

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Дыгаев Сейфадин Сулейманович

Тема: Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ЭТ и КТ

канд. техн. наук

Е. Таштай

“ 23 ” 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ»

по специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил

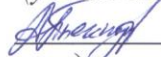


Дыгаев Сейфадин Сулейманович

Рецензент

Кандидат тех.наук, ассоц.проф.

(ученая степень, звание)



Токмолдаев А.Б.

подпись

Ф.И.О.

“ 24 ” 05 2022 г.

Научный руководитель

К.ф-м.н. ассоц. профессор

(ученая степень, звание)



Жунусов К.Х.

подпись

Ф.И.О.

“ 23 ” 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космические технологии»

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭТ и КТ

канд. техн. наук

 Е. Таштай

“ 21 ” XII 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Дыгаев Сейфадин Сулейманович

Тема Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ

Утверждена приказом Ректора Университета № 140 от “ 24 ” 01 2022 г.

Срок сдачи законченной работы “ 25 ” март 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1. Разработка алгоритма проектирования РРЛ и его исследование.;
 2. Принципы организации систем РРЛ
- Краткое содержание дипломной работы:
- а) Краткий обзор РРЛ;
 - б) Оборудование для исследования;
 - в) Расчет устойчивости связи;
 - г) Расчет множителя ослабления.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 10-15 слайдов презентации работы.

Список литературы: 1. Спутниковая связь и вещание: Справочник. Под ред. Л.Я.Кантора.- М.: Радио и связь, 1997. - 344 с.

2. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для ВУЗов. Под ред. В.И.Иванова.-2-е изд. -М.: Горячая линия-Телеком, 2003. -232 с.

3. Невдяев Л.М.,Смирнов А.А. Персональная спутниковая связь. -М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.-216с.

4. Мамаев Н.С. Спутниковое телевизионное вещание. Приемные устройства. - М.: Радио и связь, 2000.

5. Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая радиосвязь. -М.: Тех Бук, 2004.-288с.
6. Горностаев Ю.М. и др. Перспективные спутниковые системы связи/
Горностаев Ю.М.,Соколов В.В., Невдяев Л.М. -М.:Горячая линия-Телеком,
2000.-132с.
7. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. Курсовое
проектирование. -М.: Радио и связь, 1987.- 192 с.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Теоретическая часть	30.01.2022	Выполнено
Основная часть	10.02.2022	Выполнено
Расчетная часть	1.03.2022	Выполнено
Заключение	25.04.2022	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
(проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Магистр технических наук Досбаев Ж.М.	23.05.2022	

Научный руководитель  Жунусов К.Х.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся  Дыгаев С.С.
(подпись)

Дата "24" мая 2022г.

АҢДАТПА

Радиорелелік байланыс желілері (РРЛ) қазіргі заманғы телекоммуникациялық аймақ пен транзиттік байланыс желілерінің пайда болуында кеңінен қолданылады, оптикалық талшыққа балама және көбінесе жалғыз мүмкін нәтиже. Мұндай жүйелер деректерді және дауысты жеткілікті ұзақ қашықтыққа және кабельдік байланыс мүмкін емес немесе экономикалық себептерге байланысты тиімді емес жерлерде беру үшін өте тиімді.

Радиорелелік байланыс желілерінің трассасын және негізгі параметрлерін оңтайлы таңдау тек жобалау ғана емес, сонымен қатар радиосәуле шығару құралдарын, соның ішінде радиорелелік деректерді беру жүйелерін эксклюзивті бағалауға рұқсат алудың негізгі міндеті болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Радиорелейные линии связи (РРЛ) широко применяются при создании современных телекоммуникационных зоновых и транзитных транспортных сетей, являясь альтернативой оптоволокну, а зачастую и единственно возможным решением. Такие системы очень эффективны для передачи данных и голоса на достаточно большие расстояния и в тех местах, где прокладка кабеля не может быть возможна или не эффективна из-за экономических соображений.

Оптимальный выбор трассы радиорелейных линий связи и основных параметров — основная задача не только проектирования, но и получения разрешений на дальнейшую эксплуатацию радиоизлучающих средств, в том числе радиорелейных систем передачи данных.

ANNOTATION

Radio relay communication lines (RRL) are widely used in the emergence of modern telecommunication zone and transit communication networks, being an alternative to optical fiber, and often the only possible result. Such systems are very effective for transmitting data and voice over sufficiently long distances and in places where cabling cannot be or is not effective due to economic considerations.

The optimal choice of the route of radio-relay communication lines and the main parameters is the main task of not only designing, but also obtaining permits for an exclusive assessment of radio-emitting means, including radio-relay data transmission systems.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Принципы организации систем радиорелейной связи	12
1.1 Применение радиорелейной связи	12
1.2 Преимущества и недостатки радиорелейного канала связи по сравнению с волоконно-оптическими линиями	13
1.3 Структура радиорелейной связи	13
1.4 Проблемы организации связи	16
1.5 Частотные диапазоны РРЛ	16
2 Выбор аппаратуры	18
2.1 Выбор оборудования исходя из технического задания	18
2.2 Требования к выбору трассы и местам расположения РРЛ	21
2.3 Определение высот антенных опор при проектировании РРЛ	22
3 Расчет проектирования ррл свя	23
3.1 Расчет устойчивости связи	23
3.2 Радиорелейные линии с цифровыми методами передачи; особенности проектирования цифровых РРЛ	24
3.3 Анализ и классификация трассы интервала	29
3.4 Профиль трассы и эквивалентный радиус Земли	30
3.5 Расчет множителя ослабления	34
3.6 Расчет пролета	39
Заключение	47
Список используемой литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. С целью более полного удовлетворения растущих потребностей населения и обеспечения четкого ритма экономического, социального и культурного строительства, сеть связи любой страны должна постоянно развиваться.

Среди современных средств связи особое место, благодаря их технико-экономическим преимуществам, занимают радиорелейные линии прямой видимости (РРЛ). Поэтому развитие сетей в значительной степени обусловлено развитием радиорелейной связи.

Во многих странах радиорелейные линии составляют большие половины междугородной телефонной сети и целиком сеть передачи телевизионных программ.

Успешно используются они для передачи и других видов информации - телеграфной, фототелеграфной, цифровых потоков и т.п. Международным консультативным комитетом по радио (МККР) установлено, что радиорелейные линии по ряду причин пользуются большим спросом у развивающихся стран.

В условиях широкомасштабного строительства РРЛ особое значение приобретают вопросы повышения их экономической эффективности и улучшения качества их работы. Приходится констатировать, что принципы проектирования РРЛ, применяемые в настоящее время на практике, лишены реальной основы, необходимой для решения этих вопросов.

Задача повышения эффективности РРЛ и улучшения качества их работы весьма актуальна и магистральным путем ее решения является совершенствование методов их проектирования. Необходимо заложить в этих методах такие принципы и такую организацию, которые должны способствовать максимальному приближению реальных характеристик к потенциальным.

Реализация этой идеи предполагает построение такой системы проектирования РРЛ, которая позволяла бы определить оптимальные (или близкие к ним) решения основных вопросов, которыми в конечном счете определяются характеристики их эффективности и качества. Однако, в этом направлении до сих пор не проведены обстоятельные научные изыскания. Встречаются работы, в которых освещаются лишь частные вопросы проектирования РРЛ.

Методы и подходы, изложенные в них, несомненно, имеют большой практический интерес, но не позволяют существенно улучшить качество проектирования РРЛ. Поэтому всестороннее исследование проблем проектирования РРЛ представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Цель и задачи работы. Целью настоящей диссертационной работы является разработка алгоритма проектирования РРЛ и его исследование. В работе рассматриваются две основные задачи.

Первая - задача анализа проблем проектирования РРЛ. Целью анализа является постановка задачи проектирования РРЛ. Для достижения этой цели необходимо было провести:

- анализ главных (экономических) характеристик РРЛ с выявлением ядра стоимостной характеристики;
- анализ основных технических характеристик РРЛ;
- анализ основных этапов проектирования РРЛ.

На основе анализа сформулированы цели проектирования РРЛ, выдвинуты критерии, описывающие эти цели, предложена постановка задачи проектирования РРЛ, осуществлено разделение этой общей задачи на три частные задачи более низкого уровня.

Далее проведен анализ моделей с целью выявления возможности их применения к решению выше указанных трех оптимизационных задач. Помимо классических моделей программирования и теории принятия решений, рассмотрена модель, построенная с использованием элементов теории упорядоченных множеств.

Вторая - задача синтеза оптимальных РРЛ.

Структура работы: состоит введение, основная часть из трех глав и тринадцати под глав, заключение, список использованной литературы.

1 ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

1.1 Применение радиорелейной связи

Радиорелейные станции (РРС) как правило применяются: для сотворения скоростных беспроводных трасс интернет- провайдерами, сотовыми операторами, в больших корпоративных сетях для передачи инфы по беспроводным мостам меж разными отрядами, для каналов "последней мили" и иных аналогичных задач.

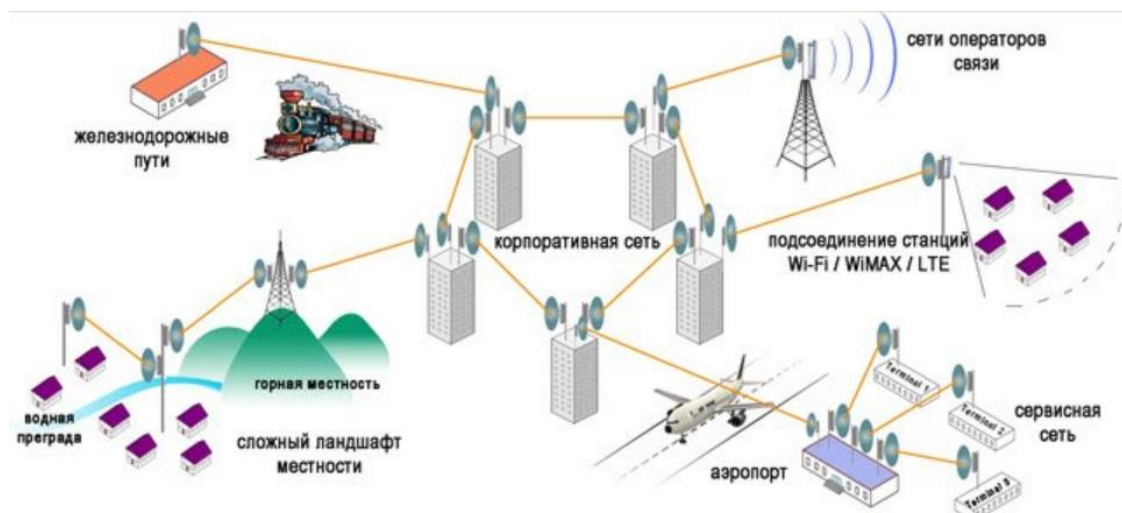


Рисунок 1.1 – Принцип организации РРЛ

РРС относительно изредка используются в разделе SOHO и личными лицами, например, как их внедрение почаше всего настоятельно просит лицензирования и стоят они значительно дороже оснащения WI-FI, в том числе и провайдерского класса. Кроме производительности высочайшая стоимость оправдывает себя долгим сроком службы оснащения: основная масса моделей основных вендоров радиорелейных станций рассчитано на некоторое количество 10-ов лет службы (20-30 лет), в что количестве в грозных погодных критериях.

Внедрение высокоэффективных модуляций сигнала (256QAM, 1024QAM). Образ передачи данных - направленный (РРЛ оснащается узконаправленными антеннами). На радиорелейках возводят, в ведущем, беспроводные мосты, раздача трафика в режиме точка-многоточка не применяется.

Высочайшая пропускная дееспособность и дальность связи. Абсолютный дуплекс каналов. Не считая такого, в радиорелейной связи, в отличие от простого WiFi, деятельно используется: агрегирование каналов для увеличения пропускной возможности пролета; резервирование канала передачи для увеличения надежности соединения; ретрансляция сигнала от станции к станции для наращивания совместной дальности передачи.

1.2 Преимущества и недостатки радиорелейного канала связи по сравнению с волоконно-оптическими линиями

Преимущества: Вероятность выстроить РРЛ в территории со сложными географическими критериями (горы, ущелья, болота, леса и т. д.), где прокладка оптоволоконной трассе невыполнима или же экономически нецелесообразна. Стремительность построения - практически некоторое количество дней. Для пуска РРЛ надо лишь только ввести станции в исходных, конечных и, вполне вероятно, промежуточных точках, не надо прокладывать кабель на всем протяжении магистрали. Недоступность риска падения канала связи по причине повреждения или же кражи кабеля. Невысокая себестоимость беспроводной магистрали.

Основной недостаток: радиорелейной части (РРЛ) по сопоставлению с оптоволоконной — невозможность заслуги вправду высочайшей пропускной возможности. Максимально, собственно, что вы сможете получить по беспроводу — это до 10 Гбит/сек, в то время как скорость по оптоволоконной трассе измеряется терабитами. Не обращая внимания на неширокую нишу, есть достаточно большое количество всевозможных типов радиорелейных станций. Ниже мы разглядим их ведущую систематизацию и совместные свойства, а еще серию радиорелеек Ubiquiti, подходящих по соответствию цена/производительность раздела рынка.

1.3 Структура радиорелейной связи

Радиорелейная связь — характерный вид беспроводной связи, способствующий передавать данные на большие расстояния, с высокой пропускной способностью. Наземная радиорелейная связь производится обычно на дециметровых и сантиметровых волнах (от нескольких сотен мегагерц до нескольких десятков гигагерц).

По назначению радиорелейные системы связи делятся на три категории каждой из которых на территории Республики Казахстан выделены свои диапазоны частот:

- 1) местные линии связи от 0,39 ГГц до 40,5 ГГц;
- 2) внутризоновые линии связи от 1,85 ГГц до 15,35 ГГц;
- 3) магистральные линии связи от 3,4 ГГц до 11,7 ГГц.

Причина деления связана с влиянием окружающей среды распространения на обеспечение неуязвимости радиорелейной связи. До частоты 12 ГГц атмосферные явления оказывают слабое влияние на качество радиосвязи, на частотах выше 15 ГГц, это влияние становится заметным, а выше 40 ГГц определяющим, кроме того, на частотах выше 40 ГГц значительное влияние на качество связи оказывает затухание в газах, составляющих атмосферу Земли.

Атмосферные потери, в основном, складываются из потерь в атомах кислорода и в молекулах воды. Практически полная непрозрачность атмосферы для радиоволн наблюдается на частоте 118,74 ГГц (резонансное поглощение в атомах кислорода), а на частотах больше 60 ГГц погонное затухание превышает 15 дБ/км. Ослабление в водяных парах атмосферы зависит от их концентрации и весьма велико во влажном теплом климате и доминирует на частотах ниже 45 ГГц.

Также отрицательно на радиосвязь влияют гидрометеоры, к которым относятся капли дождя, снег, град, туман и пр. Влияние гидрометеоров заметно уже при частотах больше 6 ГГц, а в неблагоприятных экологических условиях (при наличии в атмосферных осадках металлизированной пыли, смога, кислот или щелочей) и на значительно более низких частотах.

Антенны соседних станций располагают в пределах прямой видимости (за исключением тропосферных станций). Для увеличения длины интервала между станциями антенны устанавливают как можно выше — на мачтах (башнях) высотой 10—100 м (радиус видимости — 40-50 км) и на высоких зданиях. Станции могут быть как стационарными, так и подвижными (на автомобилях).

Принципиальным отличием радиорелейной станции от иных радиостанций является дуплексный режим работы, то есть приём и передача происходят одновременно (на разных несущих частотах).

Протяженность наземной линии радиорелейной связи — до 10000 км, ёмкость — до нескольких тысяч каналов тональной частоты в аналоговых линиях связи, и до 622 мегабит в цифровых линиях связи. В общем случае, протяжённость и ёмкость (скорость передачи данных) находятся в обратной пропорциональной зависимости друг от друга: как правило, чем больше расстояние, тем ниже скорость, и наоборот.

В состав любой радиорелейной станции входит следующее оборудование:

- 1) аппаратура уплотнения каналов;
- 2) аппаратура служебной связи;
- 3) телесигнализации и телеуправления;
- 4) приемопередающая аппаратура;
- 5) аппаратура систем автоматического резервирования стволов;
- 6) антенно-фидерные устройства;
- 7) оборудование систем гарантированного электропитания.

Современный приемопередающий комплекс способен передавать от нескольких каналов тональной частоты до 34 Мбит/с при плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ).

В тех случаях, когда радиорелейная система передачи (РРСП) предназначена для передачи большего числа сигналов, она образуется несколькими приемопередающими комплексами, работающими в одном направлении на различных частотах. Каждый из таких комплексов сверхвысокочастотных приемопередатчиков принято называть стволом.

По области применения РРЛС делятся на магистральные, протяженностью более 2,5 тысяч км, внутризоновые – республиканского и областного значения протяженностью 250-1400 км, местные 50-200 км.

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

В зависимости от среды распространения (точнее, в зависимости от того, как сигналы распространяются в среде), радиорелейные линии связи делятся на РРЛ прямой видимости и тропосферные РРЛ.

Линии прямой видимости РРЛ представляют собой линии связи, которые обеспечивают передачу сигналов в открытом пространстве между наземными станциями, расположенными на трассе РРЛ одна относительно другой на расстоянии прямой видимости между антеннами этих станций.

Тропосферные РРЛ представляют собой линии связи, которые обеспечивают передачу сигнала за счет рассеяния и отражения радиоволн в нижней области тропосферы между наземными станциями, расположенными на трассе РРЛ относительно друг друга за пределами прямой видимости между антеннами этих станций.

Соответственно, системы радиорелейной связи являются либо РРС прямой видимости, либо тропосферными РРС (РРСП). Попутно отметим, что, по мнению многих экспертов, РРС прямой видимости получили все большее распространение по всему миру.

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

Длина пролета между соседними РРС обычно от 30 до 55 км. В диапазонах частот выше 11 ГГц, это значение может уменьшаться с повышением частоты. В отдельных случаях длина может быть уменьшена до 20 или 30 км из-за необходимости размещения РРС в заданном пункте, а также когда на трассе РРЛ имеются препятствия.

Ограниченность расстояния прямой видимости не следует рассматривать как сугубо отрицательный фактор. Именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн на большие расстояния устраняются взаимные помехи между РРСП, а также возможно повторное использование частотного диапазона.

1.4 Проблемы организации связи

Физические процессы, происходящие в канале связи, определяют изменения, которые претерпевает сигнал на пути от передатчика к приемнику.

Во-первых, аддитивные помехи влияют на сигнал. Для низкочастотных и среднечастотных систем такими помехами являются сигналы от соседних радиостанций, атмосферный и промышленный шум. Для радиорелейных систем УВЧ и СВЧ решающее значение приобретают собственные внутренние шумы приемных устройств, а для систем космической радиосвязи к ним добавляются шумы космического происхождения (при нарушении правил электромагнитной совместимости возможно также влияние других радиосредств, работающих в комбинированном диапазоне частот).

Во-вторых, на сигнал в канале влияют мультипликативные помехи, вызванные изменениями параметров канала как четырехполосного.

Комбинированный эффект аддитивных и мультипликативных помех определяет искажение сигнала. Величина искажений зависит от интенсивности помех и помехоустойчивых свойств системы связи. Любой канал связи вносит определенные искажения. При этом передача считается неискаженной, если искажения, вносимые системой связи, не превышают установленных норм.

Важна и другая проблема. Нагрузка диапазона радиочастот до 11 ГГц в настоящее время такова, что сами средства радиосвязи вынуждены работать в комбинированных частотных диапазонах, и фактически радар, радионавигация и радиотелеметрия также работают в этом диапазоне. Существует серьезная и сложная проблема электромагнитной совместимости различных радиосредств, которая требует решения не только в национальном, но и в глобальном масштабе.

1.5 Частотные диапазоны РРЛ

Диапазон 7 ГГц (7.25-7.55 ГГц)

Диапазон 7 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.

Диапазоны 11 и 13 ГГц (10.7-11.7, 12.7-13.2 ГГц)

Эти диапазоны перспективны с точки зрения эффективности систем РРЛ. При протяженности пролета 15-30 км, высокоэффективные антенны имеют небольшие габариты и вес, что обеспечивает относительную дешевизну антенных опор.

Доля влияния атмосферной рефракции на устойчивость работы систем уменьшается, но увеличивается влияние гидрометеоров. В этих диапазонах, в основном, строятся цифровые радиорелейные системы связи на скорости до 55 Мбит/с, хотя, есть примеры передачи цифровых потоков со скоростями до 155 Мбит/с.

Но эти диапазоны используют большое количество радиосредств. Спутниковые системы связи, различные радиолокаторы и пеленгаторы, охранные системы создают неблагоприятную электромагнитную обстановку, что затрудняет работу в данных диапазонах.

Диапазоны 15 и 18 ГГц (14.5-15.35, 17.7-19.7 ГГц)

Интенсивное развитие систем связи привело к бурному освоению этих диапазонов частот. Средняя протяженность пролетов достигает 20 км для зон с умеренным климатом. Аппаратура 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.

На распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и интерференция прямых и отраженных волн. Ослабление в дожде может составлять 1-12 дБ/км (при интенсивности дождей 20-160 мм/час). Некоторое влияние оказывает и сама атмосфера (атомы кислорода и молекулы воды), ослабление в которой достигает 0.1 дБ/км.

Диапазон 23 ГГц (21.2-23.6 ГГц)

Согласно рекомендациям МСЭ-Р в этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости. Средняя протяженность пролетов меньше 20 км, так как на распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и ослабления в атмосфере. Желательно использовать вертикальную поляризацию радиоволн, хотя разрешено использование любой поляризации. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.3, 0.6 и 1.2 м.

Ослабление в дождях может быть от 2 до 18 дБ/км, а в атмосфере достигает 0.2 дБ/км. Диапазон разрешено использовать в спутниковых системах связи. Поэтому при расчетах необходимо учитывать возможность помех.

2 ВЫБОР АППАРАТУРЫ

2.1 Выбор оборудования исходя из технического задания

Из заданной скорости видно, что необходимо применить 20 стволы, выбранное оборудование позволяет это сделать.

Микран-РЛ 13Р+

Семейство ЦРПС «МИК-РЛххР+» - универсальное решение для построения как сетей псевдосинхронной (PDH) и синхронной (SDH) цифровых иерархий, так и сетей PDH повышенной пропускной способности (PDH+). Обеспечивает совместную передачу TDM и Ethernet трафика с возможностью гибкого перераспределения пропускной способности. Аппаратура работает в диапазонах частот от 4 до 15 ГГц, отличается высокой скоростью передачи, гибкостью конфигурирования и масштабирования.

Отличительные особенности:

- изменяемая пропускная способность 5...155 Мбит/с;
- полезная нагрузка до 48xE1 + Ethernet или STM-1;
- совместная передача TDM и Ethernet трафика с возможностью гибкого перераспределения пропускной способности;
- помехоустойчивое кодирование Витерби / Рида-Соломона;
- возможность программного управления шириной полосы частот радиоканала, программное переключение вида модуляции от QPSK до 256QAM, спектральная эффективность до 8 бит/с/Гц;
- адаптивная регулировка мощности передатчиков для снижения помех в сети РРС;
- модульное построение IDU с возможностью установки до 3-х сменных интерфейсных модулей;
- возможность наращивания скорости передачи в эксплуатации без замены оборудования;
- встроенный 4-х портовый коммутатор Ethernet;
- поддержка защищённых конфигураций: горячее резервирование с безобрывным переключением радиостволы и резервирование с пространственным разносом;
- повышенная грозозащищённость оборудования благодаря использованию оптоволоконного кабеля снижения;
- возможность питания приемопередатчиков от независимого источника для увеличения расстояния ODU-IDU до нескольких километров;
- универсальный протокол сетевого управления SNMP;
- компактная конструкция оборудования, простота монтажа.

Таблица 2.1 – Технические характеристики ЦРПС МИК-РЛ1

Тип РРС МИК-РЛ	13Р+
----------------	------

Диапазон частот, ГГц		12,75-13,25	
Рекомендация ITU-R		F.497	
Дуплексный разнос, М Гц		266	
Число поддиапазонов		3(н)+3(в)	
Ширина поддиапазона, МГц		85	
Перестройка частоты		программная в пределах поддиапазона, шаг 250 кГц	
Передатчик			
Тип РРС МИК-РЛ		13Р+ /	
Выходная мощность, дБм, при модуляции	QPSK	+29	
	16QAM	+26	
	64QAM	+23	
	256QAM	+21	
Регулировка мощности		0...-20 дБ, с шагом 1 дБ ручная / автоматическая	
Нестабильность частоты		$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	
Побочные излучения, дБм		-60	
Приемник		13Р+	
Ширина полосы спектра, МГц		28	
Чувствительность приёмника, дБм, при модуляции	QPSK	-86	
	16QAM	-79	
	64QAM	-73	
	256QAM	-67	
Максимальный уровень сигнала на входе приемника, дБм, при модуляции	QPSK	-10 (КОШ $\leq 10^{-3}$)	
	16QAM	-14 (КОШ $\leq 10^{-3}$)	
	64QAM	-17 (КОШ $\leq 10^{-3}$)	
	256QAM	-20 (КОШ $\leq 10^{-3}$)	
Допустимый уровень интерференции (деградация на 3дБ), дБ по каналу, при модуляции	Канал	Совмещенный	Соседний
	QPSK	19	-3
	16QAM	26	-4
	64QAM	29	-5

	256QAM	33	-5
Остаточный коэффициент ошибок в потоке E1	$\leq 10^{-10}$		
Динамический диапазон АРУ, дБ	≥ 50		

Таблица 2.2 – Функциональные возможности

Конфигурация системы	1+0, 1+1, 2+0				
Автоматическое резервирование / количество частот / критерии переключения	«Горячее» / 2 пары частот / BER, P _{вх} , LOS, AIS, HW-alarm; «Теплое» / 1 пара частот / BER, P _{вх} , LOS, AIS, HW-alarm; «Пространственное разнесение» / 1 пара частот / BER, P _{вх} , LOS, AIS, HW-alarm				
Пропускная способность, Мбит/с, при модуляции	Ширина полосы спектра, МГц	3,5	7	14	28
	QPSK	4,9	9,8	19,6	39,2
	16QAM	9,8	19,6	39,2	78,4
	64QAM	-	-	-	117,6
	256TCM	-	-	-	156,8
Полезная нагрузка	до 48xE1 + Ethernet / STM-1				
Внешние аварии	3 входа / 3 выхода				
Сетевой мониторинг и управление	ПСО «Мастер» (SNMP, Ethernet)				
Кабели снижения	Кабель трафика (ППУ - модуль доступа) - оптический одномодовый Кабель питания (ППУ - источник питания) - электрический (2x1,5 мм ² / 2x2,5 мм ² / 2x4 мм ²)				
Максимальное расстояние между МД и ППУ, м	15 000				
Максимальная длина кабеля питания ППУ, м	150 / 250 / 400 при сечении кабеля 2x1,5 мм ² / 2x2,5 мм ² / 2x4 мм ² и U _{пит} = 48 В 500 / 800 / 1200 при сечении кабеля 2x1,5 мм ² / 2x2,5 мм ² / 2x4 мм ² и U _{пит} = 60 В				

Таблица 2.3 – Характеристики оборудования

	Выносное оборудование (ODU)	Внутреннее оборудование (IDU)
Условия окружающей среды		
Температура рабочая	-55...+50°C	+5...+45°C
Температура включения	-50...+50°C	+5...+45°C

Относительная влажность воздуха	98% при +25°C	80% при +25°C
Атмосферное давление	6x104 Па (450 мм рт.ст.)	
Электропитание		
Напряжение питания, В	-39...-72	
Потребляемая мощность, Вт	< 60	< 25
Механические характеристики		
Габариты, мм	264x370x125	480x44x240 (19", 1U)
Масса, кг	< 10	< 4

2.2 Требования к выбору трассы и местам расположения РРЛ

Стоимость постройки и эксплуатации проектируемой РРЛ находится в зависимости от верного выбора магистрали. Под магистралью знают месторасположение РРЛ связи на территории или же карте. Выбор магистрали РРЛ и расположения ОРС и ПРС считается первым рубежом проектирования части связи. Дабы, верно, избрать трассу, предусматривают технико-экономические свойства и природно-географические обстоятельства региона, в котором станет протекать проектировка ожидаемой РРЛ. Для сего пользуют топографические карт всевозможных масштабов, присутствие стезей сообщения и районные строй ресурсы, возможности обеспечения электричеством радиорелейных станций.

Примыкающие ПРС обязаны пребывать в границах прямой видимости, взыскивать очень высочайшие антенные опоры для сего не стоит, дабы дополнительно не удорожать строительство.

Как вариант, применить площадки на возвышенных пространствах и зданиях. Соблюдение конкретных правил в процессе прокладки магистрали, гарантирует стабильность работы всей РРЛ. На территории все ПРС и УРС надо располагать в пространствах с неплохими подъездными дорогами (вдоль авто дорог), неподалеку от рядов электропередач (ЛЭП) для питания электричеством аппаратуры станций. Нужно устремляться к что, дабы количество промежуточных станций было не достаточно. При выборе магистрали РРЛ учитывается «зигзагообразность», дабы вычеркивать обоюдные помехи от ПРС, работающих на тех же частотах. В итоге выбора магистрали делаются популярными (иногда ориентировочно) протяженности интервалов и их профили.

2.3 Определение высот антенных опор при проектировании РРЛ

Совместной задачей расчета считается нахождение высококачественных характеристик работы части. Расплата находится в зависимости от начальных данных и притязаний. Для определения высот антенных опор нужно избрать просветы на интервалах РРЛ.

При расчете высоты подвеса антенн на пересеченном просвете нужно принимать во внимание условие недоступности экранировки преградами малой зоны Френеля при субрефракции радиоволн. Принимая во внимание, собственно, что главная толика энергии передатчика распространяется в сторону приемной антенны изнутри малой зоны Френеля, представляющий эллипсоид вращения с фокусами в точках передающей и приемной антенн. Радиус малой зоны Френеля в всякий точке просвета располагается по формуле:

$$H_0 = \frac{\sqrt{R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}}{3} \quad (2.1)$$

где k – условная координата точки, определяющая просвет на магистрали.

Под просветом на просвете знают расстояние меж линией, соединяющей центры антенн и критичной точки профиля, имеющееся в направлении 80% времени. Просвет определяют графически в более высочайшей точке профиля. В случае если просвет на просвете не наименее H_0 , то интенсивность поля в точке способа станет равна напряженности поля при распространении радиоволн в свободном месте.

При определении притязаний к разрабатываемым радиорелейным системам, целенаправленно воспользоваться усредненными статистическими данными о рельефе и зависимости просвета от длины магистрали и высот подвеса антенн.

3 РАСЧЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РРЛ СВЯЗИ

3.1 Расчет устойчивости связи

Запас на замирание Z – это величина, обратная минимально допустимому множителю ослабления $V_{\min}$.

Суммарная вероятность ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала на одном из пролетов обуславливается тремя причинами: экранировкой препятствиями минимальной зоны Френеля $T_0(V_{\min})$, интерференцией в точке приема прямого луча и лучей, отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы $T_{\text{инт}}(V_{\min})$, ослаблением сигнала из-за дождей $T_{\text{д}}(V_{\min})$

$$T_{\text{пр}}(V_{\min}) = T_0(V_{\min}) + T_{\text{инт}}(V_{\min}) + T_{\text{д}}(V_{\min}) \quad (3.1)$$

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).

Расчет $V_{\min}$ может быть произведен с помощью коэффициента системы, для определения которого следует записать систему из двух уравнений передачи

$$P_{\text{с.вх}} = P_{\text{п}} L_{\Sigma} \quad (3.2)$$

$$d = \frac{(P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{вых}}}{(P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}} \quad (3.3)$$

где d – выигрыш в отношении сигнал-шум, обусловленный применением частотной модуляции; этот выигрыш при известных параметрах аппаратуры также можно считать известным.

Если значение $P_{\text{с. вх}}$ из первого уравнения подставить во второе, то получим

$$d = \frac{P_{\text{с.вых}} P_{\text{ш.вх}}}{P_{\text{ш.вых}} P_{\text{п}} L_{\Sigma}} \quad (3.4)$$

Умножив правую и левую части этого выражения на отношение $P_{\text{п}}/P_{\text{ш.вх}}$, получаем два равных отношения для коэффициента системы

$$K = d \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{ш.вх}}} = \frac{1}{L_{\Sigma}} \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вых}} \quad (3.5)$$

С помощью первого соотношения по известным параметрам аппаратуры $P_{\text{п}}$, $P_{\text{ш. вх}}$, d может быть рассчитан коэффициент системы в децибелах: для ТФ ствола

$$K_{\text{ТФ}} = 175,41 + 10\lg P_{\Pi} - 10\lg n_{\text{Ш}} - 20\lg(F_B/\Delta f_k) \quad (3.6)$$

для ТВ ствола

$$K_{\text{ТВ}} = 158,4 + 10\lg P_{\Pi} + 10\lg n_{\text{Ш}} \quad (3.7)$$

где $10\lg P_{\Pi}$ – в децибеловаттах;

$n_{\text{Ш}}$ – коэффициент шума приемника;

F_B – верхняя частота группового спектра многоканального телефонного сообщения;

Δf_k – девиация частоты на канал.

С учетом выражение можно переписать в виде

$$K = \frac{1}{L_{\text{ПОСТ}} V_{\min}^2} \left(\frac{P_C}{P_{\text{Ш}}} \right)_{\text{ВЫХ}_{\min}} \quad (3.8)$$

где величина $(P_C/P_{\text{Ш}})_{\text{ВЫХ}_{\min}}$ определяется выражениями.

Тогда минимально допустимый множитель ослабления для телефонного ($V_{\min\text{ТФ}}$) и телевизионного ($V_{\min\text{ТВ}}$) стволов будет определяться (в децибелах) по формулам

$$V_{\min\text{ТФ}}^2 = 44 \text{ дБ} - K_{\text{ТФ}} - L_{\text{ПОСТ}} \quad (3.9)$$

$$V_{\min\text{ТВ}}^2 = 49 \text{ дБ} - K_{\text{ТВ}} - L_{\text{ПОСТ}} \quad (3.10)$$

При этом

$$L_{\text{ПОСТ}} = L_{\Phi\Sigma} + G_{\Sigma} + L_0 \quad (3.11)$$

не зависящее от времени ослабления сигнала на пролете.

Расчет проводят по обоим выражениям и сравнивают $V_{\min}$ между собой. Дальнейшие расчеты проводят для худшего случая, т. е. для большей величины $V_{\min}$ (меньшей в дБ по абсолютной величине).

Затем рассчитывается $T_0(V_{\min})$, $T_{\text{ИНТ}}(V_{\min})$ и $T_{\text{Д}}(V_{\min})$ и, наконец, $T_{\text{ПР}}(V_{\min})$

3.2 Радиорелейные линии с цифровыми методами передачи; особенности проектирования цифровых РРЛ

Высокие технические характеристики современной аппаратуры позволяют применить упрощенную практическую методику для расчетов основных параметров ЦРРЛ. Основу методики расчета составляют рекомендации МСЭ-Р и предложения ряда отечественных и зарубежных фирм. При этом определяются

высоты подвеса антенн в пунктах расположения станций ЦРРЛ и выбираются основные параметры оборудования для получения качественных показателей линии связи, удовлетворяющих нормам. Кроме того, проводится расчет влияния как внешних помех (например, от спутниковых систем связи), так и коррелированных и некоррелированных помех, создаваемых различными станциями или стволами линии связи.

Основные принципы расчета ЦРРЛ такие же, как и аналоговых, но имеется ряд особенностей, обусловленных построением аппаратуры ЦРРЛ и видом передаваемых сигналов.

Структурная схема ОРС цифровой РРЛ приведена на рисунке 3.1.

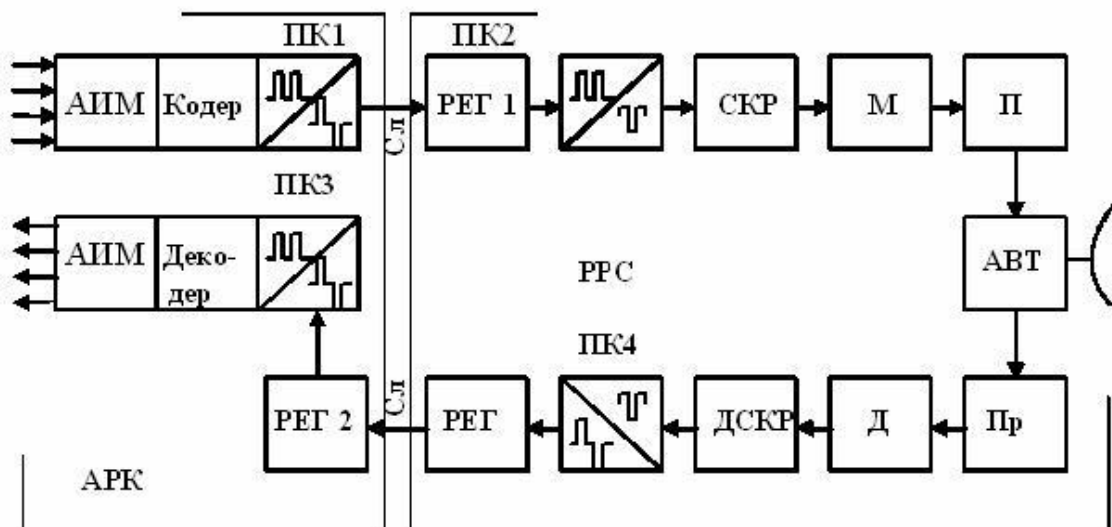


Рисунок 3.1 – Структурная схема ОРС цифровой РРЛ

Аппаратура станции состоит из двух основных частей: Аппаратуры разделения каналов (АРК) и радиорелейной аппаратуры, которая соединена с АРК соединительным кабелем.

Передающая часть АРК включает в себя:

- устройство дискретизации сигналов многоканальных ТФ сообщений с помощью амплитудно-импульсной модуляции (АИМ);
- кодер (К), с помощью которого каждый из отсчетов сигнала АИМ преобразуется в кодовое слово двоичного цифрового сигнала;
- преобразователь кода (ПК1), на выходе которого образуется линейный цифровой сигнал (ЛЦС) в виде разно-полярных импульсов.

Приемная часть АРК осуществляет обратные операции и содержит:

- преобразователь кода (ПК3);
- Декодер (ДК);
- Демодулятор (АИМ).

ПК1 и ПК3 согласовывают спектральные характеристики сигнала с частотной характеристикой соединительного кабеля.

В передающую часть РРС входят:

- регенератор РЕГ 1, служащий для восстановления формы, длительности и амплитуды каждого из символов ЛЦС (РЕГ2 устанавливаются для исправления искажений, вносимых кабелем, если протяженность кабеля, соединяющего АРК и РРС превышает 1,5 км);

- преобразователь кода ПК 2, который превращает входной ЛЦС в «телеграфный» сигнал – последовательность разно-полярных импульсов без постоянной составляющей с длительностью импульса, равной тактовому интервалу (ПК 4 выполняет обратное преобразование);

- скремблер СКР, в котором осуществляется преобразование сигнала таким образом, чтобы обеспечивалась одинаковая вероятность передачи символов «0» и «1» (дескремблер ДСКР выполняет обратное преобразование; восстанавливает исходное соотношение между символами «0» и «1» в цифровом сигнале);

- модулятор М, в котором осуществляется процесс модуляции, несущей цифровым сигналом перед тем, как он попадет на СВЧ передатчик П (в СВЧ приемнике при демодуляторе Д происходит обратный процесс).

При этом используются такие виды модуляции бинарным цифровым сигналом: амплитудная импульсно-кодовая модуляция (ИКМ-АМ), ИКМ-ЧМ, ИКМ-ФМ, ИКМ-ОФМ.

Основные параметры цифровых РРЛ.

В качестве исходных данных для расчета ЦРРЛ в числе прочих входят параметры ЛЦС на входе модулятора (и выходе демодулятора) системы. Одним из основных параметров ЛЦС является скорость передачи, определяемая числом двоичных единиц (бит), передаваемых в единицу времени. В соответствии с нормами для ТФ канала период дискретизации $T_d = 125$ мкс, каждый временной отсчет передается восьмиразрядным бинарным кодом ($n=8$). Каждому ТФ каналу соответствует цифровой канал со скоростью передачи $V_k = n/T_d = 64 \cdot 10^3$ бит/с. Для передачи сигналов многоканальных ТФ сообщений в первичной сети предусмотрен ряд типовых цифровых трактов.

Вторым важным параметром ЛЦС является его спектр. ЛЦС – случайная последовательность импульсов, обычно для него рассчитывают энергетический спектр, определяемый принятым кодом. При формировании ЛЦС применяют бинарные и троичные коды. Выбор кода ЛЦС определяется особенностями передачи его по соединительным линиям, в качестве которых используют симметричные или коаксиальные кабели.

Расчет устойчивости связи ЦРРЛ (проводится в соответствии с методикой, изложенной для аналоговых РРЛ).

Минимально допустимый множитель ослабления для ЦРРЛ (в дБ)

$$V_{min}^2 = P_{C.BXmin} - P_{C.BX.0} \quad (3.12)$$

где $P_{C.BXmin}$ – минимально-допустимый уровень мощности сигнала на входе приемника (чувствительность приемника – задается для различной аппаратуры), при котором вероятность ошибки приема цифрового сигнала не

превышает допустимого значения ($P_{\text{ош, доп}} \leq 10^{-3}$ в течение 0,05% времени любого месяца);

$P_{\text{с.вх.0}}$ – уровень при распространении радиоволн в свободном пространстве без учета $L_{\text{доп}}$, т. е. $10 \lg P_{\text{с.вх}} = P_{\text{п}} + L_{\Sigma}$).

При других допустимых значениях вероятности ошибки

$$P_{\text{с.вхmin}} = h_{\text{вхmin}} + P_{\text{ш}} \quad (3.13)$$

Здесь $P_{\text{ш}}$ – уровень мощности теплового шума, приведенного ко входу приемника;

$$P_{\text{ш}} = 10 \lg \text{ШКТП}_{\text{ш}} \quad (3.14)$$

Ш – шум-фактор приемника, $\text{КТ} = 4 \cdot 10^{-21} \text{Вт/Гц}$;

$\text{П}_{\text{ш}}$ – шумовая полоса приемника, Гц;

$h_{\text{вхmin}}$ – минимально допустимое отношение сигнал-шум на входе приемника, определяемое из выражений, связывающих отношение сигнал-шум на входе приемника при различных способах модуляции сигнала (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1 – Способы модуляции и их формулы

Способы модуляции	Формула расчета вероятности ошибки
ИКМ-АМ	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-h_{\text{вх}}/4}$
ИКМ-ЧМ	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-h_{\text{вх}}/2}$
ИКМ-ОФМ с автокорреляционным способом демодуляции	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-h_{\text{вх}}}$
ИКМ-ОФМ с когерентным способом демодуляции	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi^2(\sqrt{2h_{\text{вх}}}) \right] \Phi(\sqrt{2h_{\text{вх}}})$ – интеграл вероятности

При $h_{\text{вх}} > 4$ имеем $P_{\text{ош}} = 1 - \Phi(\sqrt{2h_{\text{вх}}})$.

Таким образом

$$V_{\text{min}}^2 = P_{\text{с.вхmin}} - P_{\text{п}} - L_0 - 2G_0 - L_{\phi} \quad (3.15)$$

Оценка ожидаемой надежности передачи цифровой информации

Оценивается не только общий процент времени ухудшения связи из-за замираний $T_{\Sigma}(V_{min})$, необходимо также знать распределение длительности и количество замираний за короткие интервалы времени.

В случае одинарного приема сигналов на РРЛ методика расчета ожидаемой надежности передачи цифровой информации следующая.

1 Рассчитать статистические характеристики длительности замираний (медианное значение длительности замираний).

2 Рассчитать общее число замираний, ожидаемое за летний месяц.

3 Определить число сеансов связи с глубокими замираниями.

4 Определить максимальное число замираний за сеанс длительности t_c

5 Рассчитать максимальное число сеансов связи за летний месяц.

6 Рассчитать относительное число сеансов с возможным снижением качества связи из-за глубоких замираний сигнала за время сеанса (без учета замираний из-за дождей).

7 Рассчитать надежность передачи информации в процентах.

8 Рассчитать надежность передачи информации с учетом дождей.

Расчет суммарной мощности шумов в ТФ каналах ЦРРЛ

Мощность шумов на выходе ТФ канала ЦРРЛ определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{KBi} + \sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} \quad (3.16)$$

где n – число пролетов ЦРРЛ; P_{KB} – мощность шумов квантования;

P_{Σ} – мощность шумов, возникающая из-за ошибочного приема символов.

$$P_{KB} = 83 - 6m_c \quad (3.17)$$

где m_c – число разрядов в двоичном коде ИКМ ($m_c = 7 - 8$).

Для системы ИКМ-ЧР

$$P_{\Sigma} = 67 - 10 \lg \mu - 10 \lg \frac{F_B}{\Delta F_K} + P_{CP} + 10 \lg P_{OШ} \quad (3.18)$$

где F_B – верхняя частота группового спектра;

ΔF_K – 3,1 кГц;

P_{CP} – средний уровень многоканального ТФ сообщения в дБ по отношению к 1 мВт;

$P_{OШ}$ – вероятность ошибки;

μ – коэффициент, показывающий во сколько раз частота дискретизации больше $2F_B$ (для $F_d=8$ кГц; $\mu=1,8$).

Для случая передачи МТС с числом каналов 60 (в дБпВт)

$$P_{\Sigma} = 89,2 + 10 \lg P_{OШ} \quad (3.19)$$

Общий алгоритм расчетов, который заключается в последовательном подборе параметров аппаратуры и трассы для достижения заданных качественных показателей, показан на рисунке 3.2.

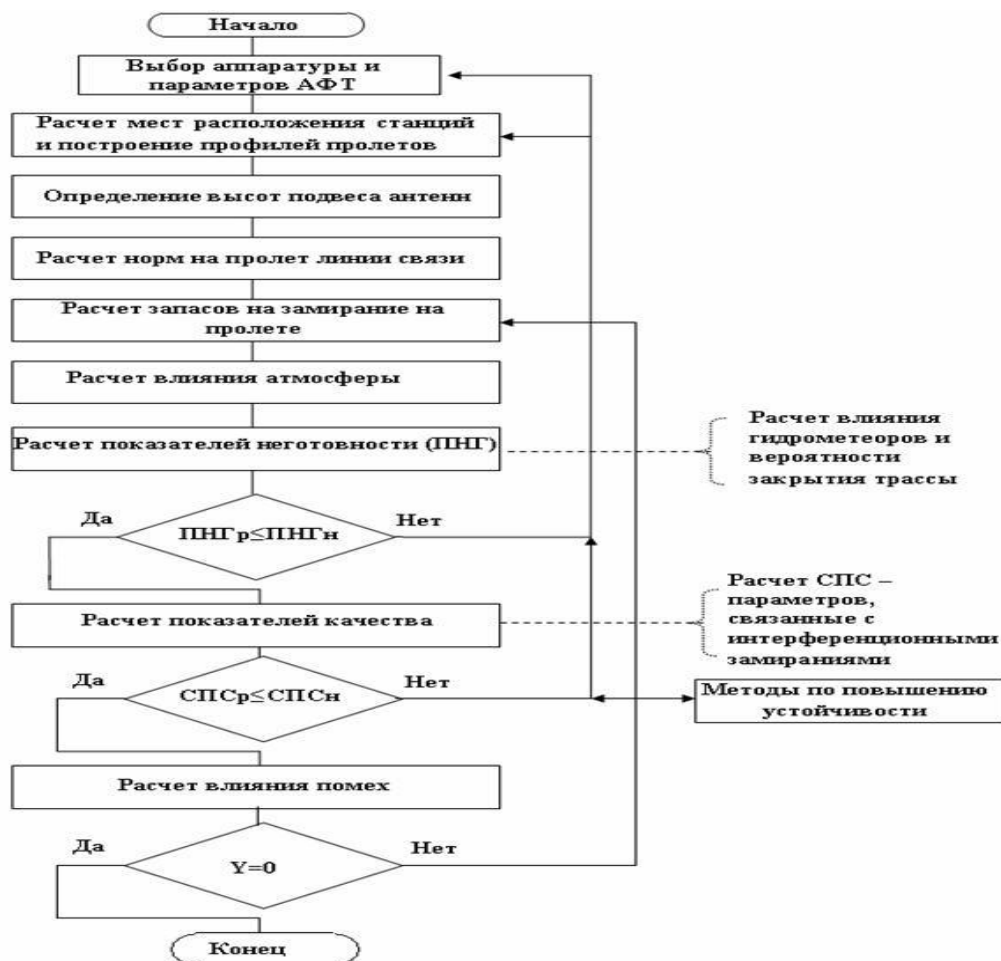


Рисунок 3.2 – Общий алгоритм расчета ЦРРЛ

3.3 Анализ и классификация трассы интервала

Выберем нашу трассу, это будет Талгар – Турген - Ащыбулак.

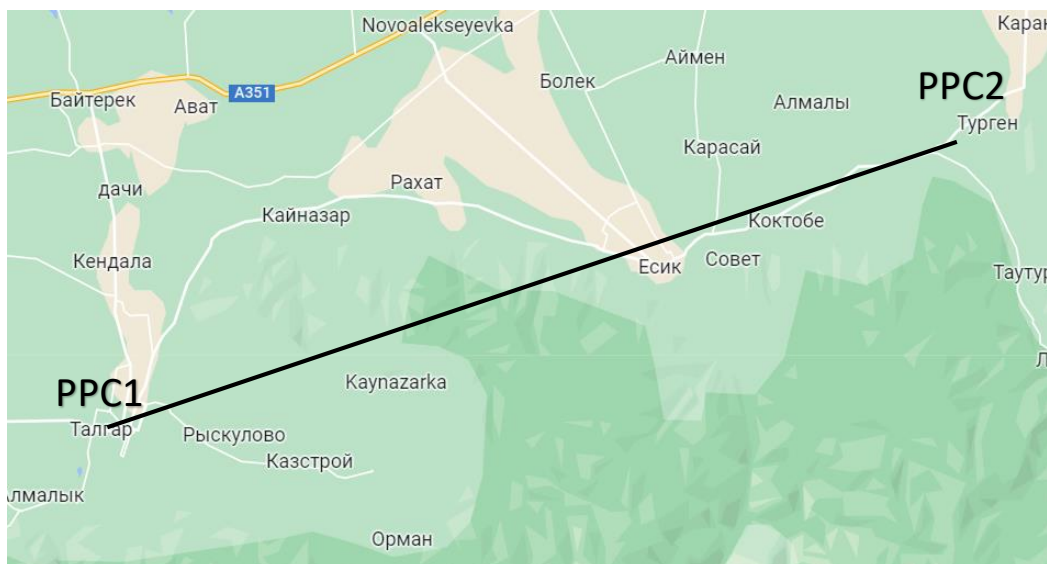


Рисунок 3.3 - Трасса Талгар – Турген (21 км)

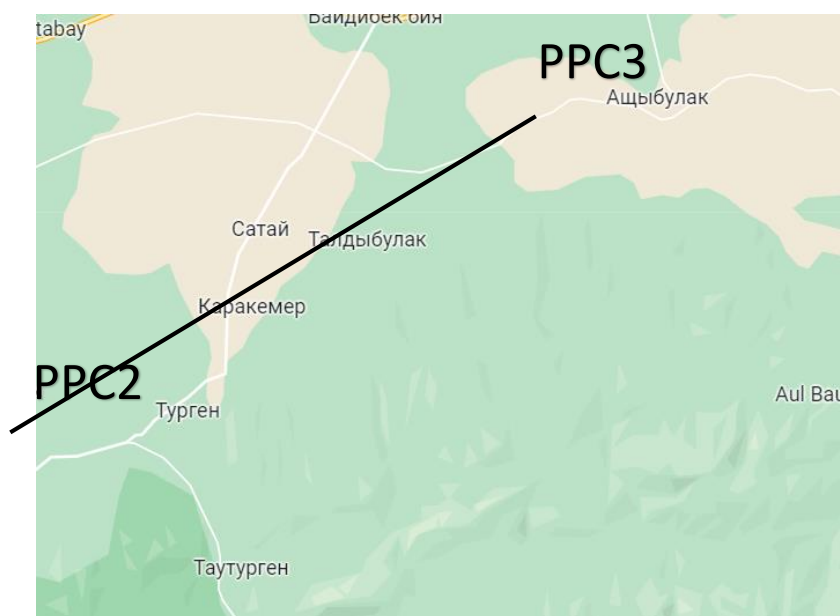


Рисунок 3.4 - Трасса Турген - Ащыбулак (11.3 км)

3.4 Профиль трассы и эквивалентный радиус Земли

Для наших интервалов нижняя и верхняя граница диапазона возможных изменений вертикального градиента определяется одной парой значений $g = -10 \cdot 10^{-9}$ и $y = 9 \cdot 10^{-8}$

Рассчитаем эквивалентный радиус Земли

$$a_3(g) = \frac{a}{1 + a \cdot g/2} = 9347000 \text{ м} \quad (3.20)$$

a=637000м- радиус Земли

Таблица 3.2 – Описание профиля трассы Талгар – Турген (21км)

рельеф		застройка			лес			вода		
0	17 8	0.071	3.73 5	30	3.87 6	6.74 6	2 0	17.5 8	18.1 3	5 0
0,6	18 5	18.30 7	21	30	10.7	15.3 8	2 0	-	-	-
1,4	19 5									
2,3	19 8									
3,1	19 5									
4	18 7									
4,8	17 3									
5,7	17 0									
6,6	17 4									
7,4	19 2									
8,3	19 8									
9,1	20 4									
9,6	20 6									
10	20 0									
10, 8	19 3									
11, 7	18 7									
12, 2	19 5									
12, 5	20 5									
13, 4	21 5									

14, 2	20 8
15, 1	18 5
15, 9	15 9
16, 8	12 9
17, 6	11 2
18, 5	12 3
19, 3	13 5
20, 2	13 8
21	14 5

Таблица 3.3 – Описание профиля трассы Турген - Ащыбулак (11.3км)

рельеф		застройка			лес		
0	143	0.01 2	4,8	30	5,2	7, 1	20
0,3	145	8	11, 3	30	-	-	-
0,8	150						
1,2	152						
1,7	158						
2,1	156						
2,6	160						
3	158						
3,5	163						
4	169						
4,2	173						
4,4	178						
4,7	182						
4,9	182						
5,3	180						
5,8	173						
6,1	166						
6,2	168						

6,4	173
6,7	176
7	178
7,2	172
7,6	158
8,1	148
8,3	145
8,5	148
9	158
9,5	166
9,7	170
9,9	167
10, 4	153
10, 8	140
11, 3	135

Анализ интервала.

Т.к. протяженность интервала составляет 32.3км, т.е. меньше 50км. Интервал попадает под действие примеч.5.5.

$$a_3(g) = \frac{a}{1+a \cdot g/2} = 9347000 \text{ м} \quad (3.21)$$

$$\lambda = \frac{0.3}{13} = 0.023$$

$$\sigma = 9 \cdot 10^{-8}$$

$$g = -10 \cdot 10^{-8}$$

$$y = 0.86$$

$$\sigma_{32509} = \left(10 \cdot 10^{-8} + \frac{-10 \cdot 10^{-8}}{3.1} \right) \cdot \left(\frac{1}{0.86} - 1 \right) + \frac{9 \cdot 10^{-8}}{0.86} = 1.157 \cdot 10^{-7}$$

Верхняя граница изменений вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха на данном интервале:

$$g_b = -10 \cdot 10^{-8} + 4.3 \cdot 11.6 \cdot 10^{-8} = 39.74 \cdot 10^{-8}$$

Видно, что интервал в условиях средней рефракции является полуоткрытым:

$$H(\bar{g}) = 0.65 * H_0 = \frac{0}{65} * \sqrt{\frac{1}{3} * 0.023 * 32300 * 0.533 * (1 - 0.533)} = 0.65 * 7.89 = 5.128 \text{ м}$$

Т.к $H(\bar{g}) > 0$, то определяем g_r :

$$g_r = -10 * 10^{-8} - 4 * \frac{7.89 - 5.128}{32300^2 * 0.533(1 - 0.533)} = -14 * 10^{-8}$$

Найденное значение g_r принадлежит диапазону g_r, g_b (и определяет поддиапазоны О и ПЗ, соответственно как $-14,2 * 10^{-8}, 39,74 * 10^{-8}$)

3.5 Расчет множителя ослабления

Рассчитаем множитель ослабления на открытом интервале Талгар – Турген.

На интервале на высоте 50 м над уровнем моря расположен водный объект, поверхность которого может быть аппроксимирована сферой с радиусом.

$$a_0 = \frac{6370 * 10^3 + 50}{1 + (6370 * 10^3 + 50) * \left(\frac{-10 * 10^{-8}}{2} \right)} = 9,347 * 10^6$$

$$\varphi = 1 * 89 * 10^{-3}$$

$$h_{11} = 185 + 800 - 50 = 935$$

$$h_{20} = 145 + 80 - 50 = 175$$

$$\frac{(a_0 + h_{11}) * \cos \varphi - a_0}{(a_0 + h_{11}) * \sin \varphi} = 0.043 \quad (3.22)$$

$$kar = 0.043$$

Решив уравнения, получаем $\beta_1 = 1.89 * 10^{-3}$ рад. И с помощью R1 определяем расстояние до предполагаемой геометрической точки отражения, м:

$$R1 = 1.89 * 10^{-3} * 9347 * 10^3 = 17665.83 \text{ м}$$

Из профиля местности видно, что на данном расстоянии точка отражения будет принадлежать водному объекту и, следовательно, является геометрической точкой отражения.

Таблица 3.4 – Характеристики точки и зоны отражения.

Параметр	Значение	Источники
k	0.84	R1/R=17665.83/21000
k(1-k)	0.1344	
H _i	75	Из профиля
H ₀	4.659	(5.4)
Δr	0.32(6.7)	
X	1041	(6.18)
Y	8.571	(6.19)
C _m	-77.13	(6.20)
θ	0.00066	(6.12)
θ°	0.0378	

Радиус минимальной зоны Френеля, м

$$H_{02} = \sqrt{\frac{1}{3} * \frac{0.3}{13} * 21000 * 0.1344} = 4.695$$

Разность хода между прямым и отраженным лучами определим по

$$\Delta r = \frac{(0.65 * H_{02})^2}{2 * 17665.83 * 0.1344} = 0.32 \quad (3.23)$$

Размеры зоны, формирующей отраженную волну и имеющей форму эллипса, вдоль трассы (X), и в перпендикулярном ей направлении (Y) приближенно определяются, как:

$$R1 = 17665.8$$

$$\lambda_1 = 0.023$$

$$k = 0.84$$

$$Y = \sqrt{R_1} * \sqrt{\frac{\frac{\lambda_1 * (\frac{\lambda_1}{3} + 2\Delta r)}{3}}{\frac{\lambda_1}{3} + \frac{\Delta r}{2k * (1-k)}}} = 8.571 \quad (3.24)$$

$$X = R1 * \frac{\sqrt{\frac{\lambda_1 * (\frac{\lambda_1}{3} + 2\Delta r)}{3}}}{\frac{\lambda_1}{3} + \frac{\Delta r}{2k * (1-k)}} = 1.041 * 10^3 \quad (3.25)$$

Смещение центра эллипса относительно геометрической точки отражения рассчитывается, м:

$$C_m = \frac{R1 * (1-2k)}{1 + 3 * \frac{\Delta r}{2 * \lambda_1 * k * (1-k)}} = -77.123 \quad (3.26)$$

Угол скольжения

$$\theta = \frac{\Delta r}{H_{g2}} = 6.604 * 10^{-3} \quad (3.27)$$

$$\theta = \frac{180}{\pi} = 0.378 \quad (3.28)$$

Для количественной оценки модуля коэффициента отражения вводится понятие коэффициента расходимости:

$$D = \left[\frac{1 + 4k^2 * (1 - k^2) * R1^2}{a_0 * 3.029} \right]^{-\frac{1}{2}} = 0.33 \quad (3.29)$$

Угол наклона нашего водного участка по отношению к плоскости отражения

$$\alpha_b = \frac{\frac{\lambda * 3.209}{16\Delta r}}{0.55} = 0.042 \quad (3.30)$$

Таким образом,

$$\Delta H_{nak1} = 18.13 - 17.58 = 0.55$$

Из профиля трассы определяем $X_{зат}=750$ м,
Согласно χH :

$$\chi H = 750 + 550 = 1300$$

$$\text{Согласно: } S = (1 - 1300/3850) = 0.662$$

Т.к. зона отражения полностью попадает на водную поверхность, то $p_s=1$
 Для левой антенны:

$$\Lambda_1 = \frac{75}{17665.83} * \frac{180}{\pi} = 0.243 \text{ град}$$

Для правой антенны:

$$\Lambda_2 = \frac{75}{21000-17665.83} * \frac{180}{\pi} = 0,289 \text{ град}$$

Согласно Δm , град

$$\Delta m = 20 * \frac{0.023}{1.6} * \sqrt{43 - 2 - 15 \log\left(\frac{1.6}{0.023}\right)} = 1.051$$

Т.о. $\Lambda_1, \Lambda_2 < \Delta m$ при этом $d/l = 1.6/0.023 = 69 < 100$ и, следовательно, для вычисления усиления антенны необходимо использовать:

Для левой антенны:

$$G_{X1} = 43 - 2.5 * 10^{-3} \left(\frac{1.6}{0.023} * 0.243 \right)^2 = 42.284 \text{ Дб}$$

Т.е. F_{X1}

$$F_{X1} = G_{X1} - 43 = -0.716 \text{ Дб} \quad (3.31)$$

Аналогично для правой антенны:

$$G_{X2} = 43 - 2.5 * 10^{-3} \left(\frac{1.6}{0.023} * 0.289 \right)^2 = 41.99 \text{ Дб}$$

$$F_{X2} = G_{X2} - 43 = -1.01 \text{ Дб} \quad (3.32)$$

Тогда получаем:

$$B = 10^{0,05 * (-0,716 - 1,01)} = 0.82$$

Модуль коэффициента отражения для геометрической точки отражения, находящейся на водной поверхности, согласно рассчитывается как

$$\Phi = \Phi_{пл} * D * S * p_s * B = 1 * 0.33 * 0.662 * 1 * 0.82 = 0.2 \quad (3.33)$$

Множитель ослабления рассчитывается по:

$$V = \sqrt{1 + 0.2 + 2 * 0.2 \cos\left(\frac{2\pi}{0.32} * 0.2 + \pi\right)} = 1.218 \text{ дБ/}$$

При этом:

$$20 \log 1.218 = 1.713 \text{ дБ}$$

Расчет дифракционных потерь распространения

На трассе Талгар – Турген (21км), существует 4 препятствия, причем все эти препятствия полузатеняющие, т.к. там располагается либо застройка, либо посадки (лес). Аналогичная ситуация и на трассе Турген – Ашыбулак, но в этом случае 3 препятствия. Наши препятствия аппроксимируем полуплоскостью.

Таблица 3.5 – Параметры необходимые для аппроксимирования.

Параметр	1-ое п/п	2-ое п/п	3-ое п/п	4-ое п/п	1-ое п/п(2)	2-ое п/п(2)	3-ое п/п(2)	источник
Rv	710	3876	10700	18307	120	5200	8000	Из профиля
d1	3000	2500	3100	2700	2800	3200	3000	Из профиля
d2	3000	2500	3100	2700	2800	3200	3000	Из профиля
h	3.7	-2.1	4.3	1.6	4.6	-3.5	4.5	Из профиля
v	2.812	1.652	3.215	1.28	3.619	2.832	3.42	(7.6)
LDv	21.587	16.74	22.8	14.372	23.85	21.651	23.344	(7.5)

Суммарные дифракционные потери на двух интервалах, дБ:

$$L_{\text{диф}\Sigma} = 21.587 + 16.74 + 22.8 + 14.372 + 23.85 + 21.651 + 23.344 = 120.494 \text{ дБ}$$

3.6 Расчет пролета

Рассчитаем устойчивость связи в первом пролете.

Протяженность первого пролета $R_{\text{ПР}}=34$ км.

Профили трасс строят для геометрического радиуса Земли.

Нулевой относительный уровень на профиле, от которого отсчитываются все высоты, определяется по формуле:

$$y_x = \frac{R_x(R_{\text{ПР}} - R_x)}{2r_3} \quad (3.34)$$

где r_3 – радиус Земли ($r_3 = 6370$ км).

В таблице 3.6 приведен расчет первого профиля.

Таблица 3.6 – Расчет профиля первого пролета

Параметр	Значения										
$K_i, \text{км}$	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,0
$R_x, \text{км}$	,0	,40	,80	0,20	3,60	7	0,40	3,80	7,20	0,60	4,00
$Y_x, \text{м}$	,0	,17	4,52	9,05	1,78	2,68	1,78	9,05	4,52	8,17	,0
Выс. отм., м	0	5	5	5	0	0	5	0	0	0	5
$l, \text{м}$	0,00	3,17	9,52	4,05	1,78	2,68	6,78	9,05	4,52	8,17	5,00

Для удобства построения профилей используем параболический масштаб. Профиль построим в прямоугольных координатах, все высоты откладываем по оси ординат, а расстояния по оси абсцисс. Таким образом, условный нулевой уровень, от которого отсчитываются все высоты, имеет параболический вид.

Приведем эскизный профиль первого пролета на рисунке 3.5.

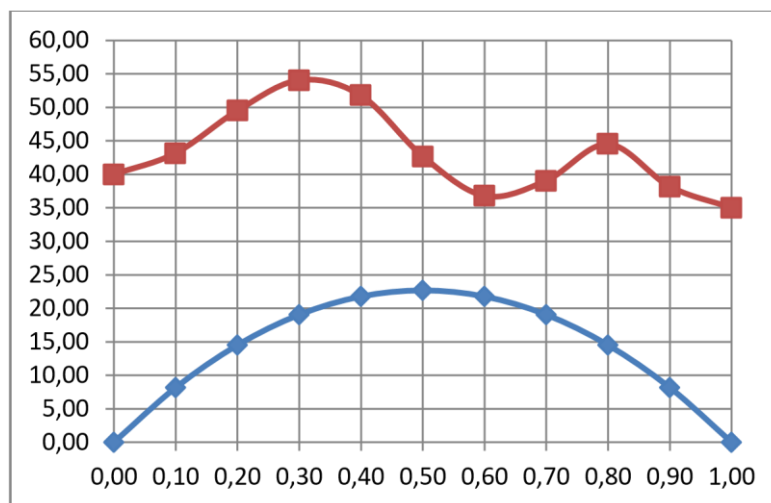


Рисунок 3.5 – Эскизный профиль первого пролета

Наивысшей точки первый пролет достигает при $R_1 = 10,2$ км. Величина просвета находится по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_{\text{пр}} \cdot \lambda \cdot k_{\text{ТР}} (1 - k_{\text{ТР}})} \quad (3.35)$$

где λ – длина волны (0,05м);

$K_{\text{ТР}}$ – относительный коэффициент препятствия. Найдем относительную координату наиболее высокой точки К:

$$K = \frac{R_1}{R_{\text{пр}}} = \frac{10,2}{34} = 0,3 \quad (3.36)$$

Приращение просвета за счет рефракции:

$$\Delta H(g) = -\frac{1}{4} \cdot R_{\text{пр}}^2 \cdot g \cdot K(1 - k) \quad (3.37)$$

где $g=10 \cdot 10^3 \text{ 1/м}$. Подставляя известные значения в формулу, получаем:

$$\Delta H(g) = -\frac{1}{4} \cdot (34 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,3) = 6,07 \text{ м.}$$

Рассчитаем просвет на первом пролете по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 34 \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,3)} = 10,91 \text{ м.}$$

Тогда получим геометрический просвет без учета рефракции $H(0)$:

$$H(0) = H_0 - \Delta H(g). \quad (3.38)$$

Подставляя известные величины, находим геометрический просвет без учета рефракции, формула:

$$H(0) = 10.91 - 6.07 = 4.84 \text{ м.}$$

Теперь можно найти высоты подвеса антенн. От наивысшей точки проема откладываем вверх величину $H(0)$. Получили, что высоты подвеса антенн: $h_1 = 18,9 \text{ м}$, $h_2 = 23,9 \text{ м}$.

Определим значение затухания в антенно-волноводном тракте (АВТ) при использовании антенны:

$$a_{\text{АВТ}} = 2 * a_{\text{ПОСТ}} + 0.015l_B + 0.05l_G \quad (3.39)$$

Затухание в элементах АВТ находим по формуле:

$$a_{\text{ПОСТ}} = a_{\text{ПВ}} + 2a_{\text{ГВ}} + a_{\text{КЭ}} + a_{\text{ФВВ}} + a_{\text{СП}}, [\text{дБ}] \quad (3.40)$$

где, l_B, l_G – длина вертикальной и горизонтальной стенки волновода, соответственно;

$\alpha_{\text{ПВ}} = 0,1$ – затухание в волноводном переходе;

$\alpha_{\text{ГВ}} = 0,15$ – затухание в герметизирующей вставке;

$\alpha_{\text{КЭ}} = 0,2$ – затухание в корректоре эллиптичности;

$\alpha_{\text{ФВВ}} = 0,3$ – затухание в фильтре высших типов волн;

$0,2 \alpha_{\text{СП}} =$ – затухание в поляризационном селекторе.

Найдем затухание в элементах АВТ, воспользуясь формулой:

$$a_{\text{ПОСТ}} = 0.1 + 0.3 + 0.2 + 0.3 + 0.2 = 1.1 \text{ дБ}$$

Затухание АВТ получим по формуле соответственно:

$$a_{\text{АВТ}} = 2 * 1.1 + 0.015 * (18.9 + 23.9) + 0.05 * 10 = 3.342 \text{ дБ}$$

Воспользуясь формулой, найдем КПД:

$$\eta_{\text{АВТ}} = 10^{-0.1\alpha_{\text{АВТ}}} \quad (3.41)$$

$$\eta_{\text{АВТ}} = 10^{-0.1*3.342} = 0.463$$

Рассчитаем минимальный множитель ослабления для телефонии:

$$V_{\text{М-ТФ}} = 44 - K_{\text{ТФ}} - L_{\text{ПОСТ}} \quad (3.42)$$

Для этого определим коэффициент системы для случая неполной загрузки телефонного ствола:

$$K_{\text{ТФ}} = \frac{P_{\text{П}}}{K_{\text{П}}^2 * k * T_0 * (n_{\text{Ш}} - 1) * \Delta F_{\text{К}} * \beta_{\text{П}} * (F_{\text{К}})} * \left(\frac{\Delta f_{\text{К}}}{F_{\text{К}}} \right)^2 \quad (3.43)$$

где $P_{\text{П}}$ – мощность передатчика;

$K_{\text{П}}$ – психофотометрический коэффициент для канала КТЧ ($K_{\text{П}}=0,75$);

k – постоянная Больцмана;

T_0 – абсолютная температура ($T_0 = 290\text{К}$);

$n_{\text{Ш}}$ – коэффициент шума приемника;

$\Delta F_{\text{К}}$ – ширина полосы канала ТЧ;

$\Delta f_{\text{К}}$ – эффективное значение девиации частоты, Гц;

$F_{\text{К}}$ – средняя частота канала в групповом спектре, кГц.

Подставляем все известные значения в формулу для канала $F_{\text{К}} = 4138$ кГц:

$$K_{\text{ТФ}} = \frac{10}{0.75^2 * 1.38 * 10^{-23} * 290 * (10 - 1) * 3100 * 0.4} * \left(\frac{140}{4138} \right)^2 = 146 \text{ Дб}$$

Найдем затухание в свободном пространстве:

$$L_{\text{ПОСТ}} = 10 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{\text{ПР}}} \right)^2 - a_{\text{АВТ}} + 2K_{\text{УС}} \quad (3.44)$$

где $R_{\text{ПР}}$ – протяженность первого пролета; $K_{\text{УС}}$ – коэффициент усиления используемых антенн;

$a_{\text{АВТ}}$ – затухание АВТ. Подставляем известные значения в формулу, найдем затухание в свободном пространстве:

$$L_{\text{ПОСТ}} = 10 \lg \left(\frac{0.05}{4 * 3.14 * 34 * 10^3} \right)^2 - 3.342 + 2 * 43 = -53.98 \text{ дБ}$$

Тогда

$$V_{\text{М-ТФ}} = 44 - 146 + 55.98 = 46.02 \text{ дБ}$$

Аналоговый расчет для телевидения:

$$V_{\text{М-ТВ}} = 49 - K_{\text{ТВ}} - L_{\text{ПОСТ}} \quad (3.45)$$

$$K_{\text{ТВ}} = 158 \text{ Дб}$$

Для дальнейших расчетов будем использовать большее значение минимального множителя ослабления:

$$V_{M-ТФ} = -46.02$$

Определение суммарного времени замирания:

$$T_i(V < V_M) = T_0(V < V_M) + \sum_{N=1}^{N_{MAX}} T_N(V < V_M) + T_{TP}(V < V_M) \quad (3.46)$$

где T_0 – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимального множителя ослабления за счет экранирующего действия препятствия;

T_N – процент времени, в течении которого множитель ослабления меньше минимального множителя ослабления за счет интерференции прямой волны и волны, которая отражается от поверхности земли;

T_{TP} – процент времени, в течении которого множитель ослабления меньше минимального за счет интерференции прямой волны и волны, отраженной от неоднородностей тропосферы.

Найдем процент временными T_0 , при котором выполняется условие:

$$T_0(V < V_M) = f(\psi) \quad (3.47)$$

Если на рельефе местности можно аппроксимировать препятствие выпуклой сферической поверхностью и протяженность трассы менее 50 км, то параметр ψ рассчитывается по формуле:

$$\psi = \frac{4}{\sqrt{3}} * A[P(g) - P(g_0)] \quad (3.48)$$

Определим вспомогательный параметр A :

$$A = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\lambda}{R_{ПП}^3 * K(1-K)}} \quad (3.49)$$

где $\sigma = 7.5 * 10^{-8}$.

Подставив известные величины в формулу, найдем параметр A :

$$A = \frac{1}{7.5 * 10^{-8}} \sqrt{\frac{0.05}{(34 * 10^3)^3 * 0.3 * (1 - 0.3)}} = 1.38$$

Для нахождения $P(g_0)$ необходимо рассчитать параметр μ :

$$\mu = \mu_0 * \mu[P(g)] \quad (3.50)$$

$$\mu_0 = 2 * \sqrt[3]{\frac{K^2(1-K)^2}{l^2}} \quad (3.51)$$

$$l = \frac{r_b}{R_{\text{ПР}}} = \frac{2.26}{34} = 0.066$$

Чтобы найти значение r_b , нужно построить прямую, параллельную линии просвета на пролете и поднять эту прямую на величину $\Delta y = H_0 = 131,038$ м от наивысшей точки пролета. Подставляя известные значения в формулу, находим:

$$\mu_0 = 2 * \sqrt[3]{\frac{0.3^2(1 - 0.3)^2}{0.066^2}} = 4.33$$

Принимаем $\mu[P(g)] = 1$, отсюда $\mu = 1.526 * 1 = 1.526$

Зная $\mu_0 = 4.33$ дБ и $V_M = -46.02$ дБ по рисунку определяем $P(g_0)$

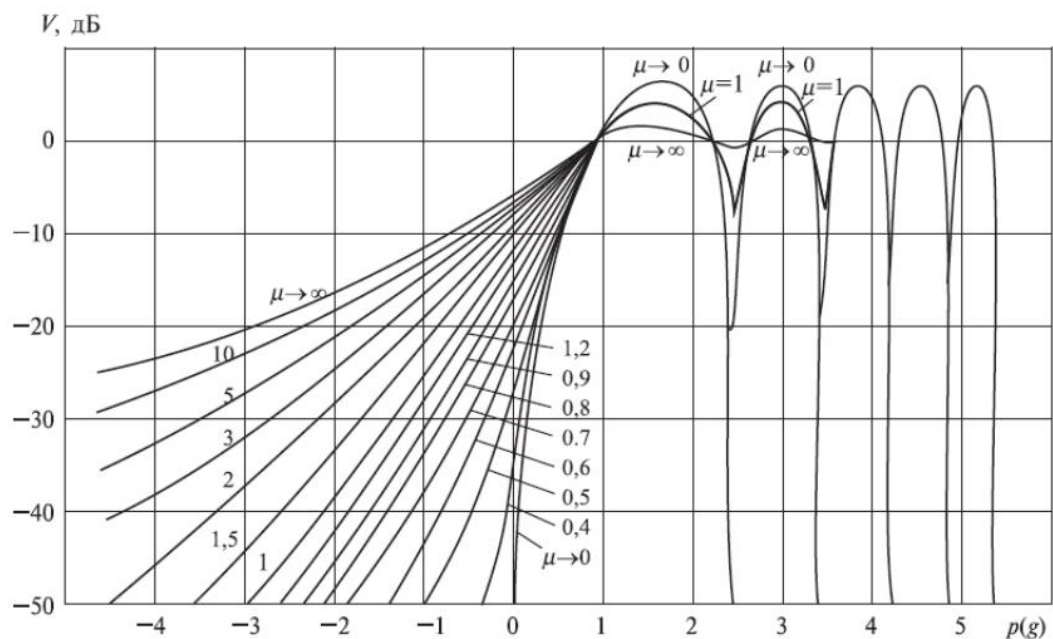


Рисунок 3.6 – Зависимость множителя ослабления от величины относительного просвета

По рисунку определили, что множитель ослабления $P(g_0) = -7$

Находим параметр ψ по формуле:

$$\psi = 2.31 * 1.038 * (1 + 7) = 19.18$$

Вычисляем относительный просвет на трассе при средней рефракции:

$$P(g) = \frac{H(0) + \Delta H(g)}{H_0} = \frac{4.84 + 6.07}{10.91} = 1 \quad (3.52)$$

Так как $T_0(V < V_M) = f(\psi)$ то по зависимости на рисунке 3.7, определим T_0 .

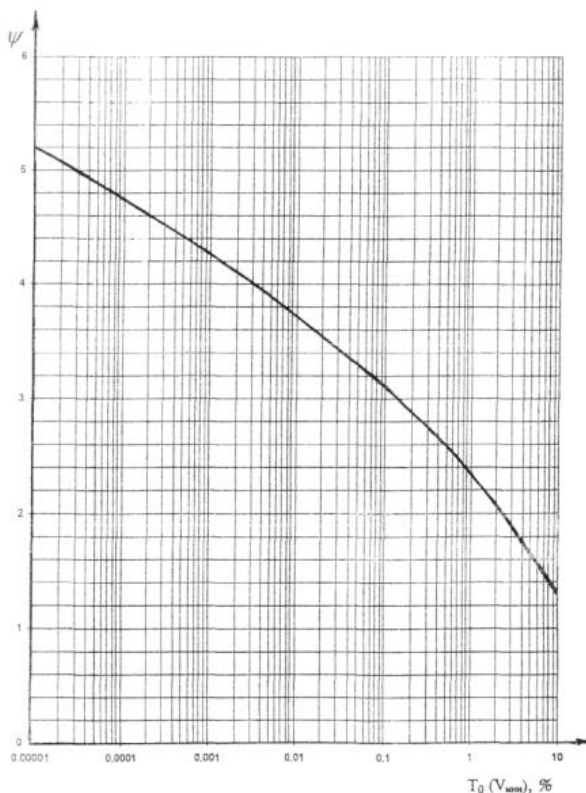


Рисунок 3.7 – График зависимости $T_0(\psi)$

Видно, что $\psi > 5$, то $T_0(V < V_M) \rightarrow 0 \%$ поэтому принимаем $T_0 = 0 \%$

Для определения $\sum_{N=1}^{N_{MAX}} T_N(V < V_M)$ необходимо выяснить есть ли отражение от поверхности земли или нет, считая поверхность первого пролёта сферической. Рассчитаем коэффициент расходимости радиоволн.

Интерференционные минимумы наблюдаются при $P(g) = 6n$ (n-номер минимума, равен 1(точка приема на этом интервале попадает в первый интерференционный минимум)).

Из профиля трассы видно, что у нее гладкий рельеф. Коэффициент расходимости находится по формуле:

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + 13.1 \frac{\alpha K^2 (1-K)^2}{\sqrt{n} l^2} \left[1 + \frac{l^2 [P(0) - \sqrt{6n}]^2}{4 \alpha K (1-K)} \right]}} \quad (3.53)$$

$$\text{где } P(0) = \frac{H(0)}{H_0} = \frac{4.84}{10.91} = 0.44$$

Подставляя известные значения в формулу, найдем D:

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + 13.1 \frac{1 * 0.3^2 (1 - 0.3)^2}{\sqrt{1} * 0.0044^2} \left[1 + \frac{0.0044^2 [0.44 - \sqrt{6 * 1}]}{4 * 1 * 0.3 (1 - 0.3)} \right]}} = 0.09$$

$D < 0,8$, означает что для первого пролета коэффициент отражения $\Phi = 0$ и трасса относится ко второму типу, т.е. влияние отражений от поверхности земли не играет существенной роли.

Тогда

$$\sum_{N=1}^{N_{MAX}} T_N(V < V_M) = 0 \%$$

Определим процент времени, в течение которого $T_{ПР}(V < V_M)$ в силу влияния волн, отраженных от неоднородностей тропосферы, на пересеченных интервалах по формуле:

$$T_{ТР}(V < V_M) = V_M^2 * 4.1 * 10^{-4} * \xi * R_{ПР}^2 * \sqrt{f_0^2} \quad (3.54)$$

где $\xi = 1$ – для сухопутных районов;

$R_{ПР}$ – длина пролета в километрах;

f_0 – средняя частота аппаратуры «МИК-РЛ» в гигагерцах;

V_M – минимальный множитель ослабления для первого пролета в размах.

Подставляем полученные значения, находим квадрат минимального множителя ослабления:

$$V_M^2 = (10^{-0.05 * 46 * 0.2})^2 = 2.5 * 10^{-5}$$

Зная V_M^2 найдем $T_{ТР}(V < V_M)$

$$T_{ТР}(V < V_M) = 2.5 * 10^{-5} * 4.1 * 10^{-4} * 1 * 34^2 * \sqrt{5.92^3} = 0.00024 \%$$

Теперь определим процент суммарного времени замирания

$$T_i(V < V_M) = 0 + 0 + 0.00024 \%$$

По рекомендациям МККР и временным нормам, определяется процент времени, в течение которого $T_i(V_M) < T_{max}$

Поверочный расчет устойчивости:

$$S_{max} = 0.1 * \frac{R_{ПР}}{2500} = 0.1 * \frac{34}{2500} = 0.00136 \% \quad (3.55)$$

Из полученных расчетов видно, что требование выполняется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы мной были получены начальные навыки проектирования РРЛ. Основные моменты усвоила, такие как, построение профиля радиолинии с помощью топографической карты местности, учет всякого рода помех, климатических условий, атмосферных явлений.

Линия связи является частью вольт-трассовых коммуникаций магистрального трубопровода, из-за чего при выборе оборудования акцент сделан на возможность получения и передачи большого объема сигналов. На момент написания статьи радиосвязь на участке выполняется при помощи устаревшей аналоговой станции, поэтому необходимость модернизации системы радиокоммуникации стоит особенно остро. Следовательно, данные результаты могут быть применены на практике для последующей модернизации всей системы связи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник. Под ред. Л.Я.Кантора.- М.: Радио и связь, 1997. - 344с
2. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для ВУЗов. Под ред. В.И.Иванова.-2-е изд.-М.: Горячая линия-Телеком, 2003. –232 с
3. Невдяев Л.М.,Смирнов А.А. Персональная спутниковая связь. -М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.-216с
4. Мамаев Н.С. Спутниковое телевизионное вещание. Приемные устройства. -М.: Радио и связь, 2000
5. Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая радиосвязь. -М.: Тех Бук, 2004.- 288с
6. Горностаев Ю.М. и др. Перспективные спутниковые системы связи/ Горностаев Ю.М.,Соколов В.В., Невдяев Л.М. -М.:Горячая линия-Телеком, 2000.-132с
7. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование. -М.: Радио и связь, 1987.- 192 с
8. Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник. -М.: Радио и связь, 1990
9. Феер К. Беспроводная цифровая связь:Методы модуляции и расширения спектра:Пер.с англ./Под ред.В.И.Журавлева.-М.:Радио и связь, 2000.-520с
10. Машбиц Л.М. Компьютерная картография и зоны спутниковой связи.-М.:Радио и связь, 2000. -256с
11. Немировский А. С.,Рыжков Е. В.Системы связи и радиорелейные линии.- М.: Связь, 1980. – 432с
12. Справочник по радиорелейной связи. Под ред. С. В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 415с
13. Мордухович Л. Г. Радиорелейные линии связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 160с
14. Хенне И., Торвальдсен П. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости. – Nera Telecommunication, 1994. – 1545с
15. Учебное пособие Лобача В.С. <http://vlobatch.narod.ru>
16. Кунегин С.В. <http://kunegin.narod.ru>

Отзыв руководителя

на дипломную работу

Дыгаев Сейфадин Сулейманович

5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Тема «Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ»

Внедрение технологии беспроводной линии связи на основе РРЛ на трассах Талгар – Турген – Ащибулак.

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры:

Расчет устойчивости связи, радиорелейные линии с цифровыми методами передачи, особенности проектирования цифровых РРЛ, анализ и классификация трассы интервала, профиль трассы и эквивалентный радиус Земли, расчет множителя ослабления и расчет пролета.

В первой главе указана цель дипломной работы с теоретическими сведениями.

Во второй главе указан вид выбранной аппаратуры.

В третьей главе был произведен выбор трассы и расчеты.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ

Дипломная работа выполнена на оценку 90/А/«отлично», а дипломант, Дыгаев Сейфадин Сулейманович достоин степени бакалавра специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Научный руководитель

К.ф – м.н. ассоц. профессор

Жунусов Канат Хофизович


«23» 05 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Дыгаев Сейфадин Сулейманович

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Тема «Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ»

Внедрение технологии беспроводной линии связи на основе РРЛ на трассах Талгар – Турген – Аңцибулак.

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры:

Расчет устойчивости связи, радиорелейные линии с цифровыми методами передачи, особенности проектирования цифровых РРЛ, анализ и классификация трассы интервала, профиль трассы и эквивалентный радиус Земли, расчет множителя ослабления и расчет пролета.

В первой главе указана цель дипломной работы с теоретическими сведениями.

Во второй главе указан вид выбранной аппаратуры.

В третьей главе был произведен выбор трассы и расчеты.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ

Дипломная работа выполнена на оценку /А/ «Отлично», а дипломант, Дыгаев Сейфадин Сулейманович достоин степени бакалавра специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

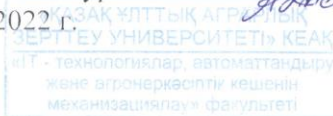
Рецензент

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор КазНАИУ

Токмолдаев Аманжол Бектурсинович

«24» май

2022 г.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Дыгаев Сейфадин Сулейманович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 1.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 43

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

24-08-2022
Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Дыгаев Сейфадин Сулейманович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Проектирование беспроводной линии связи на основе РРЛ

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 1.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 43

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

24.08.2022
Дата

 Канат Жунусов
проверяющий эксперт