примерно одинаковых высотах подвеса антенн.

Как следует из практики, добиться устойчивой работы цифровой РРЛ при двух или нескольких точках отражения очень трудно и дорого. Стремление получить только одну точку отражения заставляет выбирать разные высоты подвеса антенн (рисунок 1.17). Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. При этом отраженная волна от одного из препятствий, экранируется другим препятствием. Естественно, это условие необходимо проверять при различных трансформациях профиля.

За последние три десятилетия благодаря успехам электроники и освоению диапазонов дециметровых и сантиметровых волн получили развитие радиорелейные линии связи. Цифровые радиорелейные линии определяются высоким качеством передачи сигналов и высокой помехозащищенностью цифровых систем, а также их значительной экономической эффективностью.

В данной диссертационной работе исследуется распространение радиоволн в РРЛ для различных типов местности. Радио релейные линии часто проходят по различным типам географического рельефа местности. В настоящее время существуют проблемы с покрытием связи, как в удаленных местах, так и в горной местности. Так как, это малая плотность населения, удаленность населенных пунктов друг от друга.

Успешное развитие радиосвязи сопровождается увеличением скоростей и объемов передаваемой информации. Для передачи возрастающих потоков информации с малыми потерями используют сигналы с более широкой полосой, что требует расширения диапазона частот, занимаемого системой

связи. В свою очередь, передача сигналов с более широкой полосой требует перехода на более высокие несущие частоты. Тем более, что расширить полосу рабочих частот систем связи в уже освоенных диапазонах волн становится невозможным из-за тесноты в эфире. Исторически сложилось так, что в первую очередь были освоены длинноволновые участки радиодиапазона, а для перспективных радиотехнических систем, как международными соглашениями, так и национальными стандартами, резервировались области более высокочастотных сигналов.

В настоящее время наблюдается сложная ситуация в мире телекоммуникаций. Многие пользователи хотят получать интегрированные услуги телефонии, передачи данных, видео услуги и т.д. В современных реалиях для успешной конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг оператор должен уметь работать с мультисервисным трафиком и, следовательно, эксплуатировать мультисервисную сеть передачи данных. Чтобы потребитель смог воспользоваться какой-либо телекоммуникационной услугой, будь то доступ в Интернет или сервис телефонии. Прежде всего, оператор работающий на рынке услуг связи для конечных пользователей, должен решить задачу бесперебойной надежной работы связи, организовать доставку услуг связи от точки доступа до абонента. Поддерживать широкополосную передачу информации разных типов, быть защищенными от внешних помех и физических воздействий, обеспечивать стабильность технических параметров связи, ее надежность и экономичность.

Особые свойства, которые отличают радиорелейную связь от традиционной проводной, делают ее все более привлекательной для использования в глобальных, региональных и местных сетях передачи данных. Многолетний опыт применения радиорелейных линий выявил ряд достоинств этого вида связи, которые значительно расширяли возможности отрасли в целом:

- обеспечивает высокую надежность канала связи, поскольку нет опасности физического разрушения объектов связи вдоль маршрута;

- обеспечивает возможность работы в самых трудных географических зонах;

- обеспечивает возможность легкого и быстрого монтажа, РРЛ удобна для технического обслуживания.

- экономически выгодная, а в ряде случаев и единственно возможная организация многоканальной связи на территориях, имеющих сложный рельеф (лес, горы, болота и пр.), а также в тех местах, где прокладка кабеля нецелесообразна;

- возможность аварийного восстановления связи магистралей проводной связи путем замены ее поврежденных участков.

- качество связи, не уступающее проводной связи.

Кроме того, РРЛ обеспечивает эффективное использование РЧ спектра при организации сетей передачи информации. РРЛ в сравнении с ВОЛС имеет следующие преимущества и недостатки:

- у РРЛ пропускная способность меньше, чем у ВОЛС;
- ремонтпригодность передающего канала выше у РРЛ, по сравнению с ВОЛС;
- у ВОЛС более длительный срок реализации, по сравнению с РРЛ;
- для ВОЛС требуется создание новой инфраструктуры, а для РРЛ замена аппаратуры.

Поэтому организация в горах наземных (волоконно-оптических, проводных) каналов связи оказывается весьма сложной технически и крайне неэффективной экономически. Большинство операторов связи в целях экономии финансовых средств, стараются инвестировать вложения в густонаселенные места. В этом случае следует учитывать реальный профиль трассы.

Компромиссным решением при построении широкополосных систем связи, предназначенных для работы на больших дальностях, является применение радиорелейных линий связи (РРЛ). Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Радиорелейные линии представляют собой цепочку ретрансляторов, обеспечивающих поочередную передачу радиосигналов между оконечными станциями. Различают два вида радиорелейных систем передачи (РРСП) - РРСП прямой видимости, станции которых размещаются на расстоянии прямой видимости, и тропосферные РРСП, использующие рассеяние и отражение радиоволн в нижних областях атмосферы при взаимном расположении станций далеко за пределами прямой видимости. В РРСП прямой видимости для увеличения расстояния между станциями радиорелейных линий антенны ретрансляторов подвешивают на высокие сооружения (мачты, опоры, высотные строения и т.д.). В условиях равнинной местности высота поднятия антенн 60... 100 метров позволяют организовать уверенную связь на расстояниях 40... 60 километров.

Цепочку радиорелейной линии составляют радиорелейные станции трех типов: оконечные радиорелейные станции (ОРС), промежуточные радиорелейные станции (ПРС), узловые радиорелейные станции (УРС). На оконечной радиорелейной станции начинается и заканчивается тракт передачи. Условная радиорелейная линия связи схематично представлена на рисунке 1.18.

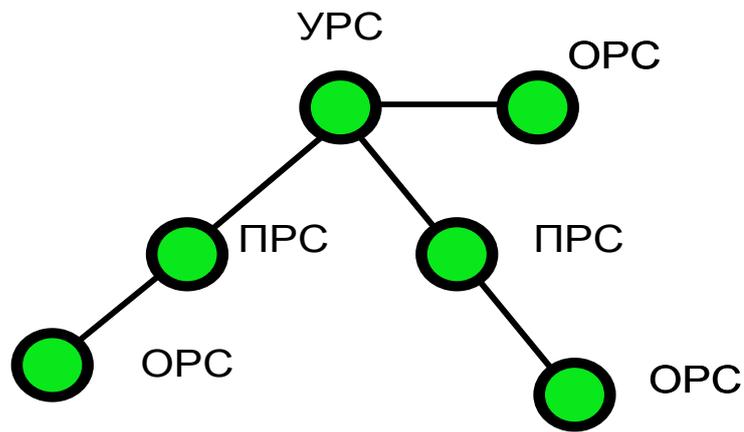


Рисунок 1.18 - Радиорелейная линия связи

Промежуточные радиорелейные станции предназначены для приема сигналов от предыдущей станции радиорелейной линии, усиления этих сигналов и излучения в направлении последующей станции РРЛ. На каждой промежуточной радиорелейной станции установлены по две антенны, ориентированные на соседние РРСП. Аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности, сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Каждая из антенн является приемопередающей, то есть используется и для приема, и для передачи сигналов. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Одним из преимуществ работы радиорелейной линии связи в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне является возможность применения высоконаправленных антенн с малыми габаритами. Небольшие размеры антенн упрощают их установку на высоких сооружениях. Хорошие направленные свойства антенн СВЧ диапазона позволяют облегчить требования к характеристикам приемопередающего тракта.

Если бы частота излучаемого сигнала промежуточной радиорелейной станции была бы равна частоте принимаемого сигнала той же ПРС, существовала бы опасность прохождения мощного сигнала, излученного в направлении последующей РРСП, на вход приемника той же ПРС, принимающего сигнал с противоположного направления от предыдущей РРСП. Объясняется это тем, что, несмотря на хорошие направленные свойства передающей и приемной антенн СВЧ диапазона, все же не удастся полностью исключить возможность попадания мощного сигнала передатчика (пусть и ослабленного направленными характеристиками антенн) на вход приемника с высокой чувствительностью. Такое несанкционированное (паразитное) прохождение сигналов передатчика промежуточной радиорелейной станции на вход приемника той же ПРС стараются уменьшить. В противном случае ПРС может перейти в режим самовозбуждения и, вместо ретрансляции

принятых сигналов, передатчик ПРС будет излучать колебания, не имеющие никакого отношения к передаваемой по РРЛ информации.

Один из способов уменьшения влияния передатчика на работу приемника той же самой ПРС заключается в том, что выходной сигнал ПРС излучают на другой частоте, смещенной относительно частоты принимаемого сигнала на величину сдвига, равного

$$f_{\text{СДВ}} = |f_{\text{ПРД}} - f_{\text{ПРМ}}|, \quad (1.1)$$

где: $f_{\text{ПРМ}}$ - частота принимаемого сигнала;

$f_{\text{ПРД}}$ - частота излучаемого сигнала.

Величину $f_{\text{СДВ}}$ выбирают из условия гарантированного исключения взаимного влияния сигналов на выбранных частотах.

Одна цепочка приемопередатчиков РРЛ образует СВЧ симплексный (т.е. предназначенный для передачи сигналов в одном направлении) ствол. Структура симплексного ствола с учетом плана распределения частот приведена на рисунке 8.2.

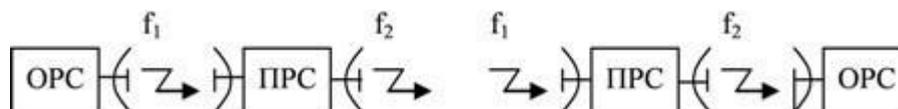


Рисунок 1.19 - Распределение частот в символьном стволе радиорелейной линии

Два симплексных ствола, работающие во встречных направлениях, образуют дуплексный СВЧ ствол. Для передачи сигналов в обратном направлении может быть использована та же пара частот, что и в прямом направлении (двухчастотная система), либо другая пара частот (четырёхчастотная система). Структурная схема одноствольной дуплексной промежуточной радиорелейной станции приведена на рисунке 1.20.



Рисунок 1.20 - Структурная схема дуплексной ПРС

Еще одним сложным вопросом является радиочастотный план. Как известно, радиочастотный ресурс ограничен, поэтому использовать его следует экономно. Для этого важно правильно составить частотный план для радиорелейной линии. Проект сети РРЛ, кроме сведений о количестве и

месторасположении сетевых узлов, должен содержать информацию о номиналах рабочих радиочастот.

При правильном составлении частотного плана можно обойтись всего одной парой частот для построения опорной сети связи масштаба крупного города с населением несколько миллионов человек (рисунок 2). Такой подход позволяет экономить средства как при получении разрешения на использование рабочих радиочастот, так и при покупке комплектов запасных радиопередатчиков (оператор должен иметь несколько запасных комплектов для каждого номинала используемых частот).

При использовании одной пары радиочастот число узлов в опорном кольце сети должно быть четным, что позволяет чередовать частоты приема и передачи в шахматном порядке.

При проектировании радиорелейных линий следует учитывать и возможные изменения условий распространения радиоволн. Так, при повышенной рефракции (искривление направления распространения радиоволн) сигналы могут распространяться далеко за горизонтом. Поэтому колебания, излучаемые радиорелейной станцией с частотой, например, f_1 , могут быть приняты не только соседней станцией, но и станцией, отстоящей от нее через три пролета. Но для последней станции это будет паразитным сигналом, так как она должна принимать сигналы только от ближайшей станции. Нежелательные сигналы от всех других станций будут вызывать ухудшение качества приема.

Для устранения подобных явлений ретрансляторы радиорелейной линии связи располагают не по прямой линии, а зигзагом, так, чтобы не совпадали главные направления соседних участков трассы, использующих одинаковые частоты. При этом используют направленные свойства антенн. Радиорелейные станции разносят от генерального направления радиорелейной линии связи таким образом, чтобы направлению на станцию, отстоящую через три пролета, соответствовали минимальные уровни диаграммы направленности антенны. На рисунке 1.21 показаны три пролета участка трассы РРЛ. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. На крайних пролетах используются одинаковые частоты. На такой трассе даже при сильной рефракции радиоволн сигналы от станций с номерами ПРС_i и ПРС_{i+2} практически не влияют друг на друга. На рисунке заметно, что антенны практически не воспринимают радиоволны, приходящие с направления, лежащего на прямой, связывающей эти станции.

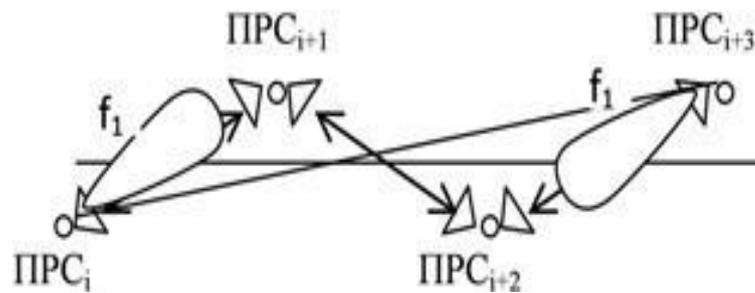


Рисунок 1.21 - Схема расположения ретрансляторов на трассе радиорелейной линии связи

В отличие от радиорелейных станций ретрансляторы не добавляют в радиосигнал дополнительной информации. Ретрансляторы могут быть как пассивными, так и активными.

Пассивные ретрансляторы представляют собой простой отражатель радиосигнала без какого-нибудь приёмопередающего оборудования и, в отличие от активных ретрансляторов, не могут усиливать полезный сигнал или переносить его на другую частоту. Пассивные радиорелейные ретрансляторы применяются в случае отсутствия прямой видимости между радиорелейными станциями; активные - для увеличения дальности связи.

В качестве пассивного ретранслятора могут выступать как плоские отражатели, так и антенны радиорелейной связи, соединённые коаксиальными или волноводными вставками (так называемые антенны, соединённые «спина к спине»). Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Плоские отражатели как правило используются при небольших углах отражения и обладают эффективностью близкой к 100%. Однако с увеличением угла отражения эффективность плоского отражателя уменьшается. Достоинством плоских отражателей является возможность использования для ретрансляции нескольких частотных диапазонов радиорелейной связи.

Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Антенны, соединённые «спина к спине» как правило используются при углах отражения близких к 180° и обладают эффективностью 50-60%. Подобные отражатели не могут использоваться для ретрансляции нескольких частотных диапазонов из-за ограниченных возможностей самих антенн.

Основная особенность организации радиорелейных систем связи в горной местности являются техническая и административная сложность их создания. Поэтому организация в горах наземных (волоконно-оптических, проводных) каналов связи оказывается весьма сложной технически и крайне

неэффективной экономически. Большинство операторов связи в целях экономии финансовых средств, стараются инвестировать вложения в густонаселенные места.

В настоящее время наблюдается сложная ситуация в мире телекоммуникаций. Многие пользователи хотят получать интегрированные услуги телефонии, передачи данных, видео услуги и т.д. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. В современных реалиях для успешной конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг оператор должен уметь работать с мульти сервисным трафиком и, следовательно, эксплуатировать мультисервисную сеть передачи данных.

Чтобы потребитель смог воспользоваться какой-либо телекоммуникационной услугой, будь то доступ в Интернет или сервис телефонии, оператор, работающий на рынке услуг связи для конечных пользователей, должен решить прежде всего две задачи:

- задача построения опорной сети связи;
- организовать доставку услуг связи от точки доступа до абонента (проблема "последней мили").

При этом линии связи должны соответствовать определенным требованиям, в частности:

- обеспечивать надежную бесперебойную связь на определенном
- расстоянии;
- поддерживать широкополосную передачу информации разных типов;
- быть защищенными от внешних помех и физических воздействий;
- обеспечивать стабильность технических параметров связи, ее надежность и экономичность.

Традиционные методы решения описанных задач - создание проводной инфраструктуры связана со многими трудностями (сложность прокладки проводных коммуникаций в условиях городской застройки, продолжительность выполнения и высокая стоимость работ и т.д.).

Радиосвязь по линии, образованной цепочкой приемо-передающих радиостанций, называется радиорелейной связью. Осуществляется обычно на дециметровых и сантиметровых волнах. Этот выбор обусловлен тем, что ширина полосы частот этих диапазонов позволяет работать в нем одновременно многим широкополосным радиопередатчикам с шириной спектра сигналов до нескольких десятков МГц. В этих диапазонах низок уровень атмосферных и промышленных помех радиоприему, а также возможно применение остронаправленных (с малым углом излучения) малогабаритных антенн.

Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного

моделирования. Особые свойства, которые отличают радиорелейную связь от традиционной проводной, делают ее все более привлекательной для использования в глобальных, региональных и местных сетях связи. В тех случаях, когда требуется осуществить быстрое развертывание сети передачи данных в районах с неразвитой связной инфраструктурой или при создании сетей передачи данных, обслуживающих подвижных абонентов, радиорелейной связи нет альтернативы. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Современные экспертные оценки признают, что линии связи на основе радиорелейного оборудования во многих случаях могут быть альтернативой волоконно-оптическим (ВОЛС). Дело не только в дешевизне радиорелейных линий, но в том, что за 60-летнюю историю развития радиорелейной связи оборудование РРЛ достигло такого технического уровня, что качество построенных на его основе линий не уступает ВОЛС. При этом оно позволяет оперативно развертывать сети связи с различной топологией: "звезда", "магистраль", "кольцо" и пр., а также может быть использовано в условиях, когда прокладка оптического кабеля невозможна.

Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования. Современная цифровая РРС – сложный технический комплекс, в который входят приемопередатчик, модем, мультиплексор, приемопередающие антенны, система автоматического резервирования, система телеуправления и телесигнализации, контрольно-измерительная аппаратура, устройства служебной связи, система электропитания. Рассмотрим функции основных устройств: приемопередатчика, модема и мультиплексора. Приемопередатчик РРС – устройство, которое выполняет функции приема и передачи модулированных электрических колебаний заданных частот. Приемник выделяет электрический сигнал заданной частоты из сигналов, принятых приемной антенной.

Основная часть энергии передатчика распространяется в сторону приемной антенны внутри минимальной зоны Френеля, представляющей эллипсоид вращения с фокусами в точках передающей и приемной антенн. Радиус минимальной зоны Френеля в любой точке пролета можно определить по формуле:

$$H_0 := \sqrt{R_0 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot \frac{k \cdot (1 - k)}{3}}$$

$$H_0 = \sqrt{16.4 \cdot 10^3 \cdot 0.023 \cdot \frac{0.768 \cdot (1 - 0.768)}{3}} = 4.733. \text{ (м)}$$

Определяется среднее приращение просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени:

$$\Delta H(g + \sigma) = -(R_0)^2 \cdot \frac{(g + \sigma) \cdot k \cdot (1 - k)}{4}$$

$$\Delta H(g + \sigma) = -(16.4 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{(-13 \cdot 10^{-8} + 10 \cdot 10^{-8}) \cdot 0.768 \cdot (1 - 0.768)}{4} = 0.359 \text{ , (м)}$$

g и a - соответственно среднее значение и стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы для Прикаспийской низменности [2] $g = -13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, $\sigma = 10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$;

Определим величину просвета в отсутствие рефракции радиоволн

$$H(0) = H_0 - \Delta H(g + \sigma) = 4,733 - 0,359 = 4,374 \text{ (м)} \quad (3.9)$$

На практике осуществляется предварительный выбор радиотрассы и мест расположения площадок (в нашем случае точки C и Z), затем осуществляется построение профиля пролета с помощью разновысотных контурных карт (по рекомендации ИТУ масштаб должен быть по крайней мере 1/50000) и учет путем осмотра местности высоты растительности и зданий. Затем можно приступить к определению высот подвеса антенн.

Высоты подвеса антенн определяют с помощью формул:

$$h_1 = NM + H(0) + Z_1 - CD \quad (3.10)$$

$$h_2 = NM + H(0) + Z_1 - ZY \quad (3.11)$$

Подставляя известные и найденные ранее значения, получаем:

$$h_1 = 613 + 4.374 + 3.762 - 615 = 2.374, \text{ (м)}$$

$$h_2 = 613 + 4.374 + 3.762 - 619 = -1.626, \text{ (м)}$$

Из полученных значений можно сделать вывод, что антенна на крыше здания, где расположен офис клиента, не требует подвеса, что обусловлено малой длиной пролета, соответственно, пренебрежимо малым влиянием кривизны Земли, и тем, что офис клиента находится выше препятствий. Антенну над офисом ТОО «СА-Телком» поднимаем на мачту в 2,5 метра.

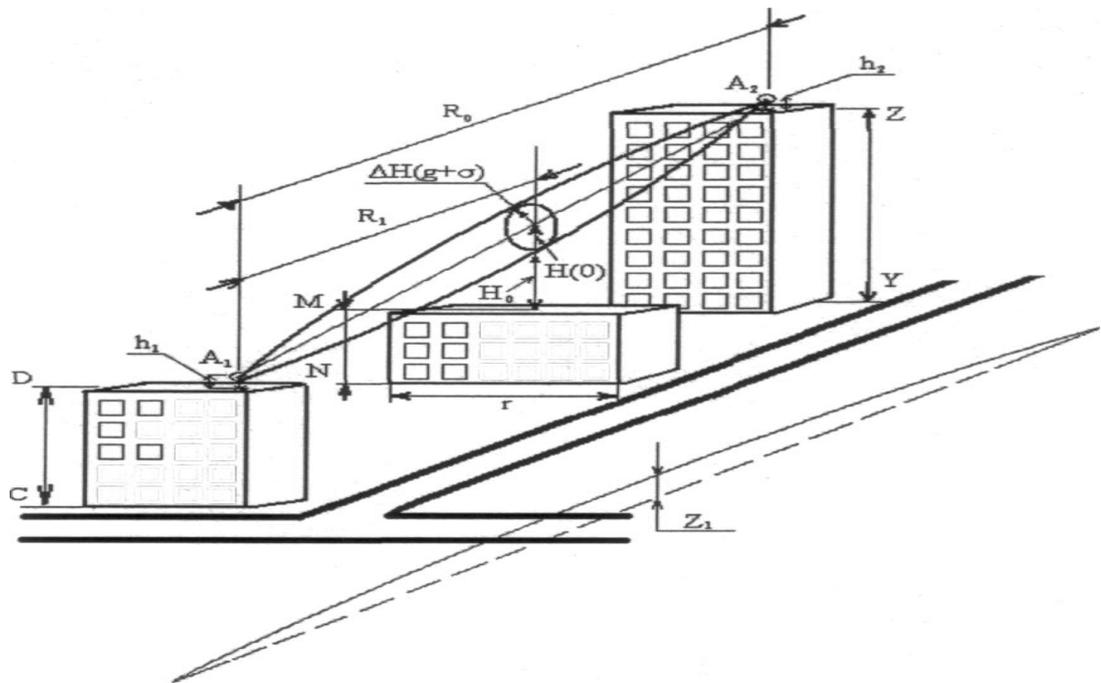


Рис. 3.2. Принятые обозначения для профиля пролета РРЛ.

На рисунке 3.2 приведён профиль пролета РРЛ (вертикальный разрез местности, проходящий через места установки антенн). Принятые обозначения:

– A₁, A₂ - приемо-передающие антенны РРЛ; h₁, h₂ - высоты подвеса антенн; CD, MN, ZY - высоты местности; M - критическая точка (вершина препятствия); Z₁ - реальная кривизна Земли; H(0) -- просвет на пролете при отсутствии рефракции; ΔH(g+a) - среднее значение изменения просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени; H(g+a) просвет на пролете, существующий в течение 80% времени, который, как правило, берут равным H₀.

3.2. Энергетический расчет РРЛ и программная реализация определения высоты подвеса антенн РРЛ

Вычислим ослабление сигнала на пути распространения между антеннами за счет сферической расходимости фронта волны:

$$L_0 = 20(\log(f) + \log(R_0)) + 32.45 \quad (3.12)$$

$$L_0 = 20 (\log(13000) + \log(16.4)) + 32.45 = 139.026 \cdot (\text{дБ})$$

где частота подставляется в МГц, а расстояние в километрах. Определим усиление антенны (частота подставляется в ГГц):

$$G_a = 20(\log(f) + \log(D_a)) + 18.45 \quad (3.13)$$

$$G_a = 20 \cdot (\log(13) + \log(0.6)) + 18.45 = 36.292 \cdot (\text{дБ})$$

где D_a - диаметр антенны, м.

Определим запас на замирание:

$$F_t = SG + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - L_0 - 2 \cdot \eta \quad (3.14)$$

$$F_t = 110 + 36.292 + 36.292 - 139.026 - 5 = 38.558 \cdot (\text{дБ})$$

Для MINI-LINK 13-E коэффициент системы равен $SG = 110$ дБ;

η - КПД антенно-фидерного тракта ($2\eta \approx 5\text{дБ}$);

L_0 - затухание радиоволн в свободном пространстве;

$G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$ - коэффициент усиления передающей и приемной антенн соответственно ($G_{\text{прд}} = G_{\text{прм}} = G_a$).

Программа расчета высот подвеса антенн РРЛ реализована на языке Borland Delphi 7 и программа приведена в приложении В.

Ниже на рисунке 3.3 приведен пользовательский интерфейс программного продукта.

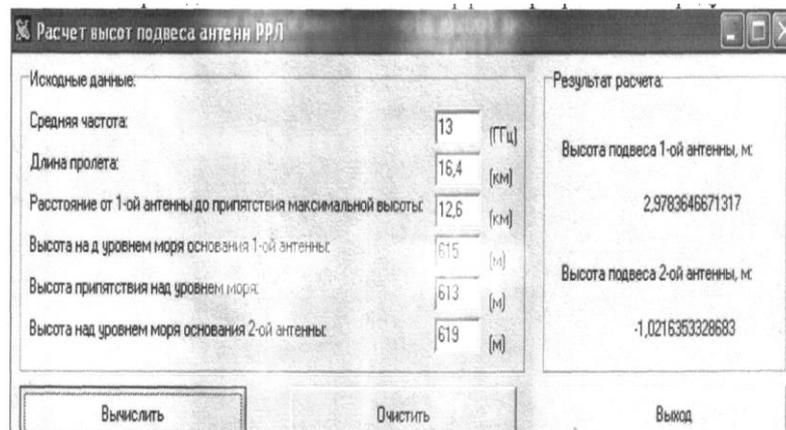


Рис. 3.3. Пользовательский интерфейс программы расчета высот подвеса антенн РРЛ

Таким образом, были сделаны расчеты для пролета радиорелейной линии связи между узлом компании и офисом клиента.

3.3. Расчет устойчивости связи

Суть данного расчёта заключается в определении процента времени ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала T_{Σ} и устойчивость связи оценивается по выполнению неравенства: $T_{\Sigma} < T_{\text{доп}}$ (где $T_{\text{доп}}$ допустимая вероятность ухудшения качества связи на данной РРЛ в соответствии с нормами ITU-R).

$$T_{\Sigma} = \sum T_{\text{пр}i} \text{ (сумма для всех пролетов РРЛ).}$$

Так как глубокие замирания на пролете обусловлены различными независимыми между собой причинами, то в общем случае

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_0(V_{\text{мин}}) + T_{\text{ИНТ}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{Д}}(V_{\text{мин}}), \quad (3.15)$$

где T_0 - учитывает экранирующее действие препятствия;
 $T_{\text{ИНТ}}$ - учитывает интерференцию прямого и отраженного лучей (явление многолучевого распространения), отражения радиоволн от Земли учитывается, как правило, лишь при слабопересеченных пролетах;
 $T_{\text{Д}}$ - ослабление сигнала из-за дождей.

Каждое из слагаемых в формуле определяется на основе соответствующих статистических данных, характерных для данного климатического района (эти данные в технической литературе приводятся, как правило, в виде графиков).

ITU рекомендует при глубоких замираниях вследствие многолучевого распространения оценивать $T_{\text{ИНТ}}$ в худший месяц с помощью приближенного асимптотического выражения:

$$T_{\text{ИНТ}} = \frac{K_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0) \cdot P_{\text{прм}} \cdot (T)}{P_{\text{прм}} \cdot (100)} = K_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0)^C \cdot 10^{\frac{-Ft}{10}} \quad (3.16)$$

где $K_{\text{кр}}$ - коэффициент, учитывающий влияние климата и рельефа местности;

Q - учет других параметров пролета;

B, C - учет региональных эффектов;

f - частота (ГГц); R_0 - длина трассы (км); $P_{\text{прм}}(T)$ мощность сигнала на входе приемника, вероятность непревышения которой равна T .

Для территории бывшего СССР рекомендованы эмпирические значения параметров: $K_{\text{кр}} \cdot Q = 0,41 \cdot 10^{-3}$ (для зон с умеренно континентальным климатом или среднеширотных со средне всхолмленным рельефом); $B=0,89$; $C=3,6$.

С учётом всего вышеперечисленного найдём $T_{\text{ИНТ}}$:

$$T_{\text{ИНТ}} = 0,41 \cdot 10^{-3} \cdot 13^{1,5} \cdot 16,4^{3,6} \cdot 10^{\frac{-38,558}{10}} = 5,358 \times 10^{-5}.$$

При проектировании РРЛ ослабление сигнала из-за дождей начинают учитывать с частоты 5 ГГц и выше (т. к. чем выше частота, тем сильнее влияние дождя на распространение радиоволн). Приблизительная оценка затухания в осадках может быть выполнена в соответствии с Рекомендацией Р. 837 ITU-R. Здесь Земля поделена на 15 дождевых климатических зон (обозначения А-Q). Для каждой зоны приведена статистика интенсивности дождя $R_{0,01}$ (мм/час) значение, превышаемое для 0,01% времени. Для Казахстана это зона Е, для которой $R_{0,01}=22$ мм/час.

Удельное затухание определяется отдельно для горизонтальной и вертикальной поляризации с помощью формулы:

$$\gamma = k \cdot (R_{0.01})^\alpha \quad (3.17)$$

Для 13 ГГц $k_H = 0,0235$; $\alpha_H = 1,201$; $k_V = 0,0215$; $\alpha_V = 1,182$:

$$\gamma_H = k_H \cdot R_{0.01}^{\beta_H} = 0.235 \cdot 22^{1.201} = 0.962 \cdot \left(\frac{\partial B}{\text{км}}\right)$$

$$\gamma_V = k_V \cdot R_{0.01}^{\alpha_V} = 0.0215 \cdot 22^{1.182} = 0.830 \cdot \left(\frac{\partial B}{\text{км}}\right)$$

Поскольку интенсивность дождя неравномерно распределена по всей длине пролета rq , вводится эффективная длина трассы

$$d_{\text{Э}} = r \cdot R_0 \quad (3.18)$$

где r - коэффициент уменьшения:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{d_0}} \quad (3.19)$$

d_0 - опорное расстояние:

$$d_0 = R_0 \cdot e^{-0.015 R_{0.01}} \quad (3.20)$$

$$d_0 = 16.4 \cdot e^{-0.01522} = 11.73 \cdot (\text{км})$$

Тогда:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{16.4}{11.79}} = 0.418$$

$$d_{\text{Э}} = r \cdot R_0 = 0.418 \cdot 16.4 = 6.855 \cdot (\text{км})$$

Оценка затухания на трассе, которая превышает для 0,01% времени, определяется выражением:

$$A_{0.01} = \gamma \cdot d_{\text{Э}} \quad (3.21)$$

$$A_{0.01H} = \gamma_H \cdot d_{\text{Э}} = 0.962 \cdot 6.855 = 6.595 \cdot (\text{дБ})$$

$$A_{0.01V} = \gamma_V \cdot d_{\text{Э}} = 0.830 \cdot 6.855 = 5.69 \cdot (\text{дБ})$$

Процент времени ухудшения качества связи из-за затуханий в дожде:

$$11.628 \left(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log \left(0.12 \frac{A_{0.01}}{A_T} \right)} \right) \quad (3.22)$$

$T_D = 10$

где $A_T = F_t = 38.558$ Дб

$$\frac{A_{0.01H}}{A_T} = \frac{6.595}{38.558} = 0.171 \quad \frac{A_{0.01V}}{A_T} = \frac{5.69}{38.558} = 0.148$$

Т.о. получим:

$$T_{\text{ДН}} = 10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \log(0.12 \cdot 0.171)})} = 4.776 \cdot 10^{-6} \cdot \%$$

$$T_{дв} = 10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \log(0.12 \cdot 0.148)}) - 1.442 \times 10^{-6}} \%$$

Определение процента времени ухудшения связи из-за субрефракции (То). Среднее расстояние просвета на пролете.

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g) = H(0) - \frac{(R_0)^2}{4} g \cdot k \cdot (1 - k) \quad (3.23)$$

$$H(g) = 4.374 - \frac{(16.4 \cdot 10_3)^2}{4} \cdot (-13 \cdot 10^{-8}) \cdot 0.768 \cdot (1 - 0.768) = 5.931 \cdot (M)$$

Относительный просвет:

$$P(g) = \frac{H(g)}{H(0)} \quad (3.24)$$

$$P(g) = \frac{5.931}{4.374} = 1.356$$

Определяем параметр μ и l , характеризующий аппроксимирующую сферу:

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{k^2 \cdot (1 - k^2)}{l^2}} \quad (3.25)$$

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0.768^2 \cdot (1 - 0.768^2)}{(8.537 \times 10^{-4})^2}} = 30.065$$

где $l = \frac{r}{R_0} = \frac{0.014}{16.4} = 8.537 \times 10^{-4}$; r - ширина препятствия.

Определим минимальный множитель ослабления из рисунка 2.15 [1] по известному параметру μ :

$$V_0(\mu) = V_0(30.065) = -8.5(dB)$$

Найдем минимально-допустимое значение множителя ослабления.

$$V_{мин} = \frac{-Ft}{2} \quad (3.26)$$

$$V_{мин} = \frac{-38.558}{2} = -19.279 \cdot (дБ)$$

Рассчитаем значение относительного просвета, при котором наступает глубокое замирание сигнала, вызванное экранировкой препятствием минимальной зоны Френеля:

$$P(g) = \frac{V_0(\mu) - V_{мин}}{V_0(\mu)} \quad (3.27)$$

$$P(g) = \frac{-8 - (-19.279)}{-8} = -1.41$$

Рассчитаем параметр:

$$\Psi = 2.31 \cdot A(p(g) - p(g_0)) \quad (3.28)$$

где

$$A = \frac{1}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(R_0)^3 \cdot k \cdot (1-k)}} \quad (3.29)$$

$$A = \frac{1}{10 \cdot 10^{-8}} \cdot \sqrt{\frac{0.023}{(16.4 \cdot 10^3)^3 \cdot 0.768 \cdot (1-0.768)}} = 1.711$$

Подставим значение А и получим:

$$\Psi = 2.31 \cdot A \cdot (P(g) - P(g_0)) = 2.31 \cdot 1.711 \cdot [1.356 - (-1.41)] = 10.932 .$$

Значение T_0 определяем из рисунка 2.16 [1]:

$$T_0(V_{\min}) = 0.00001 = 10^{-5} \%$$

Вычислим T_{Σ} :

$$T_{\Sigma} = T_{\text{инт}} + T_{\text{д}} + T_0, \quad (3.25)$$

$$T_{\Sigma} = T_{\text{инт}} + T_{\text{д}} + T_0 = 5.358 \times 10^{-5} + 4.776 \times 10^{-6} + 10^{-5} = 6.836 \times 10^{-5}$$

$$T_{\text{доп}} = 0.03 \cdot \frac{R_0}{1600} = 0.03 \cdot \frac{16.4}{1600} = 3.075 \times 10^{-4} .$$

Так как $T_{\Sigma} < T_{\text{доп}}$. можно сделать вывод, что связь на участке устойчива.

3.4 . Расчет дальности беспроводных каналов диапазона 2,4 ГГц

Порядок расчета

Возможны 5 различных вариантов радиолиний, представленные в первой таблице. Для выбранного варианта вычисляется значение усиления линии Y (значения переменных, входящих в формулы, представлены в таблицах) и на рисунке 3.4 приведен график, по графику определяется дальность.

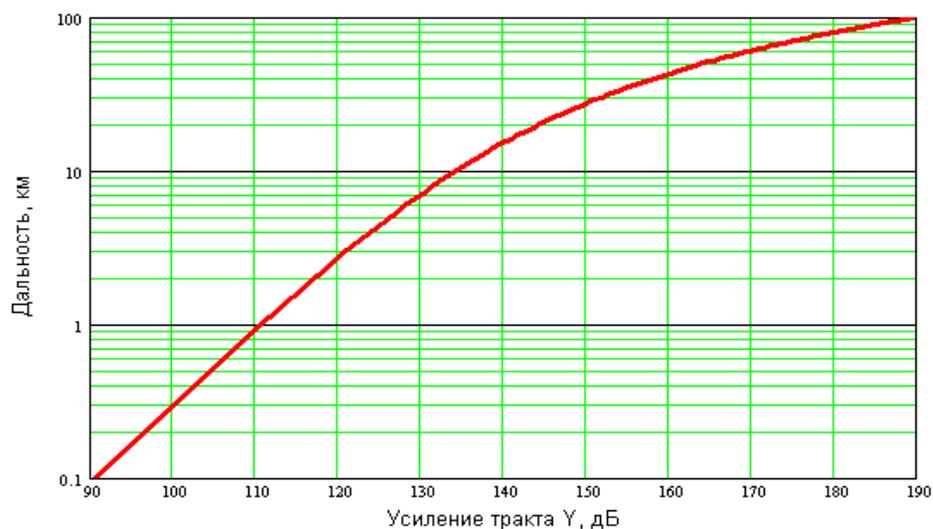


Рис. 3.4. График зависимости усиления линии Y от дальности.

Порядок расчета: вычисляется Y и по графику определяется дальность.

Вариант радиолинии	Формула для расчета Y
1. Со штатными антеннами без усилителей.	$P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
2. С внешними антеннами без усилителей.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
3. С внешними антеннами и передающими усилителями.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
4. С внешними антеннами и приемными усилителями.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)
5. С внешними антеннами и приемо-передающими усилителями.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)

В нашем случае вариант радиолинии с внешними антеннами без усилителей.

Исходные данные для расчета Y .

1. Выходная мощность $P_{\text{прд}}$ и коэффициенты усиления штатных антенн $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$.

У нас выходная мощность BU-DS.11D: $P_{\text{прд}} = 24$ дБм.

2. Реальная чувствительность приемника P_{min} дБм при BER=1e-5 (зависит от скорости передачи)

В нашем случае для BreezeNET DS.11 реальная чувствительность приемника:

$$P_{\min} = -84 \text{ дБм}$$

3. Затухание в кабеле $J_{\text{прд}}$, $J_{\text{прм}}$ определяется как произведение

Используется кабель РК50-17-51, следовательно погонное затухание составляет 0,09 дБ/м. В расчете на одну антенну берется 15 м кабеля. Получаем, что затухание в кабеле: $J_{\text{прд}}=0,09*15=1,35$ дБ; $J_{\text{прм}}=0,09*15=1,35$ дБ.

4. Коэффициент усиления антенны G

Коэффициент усиления антенны:

OD12-2400, $G_{\text{прд}}=12$ дБи; CA130094, $G_{\text{прм}}=24$ дБи.

5. Характеристики усилителей

Подставляем данные в общую формулу для значения усиления линии и получаем:

$$Y = P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\min} = 24 - 1,35 + 12 + 24 - 1,35 - (-84) = 141,3 \text{ дБ}$$

$Y=141,3$ соответствует по графику дальности равной 17 км, что не противоречит расположению малых офисов относительно главного офиса. (3 малых офиса находятся от главного офиса на расстояниях в 15 км).

Высоту установки антенн при условии идеально гладкой Земли можно определить по следующему графику (рис. 3.5).

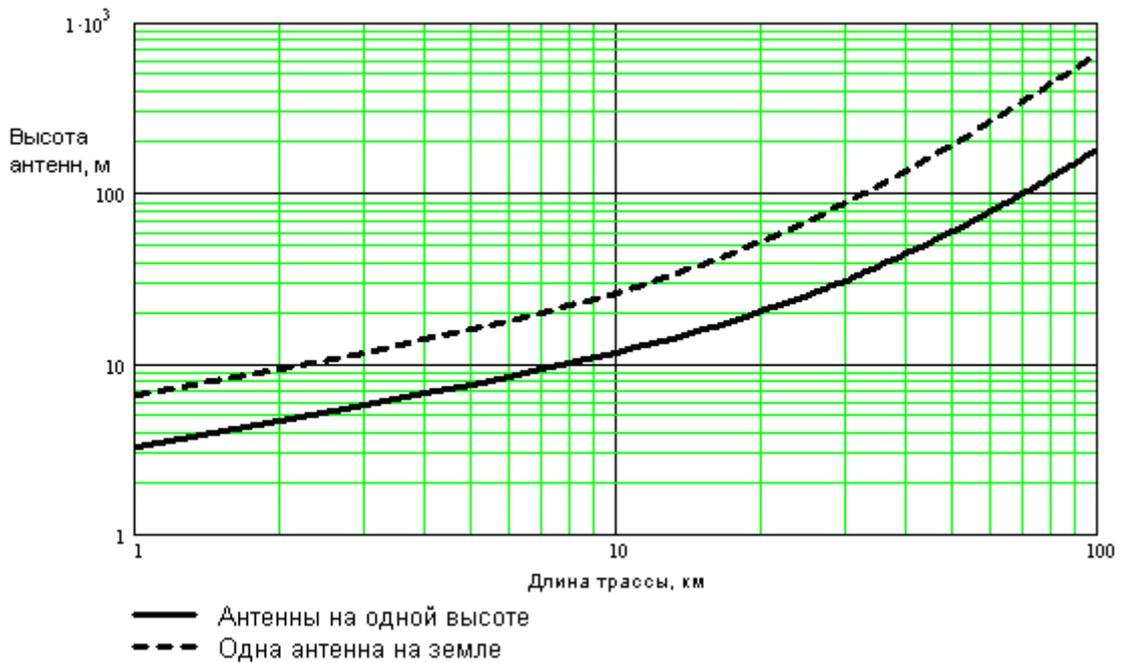


Рис. 3.5. Определение высоты антенны от длины трассы.

При расстоянии между малым офисом и главным офисом в 15 км получаем, что антенна главного офиса должна быть на высоте в 15 метров, а антенна малого офиса, с учетом того что препятствия не должны закрывать прямую видимость и с учетом того что Земля круглая, должна быть на высоте 5 метров.

Практически все расчеты в радиотехнике ведутся в децибелах. Для перевода в децибелы необходимо взять десятичный логарифм числа и умножить его на 10. Например, 1 000 000 будет равно 60 дБ, а 0,001 - -30 дБ. Преимущества использования децибелов состоят в том, что вместо умножения исходных чисел достаточно сложить их в децибелах, а для деления - вычесть из делимого делитель, также выраженные в децибелах. Еще одно преимущество - отсутствие необходимости написания большого количества нулей или использования показателей степени.

Необходимо знать энергетические параметры радиолинии, входящие в выражение для мощности полезного сигнала на входе приемника и реальную чувствительность приемника. Мощность полезного сигнала в точке приема определяется выражением:

$$P_{\text{ПРМ}} = \frac{P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРМ}} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L_{\text{ДОП}} Z}, \quad (3.30)$$

Это же выражение в децибелах имеет вид

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20 \lg \lambda - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(r) - L_{\text{доп}} - Z. \quad (3.31)$$

В этих выражениях используются следующие параметры радиолинии:

$P_{\text{прд}}$ - выходная мощность передатчика Оборудование беспроводных сетей обычно имеет выходную мощность в пределах от 8 до 20 дБм.

$G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$ - коэффициенты усиления передающей и приемной антенны. Какую антенну назначить передающей, а какую приемной - разницы нет. Коэффициенты усиления типовых антенн беспроводных сетей имеют значения от 2 до 24 дБи, т.е. децибел по отношению к коэффициенту усиления изотропной антенны, равномерно излучающей во всех направлениях с единичным усилением (0 дБ).

Для нашего случая значения таковы:

$$P_{\text{прд}}=24 \text{ дБм}; G_{\text{прд}}=12 \text{ дБи}; G_{\text{прм}}=24 \text{ дБи}; \lambda=0,125 \text{ м}; r=15000 \text{ м};$$

$L_{\text{доп}}=10$ дБ, но учитывая величину погонного затухания в кабеле общей длиной 30 метров (это в расчете на 2 антенны сразу) при $j_{\text{прм}}=0,09$ дБ/м и $j_{\text{прд}}=0,09$ дБ/м, получаем: $L_{\text{доп}}=10+0,09*(15+15)=10+2,7=12,7$ дБ; $Z=5$ дБ.

Итак, мощность полезного сигнала в точке приема определяется выражением:

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20 * \lg \lambda - 20 * \lg(4\pi) - 20 * \lg(r) - L_{\text{доп}} - Z$$

$$P_{\text{прм}}=24+12+24+20*\lg(0,125)-20*\lg(4*3,14)-20*\lg(15000)-12,7-5=-81,26 \text{ дБ.}$$

Далее рассчитаем высоту подвеса антенн. Для ориентировочной оценки на ровном рельефе при одинаковой высоте антенн можно использовать простую формулу, учитывающую сферичность Земли и расстояние между антеннами. Высота подвеса антенн в метрах равна:

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{r}{8,24} \right)^2 + 4,47\sqrt{r} \quad (3.32)$$

где r - расстояние между антеннами в километрах.

Когда одна антенна находится на уровне поверхности Земли, коэффициент 8,24 в формуле надо заменить на 4,12.

В нашем случае: $h_1=h_{\text{прд}}=15$ м; $h_2=h_{\text{прм}}=5$ м.

3.5 Моделирование процесса передачи трафика TCP по реальному РРЛ

При передаче данных по радиоканалу размер окна передачи играет большую роль, определяя скорость передачи данных. При недостаточном размере окна передачи ресурсы канала будут использоваться неэффективно. Отправитель пошлет без подтверждения объем информации, равный размеру окна и будет ждать квитанции. Если время передачи отправленных данных и квитанции значительно, пропускная способность канала будет использована только частично [52].

Величина окна передачи определяется размером буфера передачи файла конечной точки соединения (socket). Зависимость скорости передачи данных TCP по спутниковому каналу от величины буфера передачи определим следующим образом

Время передачи сегмента данных равно

$$T_1 = T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.33)$$

где:

$T_s \cong 300$ мс - время распространения сигнала, в случае спутникового канала, L_s - длина сегмента.

Время передачи квитанции, учитывая маленький размер квитанции, будем считать равным $T_2 = T_s$.

Суммарное время, которое проходит с момента отправления сегмента с данными ко времени получения квитанции равно (3.34)

$$T = T_1 + T_2 = 2T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.34)$$

Получаемая скорость передачи данных, находящихся в буфере передачи, при этом равна (3.35)

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{L_s}{2T_s + \frac{L_s}{C}} \quad (3.35)$$

где

$T_s \cong 300$ мс, L_b - длина буфера передачи

Для простоты считаем все сегменты одинаковыми, однако реально последний сегмент из-за недостаточного места в буфере передаче может быть меньше. Случай передачи с флагом TCP_NODELAY, когда данные в буфере передачи не накапливаются, а отправляются по мере появления, не рассматривается.

С учетом того, что по мере увеличения окна, буфер передачи не будет передан полностью к моменту приема квитанции от первого принятого получателем сегмента, верхнее равенство следует переписать в следующем виде:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_1 + \frac{L_1}{C}} \quad (3.36)$$

Учитывая также, что длина буфера передачи может быть меньше размера сегмента TCP, введем поправку на этот случай и окончательно получим:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_s + \text{MIN}(\frac{L_1}{C}, L_s)} \quad (3.37)$$

Максимальное значение скорости передачи достигается при

$$L_b = C \cdot 2T_s$$

Соотношение (3.37), например, определяет условие, при котором квитанция отправителю приходит еще до того, как заканчиваются данные в буфере передачи.

Теоретический и экспериментальный графики зависимости скорости передачи от размера буфера передачи изображены на графиках ниже (рис. 3.6).

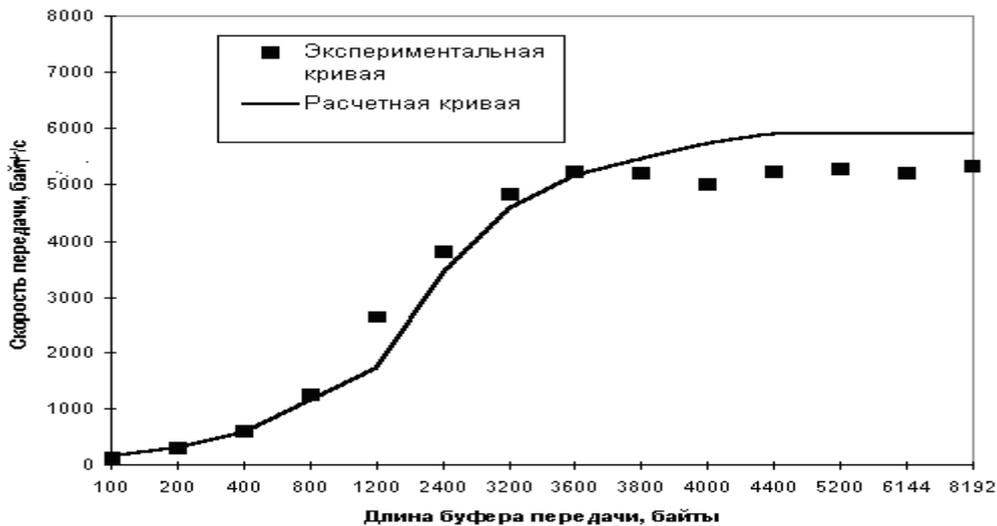


Рис. 3.6. Экспериментальный и расчетный графики зависимости скорости передачи трафика TCP от размера буфера передачи.

Таким образом, при скорости 64 кБит/с и задержке "туда-обратно" 600 мс грубая оценка необходимого размера окна передачи дает величину примерно 4.7 Кбайт. Вероятность сбоя для этого объема данных примерно 0.3%. Это говорит о том, что приблизительно каждую тысячную секунду содержимое буфера передачи полностью или частично придется передать повторно. Поэтому в нашем случае влиянием битовой достоверности канала на максимальную скорость передачи данных можно пренебречь. Однако, по мере увеличения скорости канала и времени задержки она будет увеличиваться.

Выводы по главе III

1. Расчет РРЛ показал, что антенна на крыше здания, где расположен офис клиента, не требует подвеса, что обусловлено малой длиной пролета, соответственно пренебрежимо малым влиянием кривизны земли и тем, что офис клиента находится выше препятствия. Для MINILINK13E коэффициент системы равен $SG=110\text{dB}$. Результаты расчета по устойчивости связи на РРЛ показали, что $T_{\Sigma} = T_{дон} (6,836 \cdot 10^{-5} < 3,075 \cdot 10^{-4})$ и что связь на участке устойчива.

2. Установлено, что величина чувствительности приемника, определяющая минимально необходимую для нормального приема мощности полезного сигнала на входе приемника для беспроводных сетей линий, составляет в пределах от -94 до -67dB;

4. Для исследования влияния задержек в канале на скорость передачи интерактивного трафика было проведено моделирование на спутниковом канале 64 кБит/с и установлено, что среднее время передачи одного пакета

составило 700мс. В локальной сети Ethernet в аналогичных условиях время задержки ~ 10 мс.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы реализации расчета высот подвеса антенн РРЛ

```
unit Unit1; interface uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label 1: TLabel;
    Label 2: TLabel;
    Label 3: TLabel;
    Label 4: TLabel;
    Label 5:
      TLabel;
    Label 6: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label110: TLabel;
    Label111: TLabel;
    Label112: TLabel;
    GroupBox2:
      TGroupBox;
    Label113: TLabel;
    Label114: TLabel;
    Label115: TLabel;
    Label116: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
```

```

procedure Button1Click(Sender: TObject); private
{Private declarations} public
{Public declarations}end; var
Form1: TForm1; implementation {SR* dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject); varf,RO,Rl,CD,-
MN,ZY,kl,HO,deltaH,HOO,h1,h2,lyamda:real;

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы реализации расчета высот подвеса антенн РРЛ

```

begin
f:=StrToFloat(Edit1.Text);
RO:= StrToFloat(Edit2.Text);
RL:= StrToFloat(Edit3.Text);
CD:= StrToFloat(Edit4.Text);"
MN:= StrToFloat(Edit5.Text);
ZY:= StrToFloat(Edit6.Text);
lyamda:= 300000000/(f* 1 000000000);
kl:= Rl/RO;
HO:= sqrt((RO* 1000* lyamda* kl* (1-kl))/3);
deltaH:=-sqr(RO* 1000) * (2* 1e-8* kl* (1-kl))/4
HOO:= HO-deltaH;
h1:=MN+HOO-CD;
h2:=MN+HOO-ZY;
Label15.Caption:=FloatToStr(h1);
Label16.Cation:=FloatToStr(h2);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender:TObject);

begin
Edit1.Text: =";
Edit2.Text: =lf;
Edit3.Text: =M;

Edit4.Text:- ' ;
Edit5.Text: =";
Edit6.Text: =";
Label 15. Caotion: =";
Label 16. Caption:=
Procedure TForm1.Button3Click(Sender:TObject);
begin
Form1.Close;
end;

```

end.

2 Выполнение эксперимента

Радиоволны дециметрового (ДЦВ) и сантиметрового диапазонов (СВ) распространяются в основном за счет поверхностной волны прямолинейно. Поэтому связь с ее помощью может быть организована только на дальности прямой видимости. Для того чтобы максимально увеличить расстояние прямой видимости между РРС, их антенны устанавливают на мачтах или башнях высотой 70-100 м и по возможности на возвышенных местах в зависимости от профиля рельефа, (рисунок 2.1).

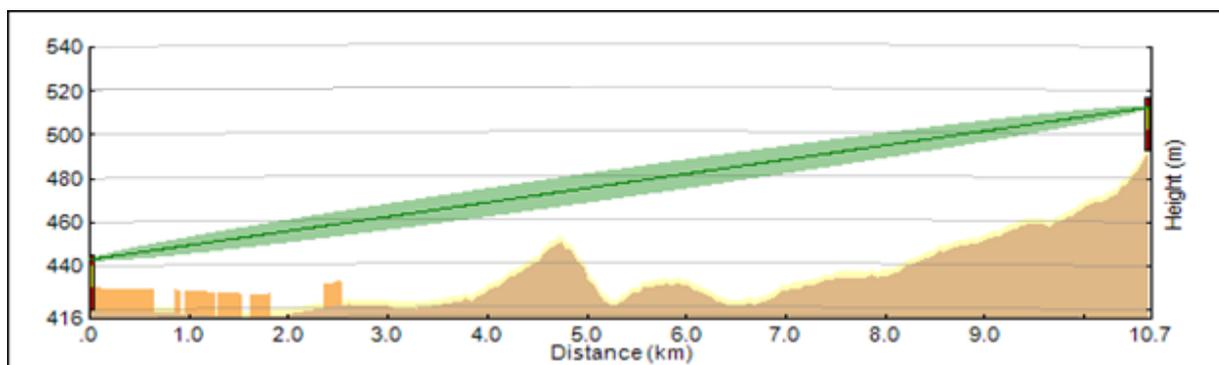


Рисунок 2.1 –Расстояние прямой видимости

Максимальная дальность радиорелейной связи определяется не только физической прямой видимостью, но и радиовидимостью (для высоких частот чтобы 1-я зона Френеля не касалась поверхности), которая зависит от:

- частотного диапазона используемых РРС, емкости ствола (скорость потока),
- диаметра антенн.

На равнинной местности расстояние между РРС обычно составляет 40-70 км.

Проведен эксперимент с помощью программ Mini-Link Craft 2.20, Google Earth, Mentum Ellipse.

2.1 Описание используемого оборудования и их характеристики

MINI-LINK TN является гибким, масштабируемым и эффективным решением для организации транспортных радиорелейных каналов. Данное решение применимо как для построения мобильных сетей 2G/3G, так и сетей фиксированной связи, в том числе предоставляющих широкополосные услуги. Использование MINI-LINK TN позволяет осуществлять гибкое проектирование и быстрое развертывание современных телекоммуникационных сетей.

В состав системы MINI-LINK TN входят масштабируемые узлы с функциями мультиплексирования каналов PDH и SDH, маршрутизации трафика, а также с поддержкой механизмов защиты на уровне узла и на уровне сети. Существует возможность гибкого подбора требуемой конфигурации оборудования в диапазоне от малых узлов с одним радио терминалом, до крупных концентраторов, агрегирующих трафик от нескольких направлений в оптические или радиоканалы высокой пропускной способности.

Система управления сетями MINI-LINK использует протоколы TCP/IP и SNMP, что обеспечивает совместимость между различными частями и службами. Интеграция мультиплексного оборудования с оборудованием радиопередачи позволяет минимизировать трудозатраты при организации каналов пользователей и оптимизировать использование пропускной способности сети.

Компанией Ericsson разработан единый радио модуль RAU-N для использования в сетях MINI-LINK при организации каналов точка-точка. Данный модуль обеспечивает необходимую полосу радио спектра и поддерживает все требуемые типы модуляции для организации радиоканалов различной пропускной способности.

2.1.1 Описание системы. С функциональной точки зрения система MINI-LINK TN состоит из следующих частей:

Основной узел - состоит из корпуса, блока электропитания, блока вентиляторов и системного блока, обеспечивающего управление узлом. Узел выполняет функции мультиплексирования, демультимплексирования и кросс-коммутации каналов, реализует механизмы защиты. В основной узел устанавливаются платы, обеспечивающие интерфейсы PDH, SDH и Ethernet для подключения пользователей.

Радио терминал - состоит из модемных блоков (внутренняя часть) и радио модулей с антеннами (наружная часть). Эти блоки соединяются одним коаксиальным кабелем, по которому передается несущая и подается электропитание. Модемный блоки устанавливаются в корпус основного узла и могут быть сконфигурированы для работы как без резерва, так и с резервом 1 + 1. Радио модули поставляются в вариантах для различных частотных диапазонов. Для организации каналов точка-точка различной пропускной способности используется единый радио модуль.

Оборудование MINI-LINK TN оборудовано встроенным IP маршрутизатором для обработки трафика управления (DCN). Каналы DCN также могут использоваться для передачи информации



сторонних систем управления. Существуют различные способы подключения к каналам DCN и передачи трафика систем управления.

Функция управления узлами реализована в виде встроенного элемент-менеджера (Embedded Element Manager - EEM). Доступ к EEM осуществляется с использованием стандартного web-браузера. Для централизованного управления узлами используется приложение MINI-LINK Manager - общая система управления для всех продуктов MINI-LINK. Кроме того, существует система MINI-LINK Connexion, обладающая расширенной функциональностью для организации каналов пользователей в сетях MINI-LINK TN.

Ключевые особенности:

Инновационная архитектура решения MINI-LINK TN сочетает в единой компактной платформе полную функциональность, необходимую для организации беспроводных сетей. MINI-LINK TN объединяет функциональность радиорелейных терминалов PDH для различных частот, различной пропускной способности и модуляции с функциональностью кросс-коммутаторов и терминальных мультиплексоров SDH, имеющих механизмы сетевой защиты. Кроме того, при использовании системы управления MINI-LINK Connexion, для создания нового канала требуется лишь указать конечные точки и требуемую пропускную способность, а система автоматически предложит маршрут прохождения соединения.

2.1.2 Различные частоты, выбор пропускной способности и типа модуляции. Решение MINI-LINK TN обеспечивает организацию радиоканалов от 2x2 до 32x2 Мбит/с в частотных диапазонах от 7 до 38 ГГц, с использованием схем модуляции C-QPSK и 16 QAM. Дальнейшее развитие продукта предусматривает возможность использования модуляции 128 QAM для организации радиоканалов с емкостью до 64x2 Мбит/с. Радио терминалы могут быть сконфигурированы для работы, как без резерва, так и с резервом 1 + 1.

Усовершенствованная технология, используемая в оборудовании MINI-LINK TN, позволяет изменять пропускную способность радиоканала программно, без каких-либо изменений в аппаратной части. Эта гибкость, с учетом развитых интеллектуальных функций организации каналов в MINI-LINK TN, позволяет легко осуществлять дистанционное управление сетями.

Архитектура MINI-LINK TN обеспечивает возможность организации радиоканалов PDH с высокой пропускной способностью, заполняя промежуток между уровнем PDH иерархии E3 (16xE1) и нижним уровнем иерархии SDH (STM-1). Данная особенность позволяет эффективно задействовать емкости 32xE1 (в перспективе - до 64xE1) в радиорелейных PDH сетях различной топологии.

Удобство использования

Линейка оборудования MINI-LINK TN включает в себя различные типы узлов, обладающие значительной гибкостью в части изменения пропускной

способности и пропускания различного трафика. Развитая система управления позволяет легко осуществлять конфигурацию узлов и организацию каналов пользователей.

Выпускаются три типа модульных узлов TN, имеющие места для установки двух, пяти или девятнадцати сменных модулей (модемных блоков и интерфейсных плат), а также компактный моноблочный терминал ATU. Это дает возможность выбора оптимального решения для организации сетевых узлов - от малых терминалов до крупных концентраторов. Основной функцией концентраторов является агрегация трафика от нескольких узлов и его мультиплексирование в каналы передачи с большой пропускной способностью.

Интеграция мультиплексного оборудования и радио части уменьшает количество кабельных соединений, и, как следствие, приводит к снижению сроков начала предоставления услуг, гибкому наращиванию пропускной способности и улучшению качества обслуживания клиентов.

Концепция MINI-LINK TN предусматривает возможность резервирования каналов в кольцевых и ячеистых структурах с пропускными способностями до 155 Мбит/с. Механизм резервирования каналов функционирует на уровне E1 и не зависит от среды передачи.

Все узлы оборудования, выход из строя которых влияет на трафик пользователей, могут быть резервированы, причем резервирование шины интерфейсных плат кросс-коммутации комбинируется с защитой физических интерфейсов. Разделение модулей, ответственных за трафик и управление делает систему очень надежной и позволяет, например, производить горячую замену плат.

В будущем планируется включить в решение MINI-LINK TN функциональность системы точка-многоточка; его архитектура имеет возможности для обеспечения плавной миграции к сетям на основе коммутации пакетов.

Эффективные системы управления.

Решение MINI-LINK Manager является централизованной системой управления для всего спектра оборудования MINI-LINK. Оно может использоваться в качестве автономной системы или интегрироваться в систему управления более высокого уровня с использованием стандартных программных интерфейсов.

Решение MINI-LINK Connexion имеет расширенную функциональность для организации каналов в радиосети и постоянного мониторинга их характеристик. С помощью MINI-LINK Connexion в системе управления моделируется полная структура сети, включая сетевые элементы, терминалы и каналы связи.

Возможности MINI-LINK Connexion также доступны в комбинированном решении, включающем оборудование MINI-LINK TN и Ericsson DXX. Оно предоставляет возможности сквозного управления

оборудованием PDH и SDH из единого центра, позволяя автоматически организовывать каналы пользователей между указанными узлами

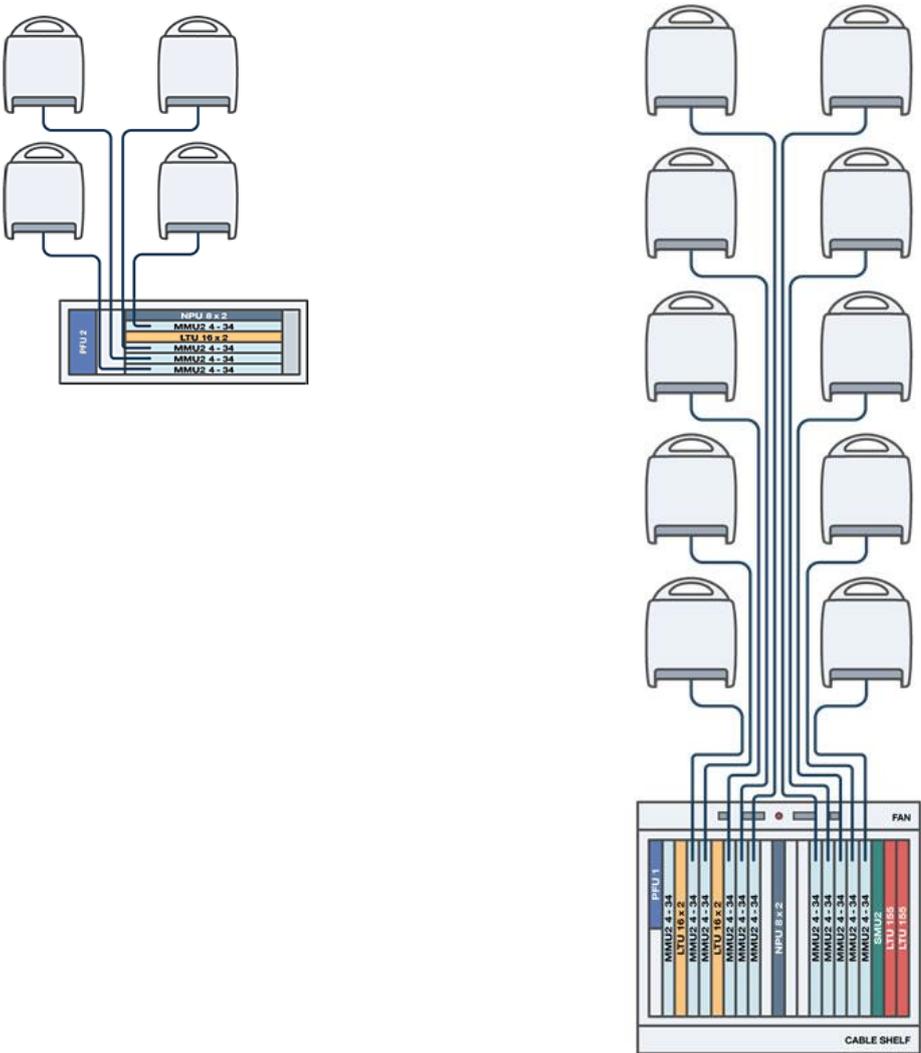


Рисунок 2.2 - Примеры конфигураций:

Полученные результаты введены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Полученные данные

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	#ИМЯ?
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML18 0.6m HP _2 R2	ML18 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	17727,5	18737,5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT18_2X 045_4A S	MLT18_2X 045_4A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-42,98	-42,98
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

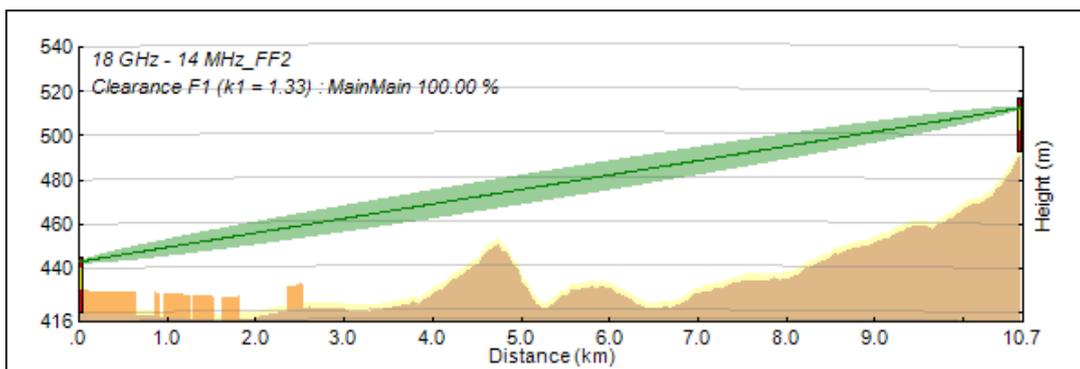


Рисунок 2.3- Данные по расчету РРЛ пролета для 18Ghz антенны

Таблица 2.2 – Полученные данные по расчету РРЛ пролета для 23Ghz антенны

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	333,31
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML23 0.6m HP _2 R2	ML23 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	21502	22702
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT23_2X 043_16A S	MLT23_2X 043_16A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-43,08	-43,08
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

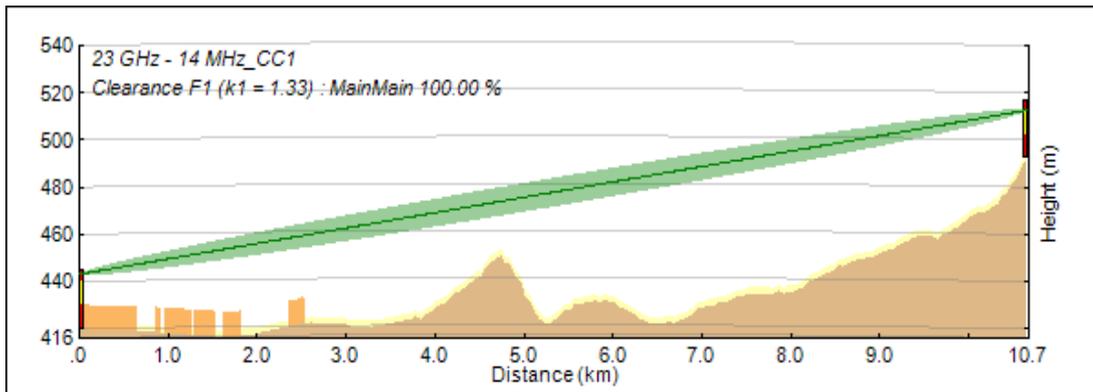


Рисунок 2.4 – Данные по расчету РРЛ пролета для 23Ghz антенны

Таблица 2.3 - Данные по расчету РРЛ пролета для 28Ghz антенны

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	333,31
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP _2 R2	ML28 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	27849,5	28857,5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT28_2X 045_16S S	MLT28_2X 045_16S S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-40	-40
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

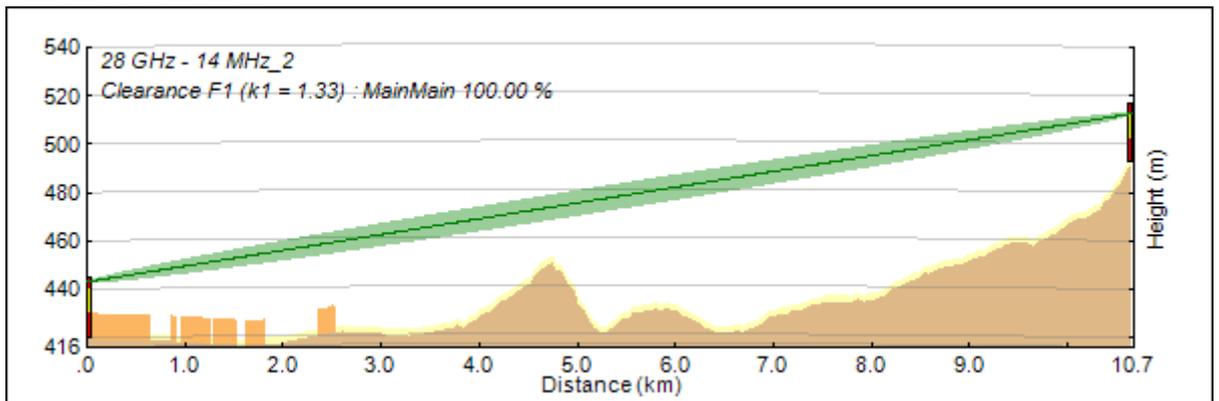


Рисунок 2.5 – Данные по расчету РРЛ пролета для 28GHz антенны

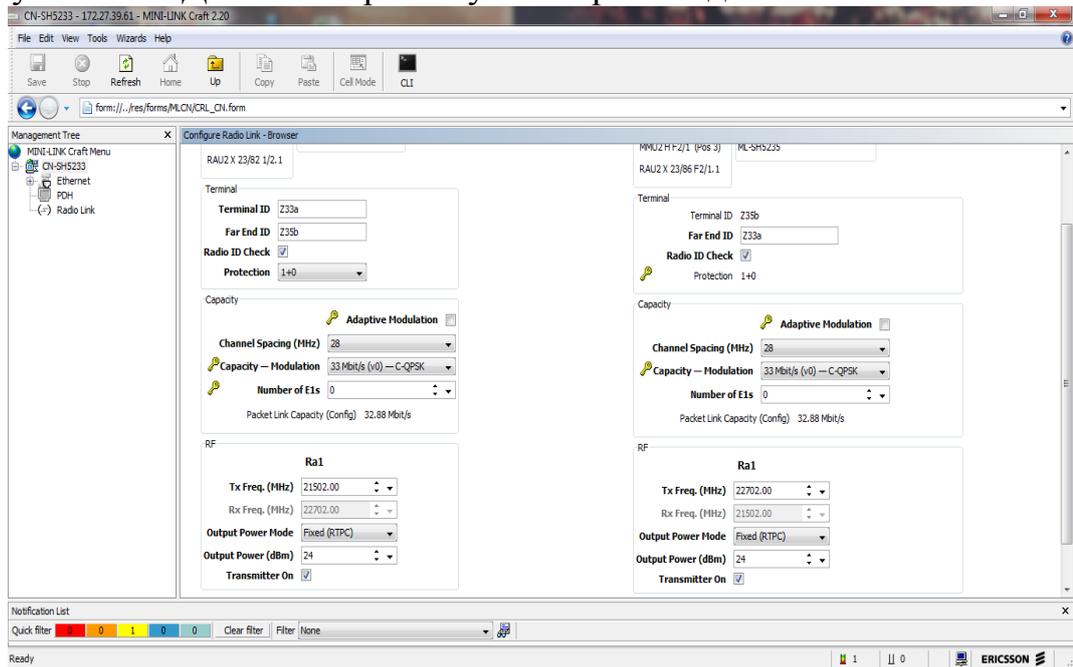


Рисунок 2.6 - Данные по расчету РРЛ пролета для 23GHz антенны, с заданными конфигурациями

На рисунке 2.6 представлены расчетные данные для 23GHz антенны так же, заданы частоты и конфигураций РРЛ, а ниже в рисунке 2.7 уже уровни пролета, можно увидеть то - что на рабочем РРЛ пролете уровни tx+24 гх-39.1 соответствуют данным измеренной выше программой Mentum Ellipse при 10км с 0,6 антеннами.

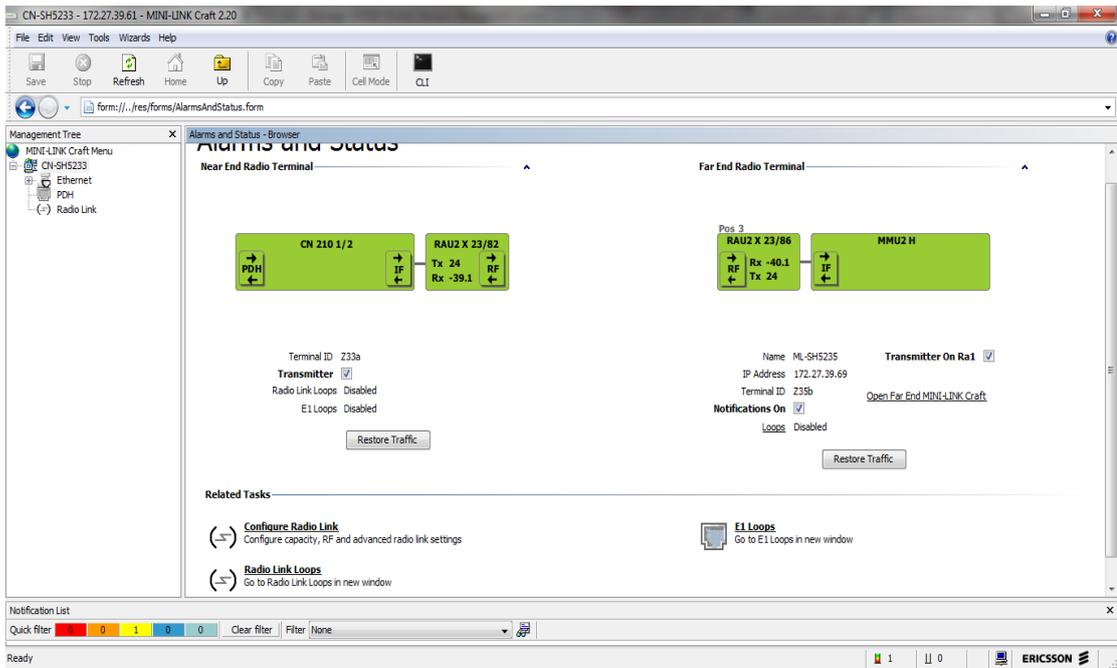


Рисунок 2.7 - Уровень РРЛ пролета с 23Ghz антенной, с заданными конфигурациями

Уровни РРЛ пролета так же зависят от расстояния между антеннами, юстировкой антенн и еще надо учесть, нет ли помех на пролете. К примеру, на расстояний 470 метров при параболе 0,3 расчетный уровень TX Power +3 RX-36 Level. А с 0,6 параболой при таком же расстояний уровень TX Power -5 RX-34 Level. Ниже на рисунке 2.8 можно увидеть

AL5221-AL3046

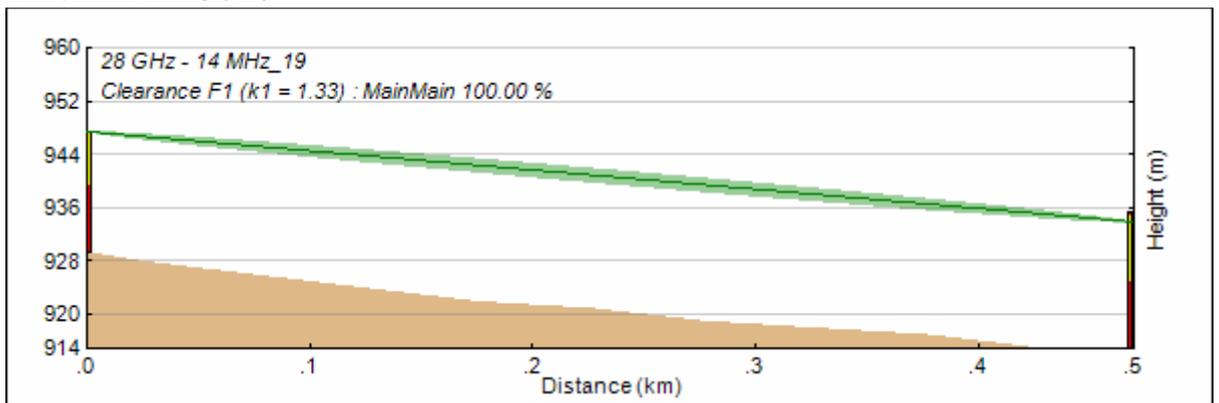


Рисунок 2.8 –Расчетный Уровень РРЛ пролета при 0,6 антенне

Link Properties			
Equipment Type	AMM	exist	
Site Name	-	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	Degrees	76.942595 43.219562	76.936855 43.219044
Elevation (AMSL)	m	929.4	914.9
TX Azimuth	deg	261.64	81.64
Distance	km	0.47	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP _2 R2	ML28 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	m	18	19
Frequency	MHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		128QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	72	
Protection Mode		1+0	1+0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT28_2X 072_128S S	MLT28_2X 072_128S S
TX Power	dBm	-5	-5
RX Level	dBm	-34.66	-34.96

VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		A21a	A46f
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

Таблица 2.4 – Расчетный уровень при 0,6 антенне

Таблица 2.4 – Расчетный уровень РРЛ пролета при 0,3 антенне

Link Properties	AMM		
Equipment Type	-	exist	
Site Name	Degrees	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	m	76.942595 43.219562	76.936855 43.219044
Elevation (AMSL)	deg	929.4	914.9
TX Azimuth	km	262,97	82,96
Distance	-	0.47	
TX Antenna		ML28 0.3m HP _2 R1	ML28 0.3m HP _2 R1
Type of Construction	m	0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	MHz	18	19
Frequency	MHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth		14	
Modulation type	Mbit/s	128QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)		72	
Protection Mode	-	1+0	1+0
Polarization	-	V	V
TX Radio		MLT28_2X 072_128S S	MLT28_2X 072_128S S
RAU ID	dBm	42	46
TX Power	dBm	3	3
RX Level	2G/3G	-35.86	-36.16

VLAN ID		0
MMU ID		A21a A46f
DCN Configuration	IP Address	
Basic NE	Subnet Mask	0
	Network Address	0
OSPF Area	Subnet Mask	0
	Area	0

AL5221-AL3046

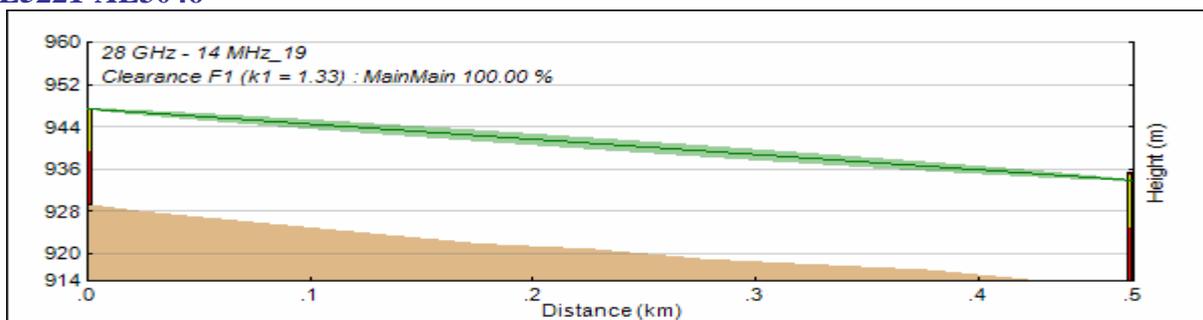


Рисунок 2.9 – Полученный график расчетного уровня РРЛ пролета при 0,3 антенне

2.1 Настройка репитера

При настройке репитера использовались измерительные устройства Fluke-114. Репитер - это повторитель сигнала, англ. - repeater, рус. - ретранслятор. Репитер/ретранслятор предназначен для передачи сигнала, повторения частоты и амплитуды. В сотовой связи репитер используется для повторения и ретрансляции сигнала, принятого от базовой станции к месту где он отсутствовал или был низкого уровня. В основе репитера - ретранслятора заложен двухсторонний [усилитель сигнала сотовой связи](#). Задача усилителя сотовой связи - принять, усилить сигнал, распространить в свободном пространстве. Усиление репитера зависит от применяемой схемы усилителя сотовой связи. Репитер - ретранслятор может использоваться под самые разные нужды.

Репитеры также называют усилителями, бустерами, ретрансляторами - это названия одного и того же устройства. Но суть остается та же.

Зона неуверенного покрытия может находиться как внутри (офисные здания, гаражи, многоэтажные дома, крупные магазины и гостиницы), так и

вне помещений. Вне помещений низкий уровень сигнала может быть обусловлен рельефом местности, например, возвышенностями, низинами, лиственными лесами и высотной городской застройкой. Все перечисленные факторы приводят к ослаблению или полному затуханию GSM/3G/CDMA сигнала.

Решением проблемы плохого покрытия может стать установка активной системы усиления, рассчитанной на использование в различных вариантах установки.

Цифровые измерительные устройства Fluke-114 представлены на рисунке 2.10 и 2.11.



Рисунок 2.10 – Измерительный прибор – это многоцелевые измерительные приборы для измерения различных параметров электрических цепей и электроники



Рисунок 2.11 – Измерительный прибор со специальной насадкой для приема передатчика оборудования Ericsson Mini-Link

Для проведения эксперимента использовалось оборудование компании Ericsson – которое было установлено на крыше одного из домов на высоте 18м Near End и 20м Far End. Рабочая частота 28087.50 МГц, мощность передатчика 5 Вт.

Полученные данные приведены на рисунке 2.12.

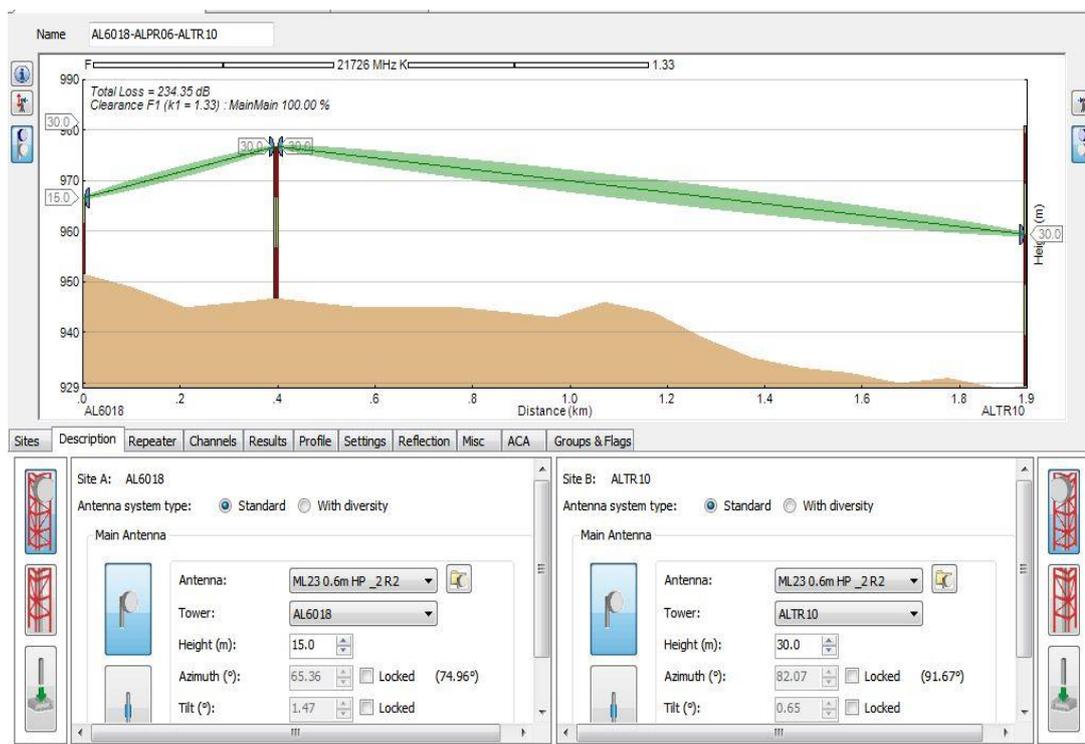


Рисунок 2.12 - PPS через пассивный репитер

3.1. Расчет оборудования радиорелейной линии для организации беспроводной связи между предприятием

3.1.1. Расчет радиорелейной линии

Расчет проводится для высоты подвеса антенн и устойчивости связи на пролете РРЛ прямой видимости, реализованного на базе радиорелейного комплекта MINI-LINK 13-E \18,19\.

Исходные данные:

– климатический район: Западный Казахстан; средняя частота: $f = 13$ ГГц; длина пролета РРЛ: $R_0 = 16,4$ км; расстояние до максимальной высоты рельефа: $R_1 = 12,6$ км; $CD = 615$ м (высота здания по адресу ул. Бейбитшилик 10 (узел СА-Телком) 19 метров плюс высота поверхности над уровнем моря 596 метра); $MN = 613$ м (высота здания на перекрестке Абая-Джамбула (максимально высокое здание вдоль пролета РРЛ) около 10 метров плюс высота поверхности над уровнем моря 603 метров); $ZY = 619$ м (высота здания офиса клиента около 21 метров плюс высота поверхности над уровнем моря 598 метров); ширина препятствия: $r = 14$ метров.

Параметры цифровой релейной аппаратуры MINI-LINK 13-E:

- коэффициент системы, дБ: $SG = 110$;
- диаметр антенны, м: $D_a = 0,6$.

3.1.2. Расчет высот подвеса антенн

На распространение радиоволн в пределах прямой видимости антенн РРЛ оказывает существенное влияние явление рефракции. Случайные изменения вертикального градиента диэлектрической проницаемости атмосферы (g) приводят к искривлению траектории распространения радиолуча, который, в некоторых случаях, может касаться земной поверхности и результатом этого является возникновение эффекта дифракции, снижающего уровень принимаемого сигнала. Из-за наземного препятствия возможна даже полная потеря взаимной видимости антенн (отсутствие связи).

Поэтому при проектировании РРЛ важно обеспечить достаточный просвет трассы путем выбора высот подвеса антенн.

Для построения профиля пролета необходимо рассчитать кривизну Земли для середины пролета, в этой точке данная величина будет максимальна

$$z_1 := R_0^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{k \cdot (1 - k)}{2 \cdot a}, \quad (3.8)$$

где $k := \frac{R_1}{R_0}$ - относительная координата для середины пролета,

$$k = 0,768;$$

$a = 6370$ км - радиус Земли;

$$z_1 = 16.4^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{0.768 \cdot (1 - 0.768)}{2 \cdot 6370} = 3.762 \text{ , (м)}.$$

Основная часть энергии передатчика распространяется в сторону приемной антенны внутри минимальной зоны Френеля, представляющей эллипсоид вращения с фокусами в точках передающей и приемной антенн. Радиус минимальной зоны Френеля в любой точке пролета можно определить по формуле:

$$H_0 := \sqrt{R_0 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot \frac{k \cdot (1 - k)}{3}}$$

$$H_0 = \sqrt{16.4 \cdot 10^3 \cdot 0.023 \cdot \frac{0.768 \cdot (1 - 0.768)}{3}} = 4.733. \text{ (м)}$$

Определяется среднее приращение просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени:

$$\Delta H(g + \sigma) = -(R_0)^2 \cdot \frac{(g + \sigma) \cdot k \cdot (1 - k)}{4}$$

$$\Delta H(g + \sigma) = -(16.4 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{(-13 \cdot 10^{-8} + 10 \cdot 10^{-8}) \cdot 0.768 \cdot (1 - 0.768)}{4} = 0.359 \text{ , (м)}$$

g и a - соответственно среднее значение и стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы для Прикаспийской низменности [2] $g = -13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, $\sigma = 10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$;

Определим величину просвета в отсутствие рефракции радиоволн

$$H(0) = H_0 - \Delta H(g + \sigma) = 4,733 - 0,359 = 4,374 \text{ (м)} \quad (3.9)$$

На практике осуществляется предварительный выбор радиотрассы и мест расположения площадок (в нашем случае точки С и Z), затем осуществляется построение профиля пролета с помощью разновысотных контурных карт (по рекомендации ИТУ масштаб должен быть по крайней мере 1/50000) и учет путем осмотра местности высоты растительности и зданий. Затем можно приступить к определению высот подвеса антенн.

Высоты подвеса антенн определяют с помощью формул:

$$h_1 = NM + H(0) + Z_1 - CD \quad (3.10)$$

$$h_2 = NM + H(0) + Z_1 - ZY \quad (3.11)$$

Подставляя известные и найденные ранее значения, получаем:

$$h_1 = 613 + 4.374 + 3.762 - 615 = 2.374, (\text{м})$$

$$h_2 = 613 + 4.374 + 3.762 - 619 = -1.626, (\text{м})$$

Из полученных значений можно сделать вывод, что антенна на крыше здания, где расположен офис клиента, не требует подвеса, что обусловлено малой длиной пролета, соответственно, пренебрежимо малым влиянием кривизны Земли, и тем, что офис клиента находится выше препятствий. Антенну над офисом ТОО «СА-Телком» поднимаем на мачту в 2,5 метра.

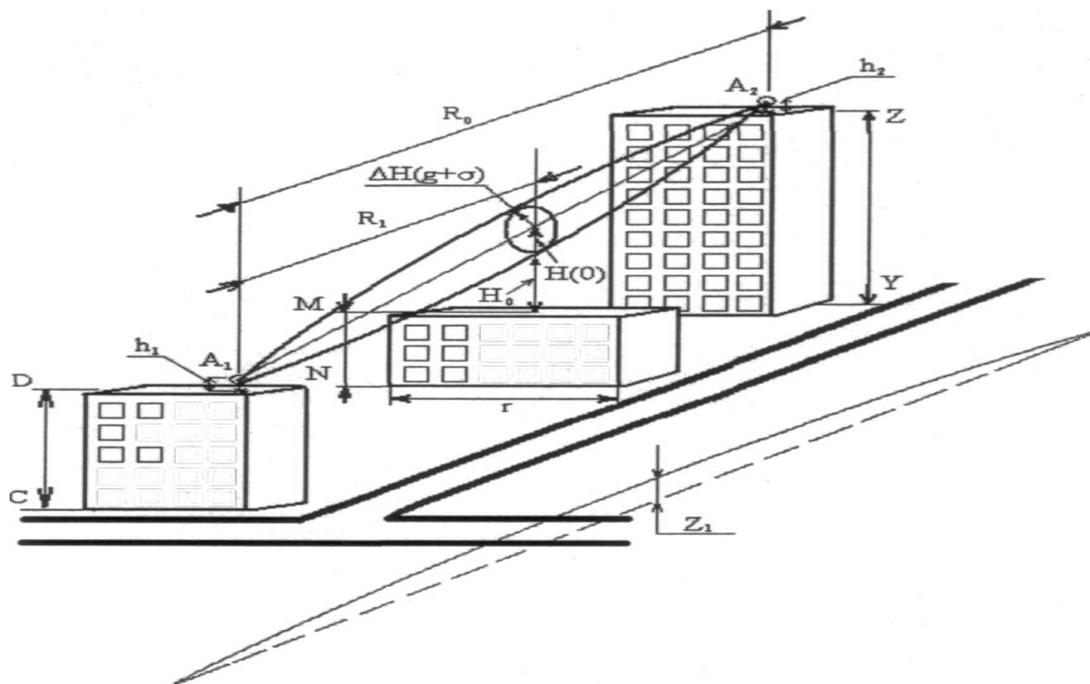


Рис. 3.2. Принятые обозначения для профиля пролета РРЛ.

На рисунке 3.2 приведён профиль пролета РРЛ (вертикальный разрез местности, проходящий через места установки антенн). Принятые обозначения:

– A_1, A_2 - приемо-передающие антенны РРЛ; h_1, h_2 - высоты подвеса антенн; CD, MN, ZY - высоты местности; M - критическая точка (вершина препятствия); Z_1 - реальная кривизна Земли; $H(0)$ -- просвет на пролете при отсутствии рефракции; $\Delta H(g+a)$ - среднее значение изменения просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени; $H(g+a)$ просвет на пролете, существующий в течение 80% времени, который, как правило, берут равным H_0 .

3.2. Энергетический расчет РРЛ и программная реализация определения высоты подвеса антенн РРЛ

Вычислим ослабление сигнала на пути распространения между антеннами за счет сферической расходимости фронта волны:

$$L_0 = 20(\log(f) + \log(R_0)) + 32.45 \quad (3.12)$$

$$L_0 = 20 (\log(13000) + \log(16.4)) + 32.45 = 139.026 \cdot (\text{дБ})$$

где частота подставляется в МГц, а расстояние в километрах. Определим усиление антенны (частота подставляется в ГГц):

$$G_a = 20(\log(f) + \log(D_a)) + 18.45 \quad (3.13)$$

$$G_a = 20 \cdot (\log(13) + \log(0.6)) + 18.45 = 36.292 \cdot (\text{дБ})$$

где D_a - диаметр антенны, м.

Определим запас на замирание:

$$F_t = SG + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - L_0 - 2 \cdot \eta \quad (3.14)$$

$$F_t = 110 + 36.292 + 36.292 - 139.026 - 5 = 38.558 \cdot (\text{дБ})$$

Для MINI-LINK 13-E коэффициент системы равен $SG = 110$ дБ;

η - КПД антенно-фидерного тракта ($2\eta \approx 5$ дБ);

L_0 - затухание радиоволн в свободном пространстве;

$G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$ - коэффициент усиления передающей и приемной антенн соответственно ($G_{\text{прд}} = G_{\text{прм}} = G_a$).

Программа расчета высот подвеса антенн РРЛ реализована на языке Borland Delphi 7 и программа приведена в приложении В.

Ниже на рисунке 3.3 приведен пользовательский интерфейс программного продукта.

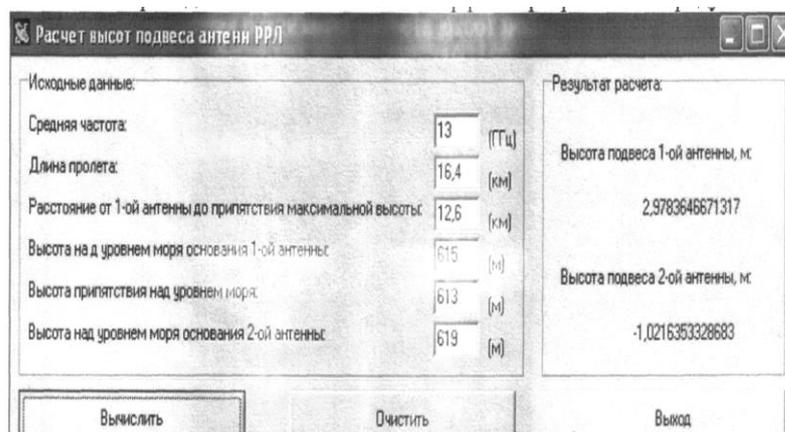


Рис. 3.3. Пользовательский интерфейс программы расчета высот подвеса антенн РРЛ

Таким образом, были сделаны расчеты для пролета радиорелейной линии связи между узлом компании и офисом клиента.

3.3. Расчет устойчивости связи

Суть данного расчёта заключается в определении процента времени ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала T_{Σ} и устойчивость связи оценивается по выполнению неравенства: $T_{\Sigma} < T_{\text{доп}}$ (где $T_{\text{доп}}$ допустимая вероятность ухудшения качества связи на данной РРЛ в соответствии с нормами ITU-R).

$T_{\Sigma} = \sum T_{\text{при}}$ (сумма для всех пролетов РРЛ).

Так как глубокие замирания на пролете обусловлены различными независимыми между собой причинами, то в общем случае

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = T_0(V_{\text{мин}}) + T_{\text{инт}}(V_{\text{мин}}) + T_{\text{д}}(V_{\text{мин}}), \quad (3.15)$$

где T_0 - учитывает экранирующее действие препятствия;
 $T_{\text{инт}}$ - учитывает интерференцию прямого и отраженного лучей (явление многолучевого распространения), отражения радиоволн от Земли учитывается, как правило, лишь при слабопересеченных пролетах;

$T_{\text{д}}$ - ослабление сигнала из-за дождей.

Каждое из слагаемых в формуле определяется на основе соответствующих статистических данных, характерных для данного климатического района (эти данные в технической литературе приводятся, как правило, в виде графиков).

ITU рекомендует при глубоких замираниях вследствие многолучевого распространения оценивать $T_{\text{инт}}$ в худший месяц с помощью приближенного асимптотического выражения:

$$T_{\text{инт}} = \frac{K_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0) \cdot P_{\text{прм}} \cdot (T)}{P_{\text{прм}} \cdot (100)} = K_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0)^c \cdot 10^{\frac{-Ft}{10}} \quad (3.16)$$

где $K_{\text{кр}}$ - коэффициент, учитывающий влияние климата и рельефа местности;

Q - учет других параметров пролета;

B, C - учет региональных эффектов;

f - частота (ГГц); R_0 - длина трассы (км); $P_{\text{прм}}(T)$ мощность сигнала на входе приемника, вероятность не превышения которой равна T .

Для территории бывшего СССР рекомендованы эмпирические значения параметров: $K_{\text{кр}} \cdot Q = 0,41 \cdot 10^{-3}$ (для зон с умеренно континентальным климатом или среднеширотных со средне всхолмленным рельефом); $B=0,89$; $C=3,6$.

С учётом всего вышперечисленного найдём $T_{\text{инт}}$:

$$T_{\text{инт}} = 0,41 \cdot 10^{-3} \cdot 13^{1,5} \cdot 16,4^{3,6} \cdot 10^{\frac{-38,558}{10}} = 5,358 \times 10^{-5}.$$

При проектировании РРЛ ослабление сигнала из-за дождей начинают учитывать с частоты 5 ГГц и выше (т. к. чем выше частота, тем сильнее

влияние дождя на распространение радиоволн). Приблизительная оценка затухания в осадках может быть выполнена в соответствии с Рекомендацией Р. 837 ITU-R. Здесь Земля поделена на 15 дождевых климатических зон (обозначения А-Q). Для каждой зоны приведена статистика интенсивности дождя $R_{0,01}$ (мм/час) значение, превышаемое для 0,01% времени. Для Казахстана это зона Е, для которой $R_{0,01}=22$ мм/час.

Удельное затухание определяется отдельно для горизонтальной и вертикальной поляризации с помощью формулы:

$$\gamma = k \cdot (R_{0,01})^\alpha \quad (3.17)$$

Для 13 ГГц $k_H=0,0235$; $\alpha_H=1,201$; $k_V=0,0215$; $\alpha_V=1,182$:

$$\gamma_H = k_H \cdot R_{0,01}^{\alpha_H} = 0.235 \cdot 22^{1.201} = 0.962 \cdot \left(\frac{\text{дБ}}{\text{км}}\right)$$

$$\gamma_V = k_V \cdot R_{0,01}^{\alpha_V} = 0.0215 \cdot 22^{1.182} = 0.830 \cdot \left(\frac{\text{дБ}}{\text{км}}\right)$$

Поскольку интенсивность дождя неравномерно распределена по всей длине пролета rq , вводится эффективная длина трассы

$$d_{\text{Э}} = r \cdot R_0 \quad (3.18)$$

где r - коэффициент уменьшения:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{d_0}} \quad (3.19)$$

d_0 - опорное расстояние:

$$d_0 = R_0 \cdot e^{-0.015 R_{0,01}} \quad (3.20)$$

$$d_0 = 16.4 \cdot e^{-0.015 \cdot 22} = 11.73 \cdot (\text{км})$$

Тогда:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{16.4}{11.79}} = 0.418$$

$$d_{\text{Э}} = r \cdot R_0 = 0.418 \cdot 16.4 = 6.855 \cdot (\text{км})$$

Оценка затухания на трассе, которая превышает для 0,01% времени, определяется выражением:

$$A_{0,01} = \gamma \cdot d_{\text{Э}} \quad (3.21)$$

$$A_{0,01H} = \gamma_H \cdot d_{\text{Э}} = 0.962 \cdot 6.855 = 6.595 \cdot (\text{дБ})$$

$$A_{0,01V} = \gamma_V \cdot d_{\text{Э}} = 0.830 \cdot 6.855 = 5.69 \cdot (\text{дБ})$$

Процент времени ухудшения качества связи из-за затуханий в дожде:

$$11.628 \left(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log \left(0.12 \frac{A_{0,01}}{A_T} \right)} \right) \quad (3.22)$$

$$T_D = 10$$

где $A_T = F_t = 38.558$ Дб

$$\frac{A_{0.01H}}{A_T} = \frac{6.595}{38.558} = 0.171 \quad \frac{A_{0.01V}}{A_T} = \frac{5.69}{38.558} = 0.148$$

Т.о. получим:

$$T_{ДН} = 10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \log(0.12 \cdot 0.171)})} = 4.776 \cdot 10^{-6} \%$$

$$T_{ДВ} = 10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \log(0.12 \cdot 0.148)})} = 1.442 \cdot 10^{-6} \%$$

Определение процента времени ухудшения связи из-за субрефракции (То). Среднее расстояние просвета на пролете.

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g) = H(0) - \frac{(R_0)^2}{4} g \cdot k \cdot (1 - k) \quad (3.23)$$

$$H(g) = 4.374 - \frac{(16.4 \cdot 10_3)^2}{4} \cdot (-13 \cdot 10^{-8}) \cdot 0.768 \cdot (1 - 0.768) = 5.931 \cdot (м)$$

Относительный просвет:

$$P(g) = \frac{H(g)}{H(0)} \quad (3.24)$$

$$P(g) = \frac{5.931}{4.374} = 1.356$$

Определяем параметр μ и l , характеризующий аппроксимирующую сферу:

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{k^2 \cdot (1 - k^2)}{l^2}} \quad (3.25)$$

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0.768^2 \cdot (1 - 0.768^2)}{(8.537 \times 10^{-4})^2}} = 30.065$$

где $l = \frac{r}{R_0} = \frac{0.014}{16.4} = 8.537 \times 10^{-4}$; r - ширина препятствия.

Определим минимальный множитель ослабления из рисунка 2.15 [1] по известному параметру μ :

$$V_0(\mu) = V_0(30.065) = -8.5(dB)$$

Найдем минимально-допустимое значение множителя ослабления.

$$V_{мин} = \frac{-Ft}{2} \quad (3.26)$$

$$V_{мин} = \frac{-38.558}{2} = -19.279 \cdot (дБ)$$

Рассчитаем значение относительного просвета, при котором наступает глубокое замирание сигнала, вызванное экранировкой препятствием минимальной зоны Френеля:

$$P(g) = \frac{V_0(\mu) - V_{мин}}{V_0(\mu)} \quad (3.27)$$

$$P(g) = \frac{-8 - (-19.279)}{-8} = -1.41$$

Рассчитаем параметр:

$$\Psi = 2.31 \cdot A \cdot (p(g) - p(g_0)) \quad (3.28)$$

где

$$A = \frac{1}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(R_0)^3 \cdot k \cdot (1-k)}} \quad (3.29)$$

$$A = \frac{1}{10 \cdot 10^{-8}} \cdot \sqrt{\frac{0.023}{(16.4 \cdot 10^3)^3 \cdot 0.768 \cdot (1-0.768)}} = 1.711$$

Подставим значение А и получим:

$$\Psi = 2.31 \cdot A \cdot (P(g) - P(g_0)) = 2.31 \cdot 1.711 \cdot [1.356 - (-1.41)] = 10.932 .$$

Значение T_0 определяем из рисунка 2.16 [1]:

$$T_0(V_{\min}) = 0.00001 = 10^{-5} \%$$

Вычислим T_{Σ} :

$$T_{\Sigma} = T_{\text{инт}} + T_{\text{д}} + T_0, \quad (3.25)$$

$$T_{\Sigma} = T_{\text{инт}} + T_{\text{д}} + T_0 = 5.358 \times 10^{-5} + 4.776 \times 10^{-6} + 10^{-5} = 6.836 \times 10^{-5}$$

$$T_{\text{доп}} = 0.03 \cdot \frac{R_0}{1600} = 0.03 \cdot \frac{16.4}{1600} = 3.075 \times 10^{-4} .$$

Так как $T_{\Sigma} < T_{\text{доп}}$, можно сделать вывод, что связь на участке устойчива.

3.4 . Расчет дальности беспроводных каналов диапазона 2,4 ГГц

Порядок расчета

Возможны 5 различных вариантов радиолиний, представленные в первой таблице. Для выбранного варианта вычисляется значение усиления линии Y (значения переменных, входящих в формулы, представлены в таблицах) и на рисунке 3.4 приведен график, по графику определяется дальность.

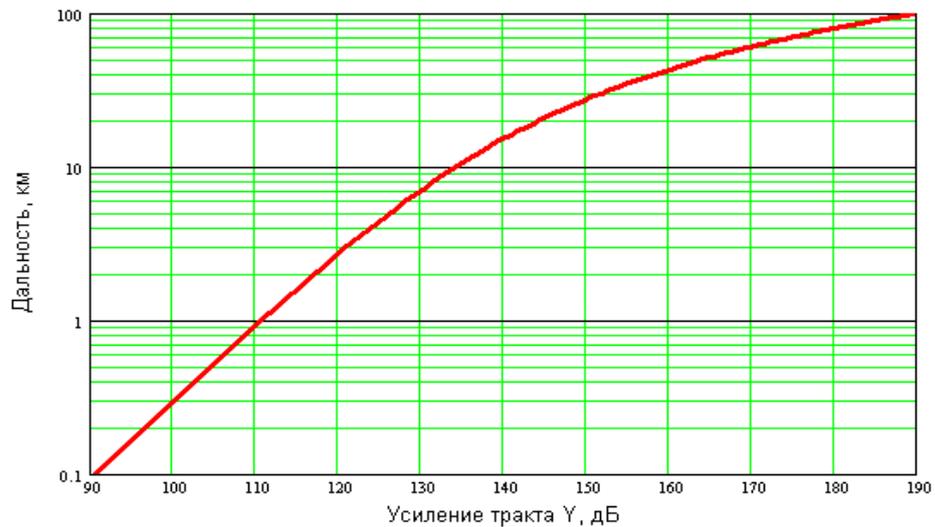


Рис. 3.4. График зависимости усиления линии Y от дальности.

Порядок расчета: вычисляется Y и по графику определяется дальность.

Вариант радиолинии	Формула для расчета Y
1. Со штатными антеннами без усилителей.	$P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
2. С внешними антеннами без усилителей.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
3. С внешними антеннами и передающими усилителями.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
4. С внешними антеннами и приемными усилителями.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)
5. С внешними антеннами и приемо-передающими усилителями.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)

В нашем случае вариант радиолинии с внешними антеннами без усилителей.

Исходные данные для расчета Y .

1. Выходная мощность $P_{\text{прд}}$ и коэффициенты усиления штатных антенн $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$.

У нас выходная мощность BU-DS.11D: $P_{\text{прд}} = 24$ дБм.

2. Реальная чувствительность приемника P_{min} дБм при BER=1e-5 (зависит от скорости передачи)

В нашем случае для BreezeNET DS.11 реальная чувствительность приемника:

$$P_{\min} = -84 \text{ дБм}$$

3. Затухание в кабеле $J_{\text{прд}}$, $J_{\text{прм}}$ определяется как произведение

Используется кабель РК50-17-51 следовательно погонное затухание составляет 0,09 дБ/м. В расчете на одну антенну берется 15 м кабеля. Получаем, что затухание в кабеле: $J_{\text{прд}}=0,09*15=1,35$ дБ; $J_{\text{прм}}=0,09*15=1,35$ дБ.

4. Коэффициент усиления антенны G

Коэффициент усиления антенны:

OD12-2400, $G_{\text{прд}}=12$ дБи; CA130094, $G_{\text{прм}}=24$ дБи.

5. Характеристики усилителей

Подставляем данные в общую формулу для значения усиления линии и получаем:

$$Y = P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\min} = 24 - 1,35 + 12 + 24 - 1,35 - (-84) = 141,3 \text{ дБ}$$

$Y=141,3$ соответствует по графику дальности равной 17 км, что не противоречит расположению малых офисов относительно главного офиса. (3 малых офиса находятся от главного офиса на расстояниях в 15 км).

Высоту установки антенн при условии идеально гладкой Земли можно определить по следующему графику (рис. 3.5).

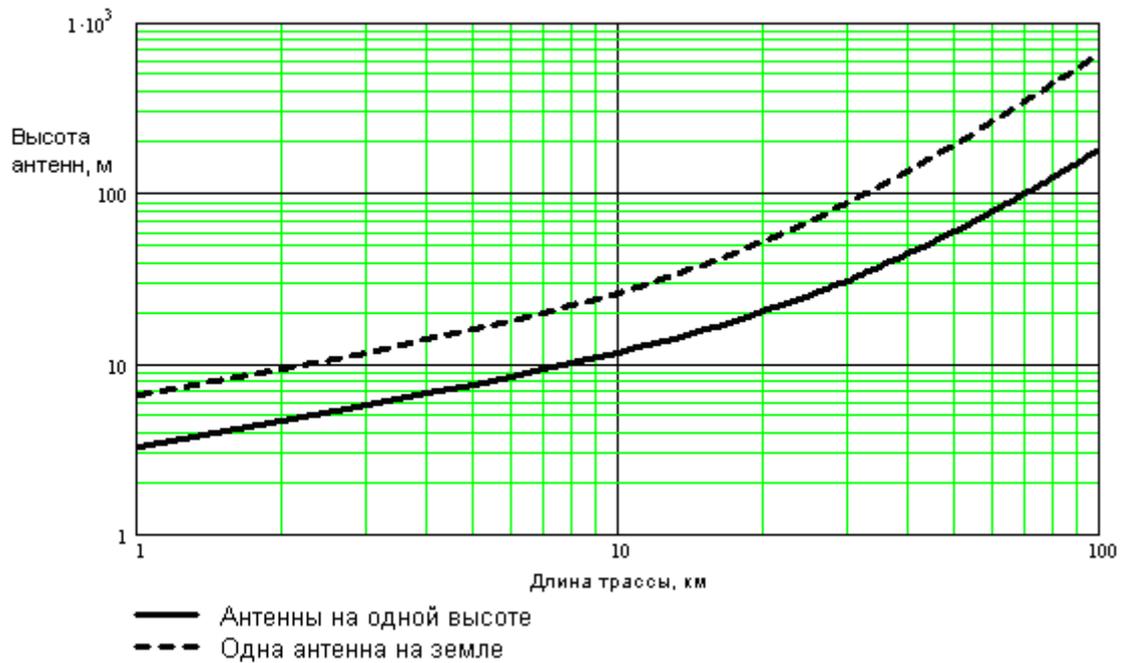


Рис. 3.5. Определение высоты антенны от длины трассы.

При расстоянии между малым офисом и главным офисом в 15 км получаем, что антенна главного офиса должна быть на высоте в 15 метров, а антенна малого офиса, с учетом того что препятствия не должны закрывать прямую видимость и с учетом того что Земля круглая, должна быть на высоте 5 метров.

Практически все расчеты в радиотехнике ведутся в децибелах. Для перевода в децибелы необходимо взять десятичный логарифм числа и умножить его на 10. Например, 1 000 000 будет равно 60 дБ, а 0,001 - -30 дБ. Преимущества использования децибелов состоят в том, что вместо умножения исходных чисел достаточно сложить их в децибелах, а для деления - вычесть из делимого делитель, также выраженные в децибелах. Еще одно преимущество - отсутствие необходимости написания большого количества нулей или использования показателей степени.

Необходимо знать энергетические параметры радиолинии, входящие в выражение для мощности полезного сигнала на входе приемника и реальную чувствительность приемника. Мощность полезного сигнала в точке приема определяется выражением:

$$P_{\text{ПРМ}} = \frac{P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРМ}} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L_{\text{ДОП}} Z}, \quad (3.30)$$

Это же выражение в децибелах имеет вид

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20 \lg \lambda - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(r) - L_{\text{доп}} - Z. \quad (3.31)$$

В этих выражениях используются следующие параметры радиолинии:

$P_{\text{прд}}$ - выходная мощность передатчика Оборудование беспроводных сетей обычно имеет выходную мощность в пределах от 8 до 20 дБм.

$G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$ - коэффициенты усиления передающей и приемной антенны. Какую антенну назначить передающей, а какую приемной - разницы нет. Коэффициенты усиления типовых антенн беспроводных сетей имеют значения от 2 до 24 дБи, т.е. децибел по отношению к коэффициенту усиления изотропной антенны, равномерно излучающей во всех направлениях с единичным усилением (0 дБ).

Для нашего случая значения таковы:

$$P_{\text{прд}}=24 \text{ дБм}; G_{\text{прд}}=12 \text{ дБи}; G_{\text{прм}}=24 \text{ дБи}; \lambda=0,125 \text{ м}; r=15000 \text{ м};$$

$L_{\text{доп}}=10$ дБ, но учитывая величину погонного затухания в кабеле общей длиной 30 метров (это в расчете на 2 антенны сразу) при $j_{\text{прм}}=0,09$ дБ/м и $j_{\text{прд}}=0,09$ дБ/м, получаем: $L_{\text{доп}}=10+0,09*(15+15)=10+2,7=12,7$ дБ; $Z=5$ дБ.

Итак, мощность полезного сигнала в точке приема определяется выражением:

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20 * \lg \lambda - 20 * \lg(4\pi) - 20 * \lg(r) - L_{\text{доп}} - Z$$

$$P_{\text{прм}}=24+12+24+20*\lg(0,125)-20*\lg(4*3,14)-20*\lg(15000)-12,7-5=-81,26 \text{ дБ.}$$

Далее рассчитаем высоту подвеса антенн. Для ориентировочной оценки на ровном рельефе при одинаковой высоте антенн можно использовать простую формулу, учитывающую сферичность Земли и расстояние между антеннами. Высота подвеса антенн в метрах равна:

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{r}{8,24} \right)^2 + 4,47\sqrt{r} \quad (3.32)$$

где r - расстояние между антеннами в километрах.

Когда одна антенна находится на уровне поверхности Земли, коэффициент 8,24 в формуле надо заменить на 4,12.

В нашем случае: $h_1=h_{\text{прд}}=15$ м; $h_2=h_{\text{прм}}=5$ м.

3.5 Моделирование процесса передачи трафика TCP по реальному РРЛ

При передаче данных по радиоканалу размер окна передачи играет большую роль, определяя скорость передачи данных. При недостаточном размере окна передачи ресурсы канала будут использоваться неэффективно. Отправитель пошлет без подтверждения объем информации, равный размеру окна и будет ждать квитанции. Если время передачи отправленных данных и квитанции значительно, пропускная способность канала будет использована только частично [52].

Величина окна передачи определяется размером буфера передачи файла конечной точки соединения (socket). Зависимость скорости передачи данных TCP по спутниковому каналу от величины буфера передачи определим следующим образом

Время передачи сегмента данных равно

$$T_1 = T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.33)$$

где:

$T_s \cong 300$ мс - время распространения сигнала, в случае спутникового канала, L_s - длина сегмента.

Время передачи квитанции, учитывая маленький размер квитанции, будем считать равным $T_2 = T_s$.

Суммарное время, которое проходит с момента отправления сегмента с данными ко времени получения квитанции равно (3.34)

$$T = T_1 + T_2 = 2T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.34)$$

Получаемая скорость передачи данных, находящихся в буфере передачи, при этом равна (3.35)

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{L_s}{2T_s + \frac{L_s}{C}} \quad (3.35)$$

где

$T_s \cong 300$ мс, L_b - длина буфера передачи

Для простоты считаем все сегменты одинаковыми, однако реально последний сегмент из-за недостаточного места в буфере передаче может быть меньше. Случай передачи с флагом TCP_NODELAY, когда данные в буфере передачи не накапливаются, а отправляются по мере появления, не рассматривается.

С учетом того, что по мере увеличения окна, буфер передачи не будет передан полностью к моменту приема квитанции от первого принятого получателем сегмента, верхнее равенство следует переписать в следующем виде:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_1 + \frac{L_1}{C}} \quad (3.36)$$

Учитывая также, что длина буфера передачи может быть меньше размера сегмента TCP, введем поправку на этот случай и окончательно получим:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_s + \text{MIN}(\frac{L_1}{C}, L_s)} \quad (3.37)$$

Максимальное значение скорости передачи достигается при

$$L_b = C \cdot 2T_s$$

Соотношение (3.37), например, определяет условие, при котором квитанция отправителю приходит еще до того, как заканчиваются данные в буфере передачи.

Теоретический и экспериментальный графики зависимости скорости передачи от размера буфера передачи изображены на графиках ниже (рис. 3.6).

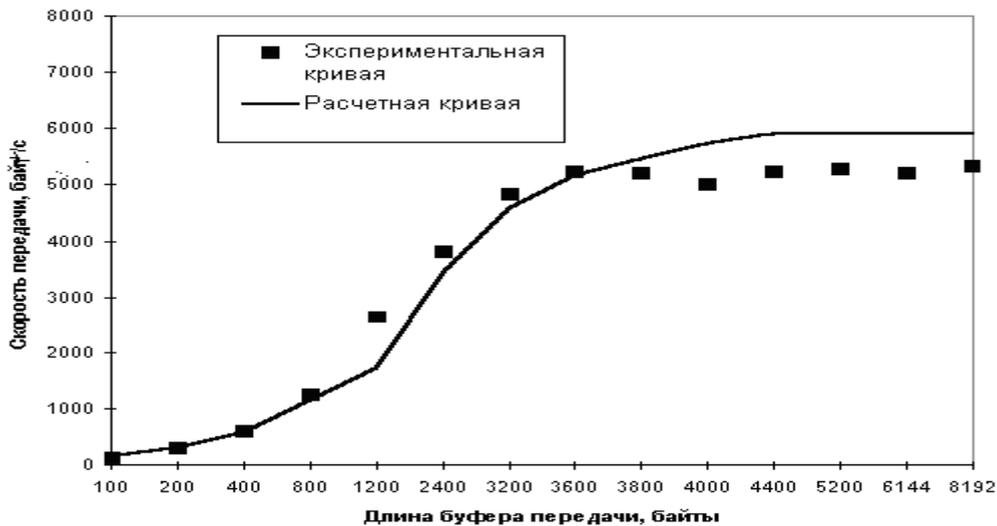


Рис. 3.6. Экспериментальный и расчетный графики зависимости скорости передачи трафика TCP от размера буфера передачи.

Таким образом, при скорости 64 кБит/с и задержке "туда-обратно" 600 мс грубая оценка необходимого размера окна передачи дает величину примерно 4.7 Кбайт. Вероятность сбоя для этого объема данных примерно 0.3%. Это говорит о том, что приблизительно каждую тысячную секунду содержимое буфера передачи полностью или частично придется передать повторно. Поэтому в нашем случае влиянием битовой достоверности канала на максимальную скорость передачи данных можно пренебречь. Однако, по мере увеличения скорости канала и времени задержки она будет увеличиваться.

Выводы по главе III

1. Расчет РРЛ показал, что антенна на крыше здания, где расположен офис клиента, не требует подвеса, что обусловлено малой длиной пролета, соответственно пренебрежимо малым влиянием кривизны земли и тем, что офис клиента находится выше препятствия. Для MINILINK коэффициент системы равен $SG=110\text{dB}$. Результаты расчета по устойчивости связи на РРЛ показали, что $T_{\Sigma} = T_{дон} (6,836 \cdot 10^{-5} < 3,075 \cdot 10^{-4})$ и что связь на участке устойчива.

2. Установлено, что величина чувствительности приемника, определяющая минимально необходимую для нормального приема мощности полезного сигнала на входе приемника для беспроводных сетей линий, составляет в пределах от -94 до -67dB;

4. Для исследования влияния задержек в канале на скорость передачи интерактивного трафика было проведено моделирование на спутниковом канале 64 кБит/с и установлено, что среднее время передачи одного пакета

составило 700мс. В локальной сети Ethernet в аналогичных условиях время задержки ~ 10 мс.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы реализации расчета высот подвеса антенн РРЛ

```
unit Unit; interface uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label 1: TLabel;
    Label 2: TLabel;
    Label 3: TLabel;
    Label 4: TLabel;
    Label 5:
      TLabel;
    Label 6: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label110: TLabel;
    Label111: TLabel;
    Label112: TLabel;
    GroupBox2:
      TGroupBox;
    Label113: TLabel;
    Label114: TLabel;
    Label115: TLabel;
    Label116: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
```

```

procedure Button1Click(Sender: TObject); private
{Private declarations} public
{Public declarations}end; var
Form1: TForm1; implementation {SR* dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject); varf,RO,Rl,CD,-
MN,ZY,kl,HO,deltaH,HOO,h1,h2,lyamda:real;

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы реализации расчета высот подвеса антенн РРЛ

```

begin
f:=StrToFloat(Edit1.Text);
RO:= StrToFloat(Edit2.Text);
RL:= StrToFloat(Edit3.Text);
CD:= StrToFloat(Edit4.Text);"
MN:= StrToFloat(Edit5.Text);
ZY:= StrToFloat(Edit6.Text);
lyamda:= 300000000/(f* 1 000000000);
kl:= Rl/RO;
HO:= sqrt((RO* 1000* lyamda* kl* (1-kl))/3);
deltaH:=-sqr(RO* 1000) * (2* 1e-8* kl* (1-kl))/4
HOO:= HO-deltaH;
h1:=MN+HOO-CD;
h2:=MN+HOO-ZY;
Labell5.Caption:=FloatToStr(h1);
Labell6.Cation:=FloatToStr(h2);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender:TObject);

begin
Edit1.Text: =";
Edit2.Text: =lf;
Edit3.Text: =M;

Edit4.Text:- ' ;
Edit5.Text: =";
Edit6.Text: =";
Label 15. Caotion: =";
Label 16. Caption:=
Procedure TForm1.Button3Click(Sender:TObject);
begin
Form1.Close;
end;

```

end.

Заключение

Согласно выполненным экспертным данным, линии связи на основе радиорелейного оборудования во многих случаях и могут быть альтернативой волоконно - оптическим линиям. И дело не только в том, что за долгую историю развития радиорелейной связи оборудование постоянно совершенствовалось и достигло высоких технических уровней, но и в дешевизне радиорелейных линий. Кроме этого, использование радиорелейных технологий позволяет оперативно развертывать и эксплуатировать сети связи различной топологии («звезда», «кольцо» и т.д.) Так же в далеко не в каждом отдаленных и трудно достигаемых местностях можно организовать какую - либо сеть. В этом случае по моему мнению правильно будет развертывать РРЛ связи.

Полученные в диссертационной работе основные результаты сводятся к следующему:

- предложены варианты планирования РРЛ сети и выбор диапазона частот в различных местностях таких как горная местность, городская, рассмотрен пролет над водой;
- программа расчета высот подвеса антенн РРЛ реализована на языке Borland Delphi 7;
- Моделирование процесса передачи трафика ТСП по реальному РРЛ

Расчет РРЛ показал, что антенна на крыше здания, где расположен офис клиента, не требует подвеса, что обусловлено малой длиной пролета, соответственно пренебрежимо малым влиянием кривизны земли и тем, что офис клиента находится выше препятствия

Для исследования влияния задержек в канале на скорость передачи интерактивного трафика было проведено моделирование на спутниковом канале 64 кБит/с и установлено, что среднее время передачи одного пакета составило 700мс. В локальной сети Ethernet в аналогичных условиях время задержки < 10 мс.

Список литературы

- 1 Като М., Иимура Д., Токоро М., Тома Ё. «Построение сетей ЭВМ» - М.: Связь, 1979.
- 2 Никульский И.Е. Система сбора данных для центра технической эксплуатации ГТС. //Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Применение электронных управляющих машин в коммутационной технике». — М.: Радио и связь, 1984-с. 86.
- 3 Олифер В.Г., Олифер Н.А. «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы.» — С. Пб.: Питер. 2005.
- 4 Убайдуллаев Р.Р. «Волоконно-оптические сети» - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.
- 5 Иванов А.Б. «Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения» - М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
- 6 Никульский И.Е. «Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа». М.: Техносфера, 2006. — 256 с..
- 7 Кокарева Т.В. Lucent объявляет о начале эры «Фотонной долины». //Сети и системы связи 2000. №8 (58), с. 20-22.
- 8 Кох Р., Яновский Г.Г. «Эволюция и конвергенция в электросвязи». М.: Радио и связь, 2001. - 280 с.
- 9 Соколов Н.А. «Сети абонентского доступа. Принципы построения». //ЗАО «ИГ» «Энтер-профи», 1999.
- 10 Олькин И.С. «Планирование сети беспроводного доступа: общие рекомендации». //Вестник связи № 3, 2005 г. - с. 48-54..
- 11 Никульский И.Е., Лопатин СИ., Сорокин В.Н. «Бесшнуровые телефонные системы и их использование на сетях электросвязи». //Электросвязь №12, 1996.-е. 17-19.
- 12 ETR 248. Transmission and Multiplexing (TM); Use of single-mode
- 13 Рекомендация МСЭ-Т G.984.3. Пассивные оптические сети с возможностью передачи на гигабитных скоростях (G-PON). Технические характеристики передачи на уровне сходимости.
- 14 Рекомендация МСЭ-Т Y. 1453. Взаимодействие TDM-IP. Взаимодействие в плоскости пользователя. (03/2006).
- 15 Рекомендация МСЭ-Т Y.1541 (2006 г.) изменение 1: Новое дополнение X-Пример, показывающий метод расчета IPDV на основе множества сегментов.
- 16 Никульский И.Е., Пяттаев В.О. Метод оценки и задержек распространения при моделировании пакетных сетей. Техника связи, 2008. №6, с. 8-10.
- 17 Никульский И.Е., Осадчий А.И. Методы оптимизации оптических сетей доступа.// Труды всеармейской научно-практической конференции «Инновационная деятельность в вооруженных силах Российской

Федерации». - ВАС, СПб, 2010 - с.352-358. научных трудов энергетика, радиотехника, электроника и связь, Алматы 2013. – 20 с.