Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ

Заведующий кафедрой РТС

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.С. Шарыгин

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2006 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ НА УЧАСТКЕ «ТОМСК-ЧАЖЕМТО»

Пояснительная записка к дипломному проекту

Согласовано:

Консультант по экономике

Доцент кафедры РТС \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.М. Голиков

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_\_ г.

Выполнил:Студент гр. 101 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.В. Майков

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_\_ г.

Консультант по безопасности жизнедеятельности:

Старший преподаватель кафедры РЭТЭМ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Л.И. Кодолова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_\_ г.

Руководитель: Зам. начальника лаборатории связи

ООО «Томсктрансгаз»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Г.И. Степанов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_\_ г.

2006г.

# РЕФЕРАТ

Дипломный проект с., 36 рис., 33 табл., 22 источников, 4 прил., 7 л. графического материала.

ЦИФРОВАЯ РАДИОРЕЛЕЙНАЯ ЛИНИЯ (ЦРРЛ), АППАРАТУРА МИК-РЛ7С, КОНВЕНЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ, КОНФИГУРАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ 1+1, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗНЕСЕНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ НЕГОТОВНОСТИ (Кнг), КОЭФФИЦИЕНТ СЕКУНД СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ОШИБОК (SESR), САНИТАРНАЯ ЗОНА.

Объектом проектирования является ЦРРЛ «Томск-Чажемто», в настоящее время работающая в составе сети ведомственной связи ООО «Томсктрансгаз на аппаратуре «Трал 400\24».

Цель данного проекта – реконструкция ЦРРЛ «Томск-Чажемто» на более современную аппаратуру, работающей по технологии PDH или SDH, а также технико-экономическая оценка эффективности выбора.

Проектирование проводится по методике Nera Networks, для расчета санзоны использовалась программа SanZone 2.0. Качественные показатели РРЛ были посчитаны двумя способами: при помощи программы Mathcad 2001 по методики Nera и с помощью программы Territories.

Дипломный проект выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2002 и представлен на диске CD-R (в конверте на обороте обложки).

# Техническое задание

Федеральное агентство по образованию РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Радиотехнический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.С.Шарыгин

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_г.

ЗАДАНИЕ

на дипломный проект студенту гр.101

Майкову Александру Васильевичу в оканчивающему университет по специальности «Защищенные системы связи».

1. Тема дипломного проекта
2. Проектирование цифровой радиорелейной линии на участке «Томск-Чажемто».
3. Срок сдачи проекта на кафедру « 13 » декабря 2006 г.
4. Назначение и область применения системы (устройства) Проектируемая радиорелейная линия предназначена для организации технологической связи на участке газопровода «Нижневартовск-Парабель-Томск» и передачи данных ООО «Томсктрансгаз».
5. Источники разработки:

4.1 Евсеенко Г. Н. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005. — 100 с.;

4.2 Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, Москва, 1987 г., 243 с.;

4.3 Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 1994г. 153с.;

1. Стадии разработки по ЕСКД: эскизный проект (ГОСТ 2.119-73)
2. Состав проектируемой системы (устройства) и уровень разработки входящих в нее блоков:
   1. В состав проектируемой системы входят: радиорелейная аппаратура, аппаратура конвенциональной связи, мультиплексорное оборудование;
   2. Разработке на уровне структурных схем подлежат: схема организации связи;
   3. Разработке на уровне функциональных схем подлежит: распределение потоков E1;
   4. Разработке на уровне принципиальных схем подлежит: схема построения сети связи.
3. Технические требования
   1. Основные показатели назначения (тактико-технические требования к системе, требования к входным и выходным электрическим параметрам устройств, источникам электропитания и т.д.):

7.1.1 Выбор фирм-производителей оборудования;

7.1.2 Определение первичных и вторичных источников питания;

7.1.3 Выбор и обоснование пропускной способности РРЛ. Соответствие пропускной способности РРЛ европейской плезиохронной цифровой иерархии или синхронной цифровой иерархией в зависимости от выбора пропускной способности проектируемой РРЛ;

7.1.4 Соответствие рассчитанного коэффициента неготовности и коэффициента секунд со значительным количеством ошибок нормам в соответствии с рекомендациями G.821 и G.826 МСЭ и Т;

7.1.5 Количество пролетов не должно превышать 8, при этом предпочтительно расположение оборудования на уже существующих зданиях, башнях, мачтах и в непосредственной близости от населенных пунктов и трассы газопровода.

Высота башен не более 120 м.

Длительность пролета не должна превышать 50 км.

7.1.6 Проработка возможности взаиморезервирования трактов, линий и каналов связи с другими операторами связи;

7.1.7 Выбор и обоснование частотного диапазона;

7.1.8 Соответствие всей системы связи телекоммуникационным протоколам G.703, G. 704, протоколам передачи данных V.35, Ethernet 10/100 Base-T;

7.1.9 Выбор и обоснование типа оборудования (базовая, носимая, мобильная и стационарная радиостанция) для конвенциональной радиосвязи.

Все применяемое оборудование должно быть сертифицировано для применения в РФ.

* 1. Требования к конструктивному исполнению

7.2.1. Общие требования: не предъявляются;

7.3. Условия эксплуатации

7.3.1. Общие требования: в соответствии с ГОСТ 16692-71

7.3.2. Проработке в проекте подлежат:

При внешнем расположении высокочастотного блока его работоспособность должна обеспечиваться при следующих условиях:

абсолютная минимальная температура воздуха составляет минус 55°С;

средняя температура воздуха наиболее холодных суток составляет минус 44°С;

среднегодовое количество осадков составляет 590-600 мм;

7.4. Требования к надежности

7.4.1. Общие требования:

круглосуточная работа всего оборудования связи;

коэффициент готовности: не менее 99,9%;

средняя наработка оборудования на отказ не менее 70000 часов;

8. Требования эргономики, технической эстетики, техники безопасности и производственной санитарии

8.1. Общие требования: в соответствии с ГОСТ 22261-82;

8.2 Разработке в проекте подлежит:

8.2.1 Анализ объективных факторов производственной опасности;

8.2.2 Разработка рекомендаций, мероприятий, устройств и систем безопасности жизнедеятельности;

8.2.3 Разработка инструкции по охране труда, пожарной безопасности, промсанитарии, промышленной безопасности;

9. Требования к организационно-экономической части проекта

9.1. Разработке в проекте подлежит:

9.1.1 Поиск и обоснованный выбор оборудования для организации РРЛ среди отечественных и зарубежных производителей;

9.1.2 Оценка экономической выгоды при сдаче части каналов проектируемой РРЛ в аренду;

9.1.3 Расчет затрат на разработку и реализацию проекта.

10. Требования к патентной чистоте и конкурентоспособности

10.1. Общие требования: не предъявляются

11. Требования к макетированию, моделированию

11.1 Общие требования: не предъявляются

12. Подлежит разработке в проекте следующая документация

А. Чертежи

1. Схема организации связи ЦРРЛ на участке «Томск-Чажемто». Схема электрическая структурная – 1 лист.

2. Распределение потоков E1. Схема электрическая функциональная – 1 лист.

3. Блок-схема построения сети связи.– 1 лист.

4. Ленточный график проведения работ – 1 лист.

Б. Демонстрационные иллюстрации:

1. Организация и построение оборудования МИК-РЛ7С – 1 лист.

2. Схема трассы проектируемой ЦРРЛ – 1 лист.

3. Профиль пролета Томск-Кисловка – 1 лист.

4. Характеристики оборудования МИК-РЛ4…40С – 1 лист.

5. Санитарно-защитная зона – 1 лист.

В. Пояснительная записка

В пояснительной записке должны быть приведены все материалы проектирования в соответствии с заданием и методическими указаниями, в том числе

Задание согласовано:

Консультант по вопросам охраны труда и техники безопасности:

ст. преп. кафедры РЭТЭМ Кодолова Л. И.

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_г.

Консультант по организационно-экономической части проекта

доцент кафедры РТС Голиков А. М.

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_г.

Руководитель дипломного проектирования

зам. начальника Лаборатории связи ООО «Томсктрансгаз» Степанов Г. И.

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_г.

Задание принято к исполнению

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_г.студент гр.101 А. В. Майков

# Список условных сокращений

БС – базовая станция;

ГЭС – гипотетическое эталонное соединение;

ГЭЦЛ - гипотетическая эталонная цифровая линия;

ГЭЦТ - гипотетический эталонный цифровой тракт;

ИБЭП – источник бесперебойного электропитания;

ЗОЗ – зона ограничения застройки;

МСЭ – международный союз электросвязи;

ОЦК – основной цифровой канал;

ПЦИ – плезиохронная цифровая иерархия;

ПЦК – первичный цифровой канал;

СанПиН – санитарные нормы и правила;

СЗЗ – санитарно-защитная зона;

СЦИ – синхронная цифровая иерархия;

ТфОП – телефонная сеть общего пользования;

УАТС – учрежденческая автоматическая телефонная станция;

ЦРРЛ – цифровая радиорелейная линия;

SESR – коэффициент секунд со значительным количеством ошибок;

SINAD – отношение сигнал/шум.

# 1 Введение

В России наиболее широкое распространение получили две технологии построения транспортной инфраструктуры оператора связи: на основе волоконно-оптических систем и на основе систем радиосвязи. Первые характеризуются очень высокой пропускной способностью, но при этом требуют серьезных изыскательских работ и времени на реализацию проекта. В связи с этим волоконная оптика нашла применение прежде всего у операторов междугородной и международной связи. Системы радиосвязи позволяют гибко и оперативно охватывать большие территории, но при этом имеют ограниченную пропускную способность, что во многом обусловлено количеством частотных назначений, выданных тому или иному оператору.

На протяжении уже многих лет одним из наиболее экономичных и быстрых способов организации радиопередачи информационно-транспортных потоков на большие расстояния остается радиорелейная связь. Причем, если раньше в основной своей массе магистральные линии, обеспечивающие такую связь, были аналоговыми, то сейчас им на смену пришли современные цифровые радиорелейные станции (ЦРРС), обладающие высокой пропускной способностью. Работают такие станции, как правило, в диапазоне частот 3,4-11,7 ГГц. Их пропускная способность составляет 155 Мбит/с и более, а передача сигналов ведется с использованием многопозиционных видов модуляции. Для ЦРРС магистральных и внутризоновых линий характерно наличие системы телеобслуживания, программно поддерживающей уровень управления сетевыми элементами и сетью, а также обеспечивающей контроль, управление и техническое обслуживание оборудования. Со строительством высокоскоростных ЦРРС связано ведущееся в настоящее время интенсивное освоение районов Крайнего Севера, которое требует серьезных инвестиций не только в создание технологических объектов, но и в построение телекоммуникационной составляющей. Выбор технологии построения транспортной инфраструктуры этого региона во многом предопределили его климатические и природные особенности. В частности, низкие температуры в зимний период, требующие специальных технологий защиты волоконно-оптических кабелей при их подвешивании на опоры (например, линий электропередач), наличие огромного количества водных преград (особенно в Ямало-Ненецком округе) и вечная мерзлота грунта серьезно затрудняют использование волоконной оптики в северных округах Тюменской области.

В сети связи Томской области доля радиорелейной связи составляет 60-70%. Преобладание радиорелейных систем над проводными и спутниковыми основывается на следующих факторах:

* большая площадь территории области - 314,4 тыс. км2;
* особенности рельефа: степень заболоченности Томской области достигает 40%, на долю речных долин приходится 1/5 всей территории области, лесные массивы занимают 63% территории;
* большие расстояния между населёнными пунктами,
* развитая нефте- и газодобывающая отрасль, требующая обеспечения связи на больших расстояниях и в труднодоступных районах, а также на протяжении всей трассы трубопроводов.

Наиболее крупными владельцами радиорелейных систем передачи информации на территории Томской области являются следующие организации:

* ООО «СибПТУС», обеспечивающая технологическую связь вдоль нефтепроводов, проходящих через Томскую область;
* ООО «Томсктрансгаз», обеспечивающая технологическую связь вдоль газопроводов, проходящих через Томскую область;
* ОАО «Сибирьтелеком», являющаяся оператором дальней связи на территории Томской области;
* операторы сотовой связи ОАО «Вымпелком» и ОАО «МТС».

Перед разработкой любого проекта следует рассмотреть все возможные альтернативные варианты. В качестве таковых в нашем случае возможен только один – аренда потоков у других операторов, поскольку заболоченность местности, большие расстояния и тяжелые климатические условия не позволяют даже рассматривать построение оптоволоконной системы связи. Вариант с арендой каналов для организации ООО «Томсктрансгаз» является неприемлемым по следующим причинам: во-первых, точки доступа к другим операторам в некоторых местах расположены на значительном расстоянии от мест расположения аппаратуры «Томсктрансгаз», что приведет к необходимости проведения дополнительных строительных работ; во-вторых, не во всех пунктах доступа имеется достаточная пропускная способность, необходимая для «Томсктрансгаз»; в-третьих, аренда каналов в долгосрочной перспективе оказывается слишком дорогой по сравнению с модернизацией используемого сейчас оборудования «Трал 400/24.

Последним и наиболее важным условием необходимости проектирования собственной цифровой РРЛ становится независимость обеспечения технологической связи от внешних факторов.

# 2 Краткий обзор радиорелейных линий связи

## 2.1 Общие сведения

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), и от потока STM-0 до STM-16 при синхронной цифровой иерархии (СЦИ) [18].

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 пропускной способности различают следующие РРЛ:

а) многоканальные, с числом каналов ТЧ свыше 300;

б) средней емкости – от 60 до 300 каналов ТЧ

в) малоканальные – меньше 60 каналов ТЧ.

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.

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

## 2.2 Основные проблемы организации связи

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

Во-первых, на сигнал действуют аддитивные помехи. Для НЧ и СЧ систем такими помехами являются сигналы соседних по частоте радиостанций, атмосферные и индустриальные шумы. Для УВЧ и СВЧ радиорелейных систем 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 совмещенном диапазоне частот).

Во-вторых, на сигнал в канале действуют мультипликативные помехи, обусловленные изменениями параметров канала как четырехполюсника.

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

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

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

## 2.3 Плезиохронная цифровая иерархия

### 2.3.1 Общие положения ПЦИ

Плезиохронная цифровая иерархия была разработана в начале 80-х годов. Она делится на три различные иерархические цифровые наборы, или цифровые иерархии. В первой из них, принятой в США и Канаде, в качестве скорости сигнала первичного цифрового канала (ПЦК) -DS1 была выбрана скорость 1544 кбит/с (т.е. двадцать четыре цифровых телефонных канала 64 кбит/с). Во второй, принятой в Японии, использовалась та же скорость для DS1. В третьей, принятой в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с (формально количество каналов - 32, но два канала используются для сигнализации и управления) [2].

Первая иерархия, порожденная скоростью 1544 кбит/с, давала последовательность: DS1 -DS2 - DS3 - DS4 или последовательность вида: 1544 - 6312 - 44736 - 274176 кбит/с, что, с учетом скорости DS0, соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования n=24, m=4, 1=7, k=6. Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 канала DS0.

Вторая иерархия, порожденная скоростью 1544 кбит/с, давала последовательность DS1 - DS2 - DS3 - DS4 или последовательность 1544 - 6312 - 32064 - 97728 кбит/с, что, с учетом скорости DS0, соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования n=24, m=4, l=5, k=3. Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 480 и 1440 каналов DSO.

Третья иерархия, порожденная скоростью 2048 кбит/с, давала последовательность Е1 - E2 -ЕЗ - Е4 - Е5 или последовательность 2048 - 8448 34368 - 139264 - 564992 - кбит/с, что соответствует ряду коэффициентов n=30 (32), m=4, l=4, k=4, i=4, (т.е. коэффициент мультиплексирования в этой иерархии выбирался постоянным и кратным 2). Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 30, 120, 480, 1920 и 7680 каналов DS0, что отражается и в названии ИКМ систем: ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и т.д..

Указанные иерархии, известные под общим названием плезиохронная цифровая иерархия PDH, или ПЦИ, сведены в таблицу 2.1 [3, 21].

Таблица 2.1 - Схемы цифровых иерархий: американская (АС), японская (ЯС) и европейская (ЕС)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Уровень цифровой иерархии | Скорости передачи, соответствующие различным схемам цифровой иерархии | | |
| АС: 1 544 кбит/с | ЯС: 1544 кбит/с | ЕС: 2048 кбит/с |
| 0 | 64 | 64 | 64 |
| 1 | 1544 | 1544 | 2048 |
| 2 | 6312 | 6312 | 8448 |
| 3 | 44736 | 32064 | 34368 |
| 4 | — | 97728 | 139264 |

Параллельное развитие трех различных иерархий не могло способствовать развитию глобальных телекоммуникаций в мире в целом, поэтому комитетом по стандартизации ITU-T или МСЭ-Т были сделаны шаги по их унификации и возможному объединению. В результате был разработан стандарт, согласно которому были стандартизованы три первых уровня первой иерархии (DS1-DS2-DS3), четыре уровня второй иерархии (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) и четыре уровня третьей иерархии (Е1-Е2-ЕЗ-Е4) в качестве основных. Также были указаны схемы кросс-мультиплексирования иерархий, например, из третьей в первую и обратно. На рисунке 2.1 схематично представлен результат, полученный после стандартизации.



Рисунок 2.1 - Схема мультиплексирования и кроссмультиплексирования в американской, японской и европейской цифровых иерархиях

### 2.3.2 Особенности плезиохронной цифровой иерархии

Наличие стандартных скоростей передачи и фиксированных коэффициентов мультиплексирования позволило говорить о трех схемах мультиплексирования - американской, японской и европейской. При использовании жесткой синхронизации при приеме/передаче можно было бы применить метод мультиплексирования с чередованием октетов или байтов, как это делалось при формировании цифровых сигналов первого уровня, для того, чтобы иметь принципиальную возможность идентификации байтов или групп байтов каждого канала в общем потоке. Однако учитывая, что синхронизация входных последовательностей, подаваемых на мультиплексор от разных абонентов/пользователей, отсутствует, в схемах второго и более высокого уровней мультиплексирования был использован метод мультиплексирования с чередованием бит (а не байт) [2]. В этом методе мультиплексор, например, второго уровня формирует выходную цифровую последовательность скоростью 6 Мбит/с - АС, ЯС (или 8 Мбит/с - ЕС) путем чередования бит входных последовательностей от разных каналов (для АС и ЯС это каналы Т1, а для ЕС - каналы Е1).

Так как мультиплексор не формирует структуры, которая могла бы быть использована для определения позиции бита каждого канала, а входные скорости разных каналов могут не совпадать, то используется внутренняя побитовая синхронизация, при которой мультиплексор сам выравнивает скорости входных потоков путем добавления или удаления нужного числа выравнивающих бит в каналы с относительно меньшими скоростями передачи. Благодаря этому на выходе мультиплексора формируется синхронизированная цифровая последовательность. Информация о вставленных/изъятых битах передается по служебным каналам, формируемым отдельными битами в структуре фрейма. На последующих уровнях мультиплексирования эта схема повторяется, добавляя новые выравнивающие биты. Эти биты затем удаляются/добавляются при демультиплексировании на приемной стороне для восстановления исходной цифровой последовательности. Такой процесс передачи получил название плезиохронного (т.е. почти синхронного), а цифровые иерархии АС, ЯС и ЕС соответственно название плезиохронных цифровых иерархий - PDH.

Кроме синхронизации, на уровне мультиплексора второго порядка также происходит формирование фреймов и мультифреймов, которые позволяют структурировать последовательность в целом. Формирование фреймов и мультифреймов и их выравнивание особенно важно для локализации на приемной стороне каждого фрейма, что позволяет в свою очередь получить информацию о сигнализации и кодовых группах контролирующих избыточных кодов CRC и информацию служебного канала данных.

Общая схема канала передачи с использованием технологии PDH даже в самом простом варианте топологии сети "точка - точка" на скорости 140 Мбит/с должна включать три уровня мультиплексирования на передающей стороне (для ЕС, например, 2→8, 8→34 и 34→140) и три уровня демультиплексирования на приемной стороне, что приводит к достаточно сложной аппаратурной реализации таких систем.

Еще одним недостатком систем передачи плезиохронной цифровой иерархии является также то, что при нарушении синхронизации группового сигнала восстановление синхронизации первичных цифровых потоков происходит многоступенчатым путем, а это занимает довольно много времени.

Но самое главное, что заставило уже в середине 80-х годов XX в. искать новые походы к построению цифровых иерархий систем передачи, это почти полное отсутствие возможностей автоматически контролировать состояние сети связи и управлять ею. А без этого создать надежную сеть с высоким качеством обслуживания практически невозможно. Все эти факторы и побудили разработать еще одну цифровую иерархию.

## 2.4 Синхронная цифровая иерархия

### 2.4.1 Синхронные транспортные модули

Новая цифровая иерархия была задумана как скоростная информационная автострада для транспортирования цифровых потоков с разными скоростями. В этой иерархии объединяются и разъединяются потоки со скоростями 155,520 Мбит/с и выше. Поскольку способ объединения потоков был выбран синхронный, то данная иерархия получила название синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy — SDH) [3,6].

Для транспортирования цифрового потока со скоростью 155 Мбит/с создается синхронный транспортный модуль (Synchronous Transport Module) STM-1. Его упрощенная структура дана на рисунок 2.1.. Модуль представляет собой фрейм (рамку) 9•270 = 2430 байт. Кроме передаваемой информации (называемой в литературе полезной нагрузкой), он содержит в 4-й строке указатель (Pointer, PTR), определяющий начало записи полезной нагрузки.



Рисунок 2.2 – Структура модуля STM-1

Чтобы определить маршрут транспортного модуля, в левой части рамки записывается секционный заголовок (Section Over Head, SOH). Нижние 5•9 = 45 байтов (после указателя) отвечают за доставку информации в то место сети, к тому мультиплексору, где этот транспортный модуль будет переформировываться. Данная часть заголовка так и называется: секционный заголовок мультиплексора (MSOH). Верхние 3•9 = 27 байтов (до указателя) представляют собой секционный заголовок регенератора (RSOH), где будут осуществляться восстановление потока, "поврежденного" помехами, и исправление ошибок в нем.

Один цикл передачи включает в себя считывание в линию такой прямоугольной таблицы. Порядок передачи байтов — слева направо, сверху вниз (так же, как при чтении текста на странице). Продолжительность цикла передачи STM-1 составляет 125 мкс, т.е. он повторяется с частотой 8 кГц. Каждая клеточка соответствует скорости передачи 8 бит•8 кГц = 64 кбит/с. Значит, если тратить на передачу в линию каждой прямоугольной рамки 125 мкс, то за секунду в линию будет передано 9•270•64 Кбит/с = 155 520 Кбит/с, т.е. 155 Мбит/с.

Для создания более мощных цифровых потоков в SDH-системах формируется следующая скоростная иерархия: четыре модуля STM-1 объединяются путем побайтового мультиплексирования в модуль STM-4, передаваемый со скоростью 622,080 Мбит/с; затем четыре модуля STM-4 объединяются в модуль STM-16 со скоростью передачи 2488,320 Мбит/с; наконец четыре модуля STM-16 могут быть объединены в высокоскоростной модуль STM-64 (9953, 280 Мбит/с) [2].

### 2.4.2 Формирование модуля STM-1

В сети SDH применены принципы контейнерных перевозок. Подлежащие транспортировке сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах (Container — С). Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания, чем и достигается прозрачность сети SDH, т.е. способность транспортировать различные сигналы, в частности сигналы PDH.

Наиболее близким по скорости к первому уровню иерархии SDH (155, 520 Мбит/с) является цифровой поток со скоростью 139,264 Мбит/с, образуемый на выходе аппаратуры плезиохронной цифровой иерархии ИКМ-1920. Его проще всего разместить в модуле STM-1. Для этого поступающий цифровой сигнал сначала "упаковывают" в контейнер (т.е. размещают на определенных позициях его цикла), который обозначается С-4. Рамка контейнера С-4 содержит 9 строк и 260 однобайтовых столбов. Добавлением слева еще одного столбца — маршрутного или трактового заголовка (Path Over Head, POH) — этот контейнер преобразуется в виртуальный контейнер VC-4.

Наконец, чтобы поместить виртуальный контейнер VC-4 в модуль STM-1, его снабжают указателем (PTR), образуя таким способом административный блок AU-4 (Administrative Unit), a последний помещают непосредственно в модуль STM-1 вместе с секционным заголовком SOH (Рисунок 2.3).

Синхронный транспортный модуль STM-1 можно загрузить и плезиохронными потоками со скоростями 2,048 Мбит/с. Такие потоки формируются аппаратурой ИКМ-30, они широко распространены в современных сетях. Для первоначальной "упаковки" используется контейнер С12. Цифровой сигнал размещается на определенных позициях этого контейнера. Путем добавления маршрутного, или транспортного, заголовка (РОН) образуется виртуальный контейнер VC-12. Виртуальные контейнеры формируются и расформировываются в точках окончаний трактов [6].

В модуле STM-1 можно разместить 63 виртуальных контейнера VC-12. При этом поступают следующим образом. Виртуальный контейнер VC-12 снабжают указателем (PTR) и образуют тем самым транспортный блок TU-12 (Tributary Unit) Теперь цифровые потоки разных транспортных блоков можно объединять в цифровой поток 155,520 Мбит/с. Сначала три транспортных блока TU-12 путем мультиплексирования объединяют в группу транспортных блоков TUG-2 (Tributary Unit Group), затем семь групп TUG-2 мультиплексируют в группы транспортных блоков TUG-3, а три группы TUG-3 объединяют вместе и помещают в виртуальный контейнер VC-4. Далее путь преобразования известен (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 - Упрощенная схема преобразования в SDH

Плезиохронные цифровые потоки всех уровней размещаются в контейнерах С с использованием процедуры выравнивания скоростей (положительного, отрицательного и двухстороннего) [20].

Важной особенностью аппаратуры SDH является то, что в трактовых и сетевых заголовках помимо маршрутной информации создается много информации, позволяющей обеспечить наблюдение и управление всей сетью в целом, дистанционные переключения в мультиплексорах по требованию клиентов, осуществлять контроль и диагностику, своевременно обнаружить и устранять неисправности, реализовать эффективную эксплуатацию сети и сохранить высокое качество предоставляемых услуг.

К особенностям SDH можно отнести:

* синхронную передачу и мультиплексирование. Элементы сети используют один задающий генератор, поэтому вопросы построения системы синхронизации становятся особо важными;
* предусматривает прямой ввод/вывод потока Е1;
* надёжность и самовосстанавливаемость сети, обусловленные тем, что, во-первых, сеть использует волоконно – оптические кабели, передача по которым не подвержена действию электромагнитных помех, во-вторых, архитектура и гибкое управление сетями позволяет использовать защищенный режим работы, допускающий два альтернативных пути распространения сигнала с почти мгновенным переключением в случае повреждения одного из них, а также обход поврежденного узла сети, что делает эти сети самовосстанавливающимися;
* выделение полосы пропускания по требованию – услуга, которая раньше могла быть осуществлена только по заранее спланированной договоренности, теперь может быть предоставлена в считанные секунды путем переключения на другой канал;
* прозрачность для передачи любого трафика, что обусловлено использованием виртуальных контейнеров для передачи трафика, сформированного другими технологиями (АТМ, ISDN, Frame Relay);
* гибкость управления сетью, обусловленная наличием большого числа широкополосных каналов управления.

### 2.4.3 Сравнение SDH и PDH

Подведем итоги рассмотренных нами систем цифровой иерархии [20]:

Отличия SDH от PDH:

1. Единый для всех высокостабильный тактовый генератор;
2. Большое количество служебной информации, т.е. заголовков и указателей;
3. Универсальный интерфейс (имеется в виду взаимодействие) для всех национальных систем: США, Япония, Европа.

Достоинства SDH:

1. Упрощенный процесс мультиплексирования и демультиплексирования. Здесь не надо много распаковывать, как в ПЦИ, так как есть много заголовков.
2. Простота ввода компонентных сигналов - Заголовки + плавающий режим
3. Качественное управление сложными сетями:
4. управление конфигурацией;
5. управление неисправностями: выявление дистационной неисправности и исправление ее;
6. управление качеством;
7. управление безопасностью.

Недостатки SDH:

1. Система очень дорогая;
2. Должна быть высочайшая стабильность частоты. А это сделать сложно.
3. Большое время вхождения в синхронизм;
4. Система чрезвычайно избыточна, т.к. много заголовков и пустых мест на будущее. Но это окупается высокой пропускной способностью.

## 2.5 Выбор частотного диапазона проектируемой РРЛ

Диапазон 7 ГГц (7.25-7.55 ГГц)

Диапазон 7 ГГц освоен в настоящее время достаточно хорошо [4]. 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.

Число радиосредств в России, использующих этот диапазон, пока относительно невелико, и, следовательно, электромагнитная обстановка благополучна. Однако необходимо учитывать помехи от соседних радиорелейных линий, работающих в данном диапазоне частот.

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

Эти диапазоны перспективны с точки зрения эффективности систем РРЛ [18]. 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 [18]. 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. 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 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.

Таким образом, в соответствии с вышесказанным в нашем случае более предпочтительным является диапазон 7 ГГц, поскольку у ООО «Томсктрансгаз» используемая аналоговая РРЛ уже работает на этих частотах, следовательно получать разрешение ГРЧК не требуется, а нужно просто подать заявление на регистрацию нового оборудования и частотного плана. Кроме того, оборудование фирм, рассчитанное на пропускную способность в STM-1 для данного диапазона, значительно дешевле своих аналогов, работающих на более высоких частотах.

## 2.6 Виды станций РРЛ

На РРЛ имеется несколько видов станций [11,13]:

1. Оконечная станция (OC), предназначаются для ввода в РРЛ многоканального и ТВ сигнала на стороне передачи и для выделения этих сигналов на стороне приема. ОС РРЛ связана соединительными линиями с МТС и ТЦ. Часто ОС совмещаются с ТЦ. Структурная схема ОС приведена на рисунке 2.4.

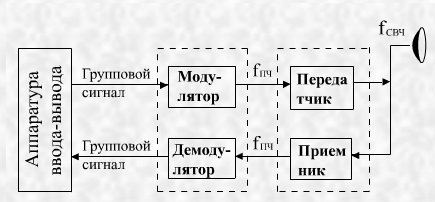


Рисунок 2.4 – Структурная схема ОС

1. Промежуточная станция (ПС), предназначена для приема сигналов от предыдущей станции, их усиления и передачи в направлении следующей станции. Соединение на ПС между передатчиком и приемником осуществляется по промежуточной частоте, т.е. без демодуляции сигналов в приемнике и без модуляции в передатчике. При необходимости может быть осуществлено выделение ТВ программы - для этого демодуляция сигнала промежуточной частоты осуществляется путем его снятия с дополнительного выхода приемника, что не оказывает влияние на качественные показатели сквозных каналов.

В малоканальных РРЛ и особенно в РРЛ с временным разделением применяется построение аппаратуры ПС, при котором демодуляция и модуляция производится на каждой ПС. Это позволяет вводить и выводить ТЛФ каналы на любой ПС. Структурная схема станции приведена на рисунке 2.5.

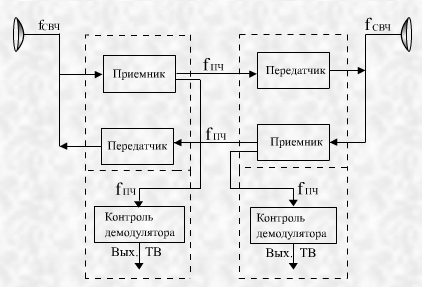


Рисунок 2.5-Структурная схема ПС

1. Узловые станции (УС) предназначаются для выделения части ТЛФ каналов и введения соответствующего количества новых каналов. От УС часто берут начало новые РРЛ (линии ответвления). В ТЛФ стволах на УС производится демодуляция сигналов со стороны приема и модуляция со стороны передачи. При необходимости эти преобразования производятся и в ТВ стволах. Структурная схема станции приведена на рисунке 2.6.

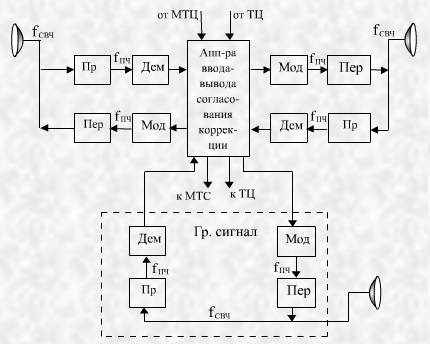


Рисунок 2.6-Структурная схема УС

## 2.7 Основные требования, предъявляемые к антеннам РРЛ

В настоящее время на РРЛ прямой видимости применяются передатчики мощностью 2 ÷ 10 Вт и в последнее время даже 0,5 Вт. Расстояние между промежуточными пунктами составляет 40 ÷ 60 км и высота мачт 50 ÷ 100 м. При этом для устойчивой связи необходимо, чтобы коэффициент усиления антенны составляет 1000 ÷ 40000 (30 ÷ 46 дБ). Обычно антенны дециметровых волн обладают коэффициентом усиления примерно 30 дБ и антенны сантиметровых волн 40 ÷ 46 дБ.

На магистральных РРЛ большой емкости применяют, как правило, двухчастотную схему, которая, как известно, требует защитного действия антенн не менее 65 ÷ 70 дБ.

Для увеличения переходного затухания между трактами приема и передачи, излучаемое и принимаемое антенной поля должны иметь взаимно перпендикулярные поляризации. Для этого линии питания и облучатель антенны должны быть выполнены так, чтобы было можно одновременно передавать и принимать волны с различными поляризациями, и диаграмма направленности антенны должна быть асимметричной.

Отраженные волны в тракте питания приводят к нелинейности фазовой характеристики последнего, что вызывает нелинейные искажения в сигнале. Допустимая величина коэффициента отражения, вызванного рассогласованием линии с антенной, для многоканальных систем не должна превышать 2 % во всей рабочей полосе частот. Для этих систем полоса частот, удовлетворяющая данному требованию, должна составлять 10 ÷ 15 % от несущей частоты высокочастотного сигнала.

Конструкция антенны должна быть жесткой, чтобы при порывах ветра упругая деформация антенны не превышала допустимую величину. Атмосферные осадки не должны попадать в тракт питания антенны, т.к. это приводит к увеличению затухания в тракте и к рассогласованию. Антенна должна иметь возможность поворота в небольших пределах с целью точной установки направления максимального излучения на корреспондента.

## 2.8 План распределения частот

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

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

Следовательно, ПС выполняет две функции:

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

Существуют три плана распределения частот в РРЛ прямой видимости, для ствола[13]:

* двухчастотный план (рисунок 2.7 );
* четырехчастотный план (рисунок 2.8 );
* шестичастотный план (рисунок 2.9).



Рисунок 2.7-Схема двухчастотного плана



Рисунок 2.8-Схема четырехчастотного плана



Рисунок 2.9-Схема шестичастотного плана

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

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

Частоты приема и передачи в одном стволе РРЛ чередуются от станции к станции. Станции, на которых прием осуществляется на более низкой частоте (f1), а передача на более высокой (f2), обозначаются индексом “НВ”, а станции, на которых прием производится на более высокой частоте (f2), передача на более низкой (f1) обозначается индексом «ВН»

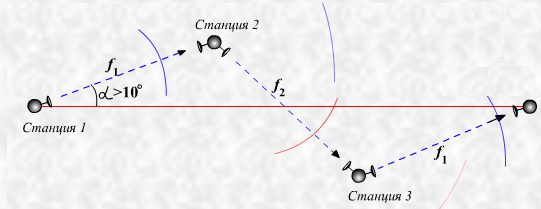


Рисунок 2.10 - Расположение станций РРЛ

Повторение через интервал одних и тех же частот допустимо потому, что в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн при отсутствии прямой видимости между антеннами ослабление сигнала достаточно велико. Однако при некоторых условиях распространения радиоволн, например при повышенной рефракции, возможен прием сигнала от станции, отстоящей на 3 интервала (минус 2 станции), что и приводит к значительным искажениям передаваемых сигналов. Во избежание этого станции РРЛ располагают на ломаной линии с тем, чтобы паразитный сигнал дополнительно сильно ослаблялся за счет направленных свойств антенн (рисунок 2.10).

Для того чтобы свести к минимуму интерференционные помехи в многоствольных РРЛ, возникающие при одновременной работе нескольких приемников и передатчиков на общий антенно-фидерный тракт, существуют определенные планы распределения частот [3, 20].

Во всех современных РРЛ системах применяются планы с разнесенными частотами приема и передачи, т.е. частоты приема размещены в одной половине диапазона, а частоты передач – в другой половине диапазона. Такой план распределения частот приведен на рисунке 2.11

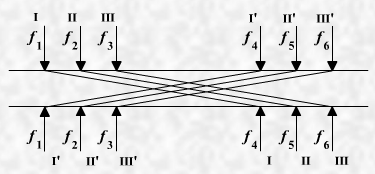


Рисунок 2.11 - План с разнесенными частотами приема и передачи

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

Существует второй план распределения частот – при этом плане предусматривается чередование частот приема и передачи отдельных стволов (рисунок 2.12).

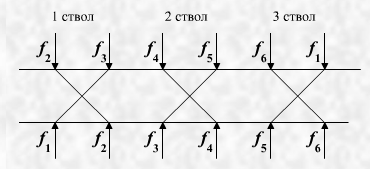


Рисунок 2.12 – План с чередованием частот приема и передачи

В нашем случае выберем четырехчастотный план, поскольку двухчастотного будет недостаточно из-за почти прямолинейного расположения РРС. С другой стороны, использование шестичастотного плана неоправданно с точки зрения частотного ресурса, получение разрешения на использование которого в диапазоне 7 ГГц может быть проблематично из-за его занятости. Выбор частот приема и передачи осуществим по предоставленной производителем оборудования формуле:

(2.1)



(2.2)



Формула 2.1 позволяет рассчитать нижнюю рабочую частоту приемо-передатчика, а формула 2.2 – верхнюю, при условии, что шаг сетки частот составляет 28 МГц, а дуплексный разнос – 160 МГц. Полный частотный план проектируемой РРЛ приведен на структурной схеме РТФ ДП.464543.001 Э3.

# 3 Выбор оборудования

## 3.1 Размещение оборудования радиорелейных систем

Размещение оборудования радиорелейных систем производится по следующим принципам:

1. Антенны размещаются на мачте и с оборудованием их соединяют волноводы. Герметичность антенно-волноводного тракта (АВТ) обеспечивается установкой дегидраторов – устройств, обеспечивающих избыточное давление в волноводах. Оборудование находится на земле в помещении, где поддерживается необходимый микроклимат.
2. Размещение приемопередающего высокочастотного (ВЧ) оборудования возле антенны и остальное оборудование внизу в помещении. Соединение между модулятором и ВЧ трактом выполняется коаксиальным кабелем, по которому также подается питание на передатчики и приемники. При использовании разнесенного приема дополнительное оборудование также размещается на мачте возле приемной антенны.

Система электропитания ЦРРС обеспечивается соединением нескольких источников энергии – внешних источников электроснабжения, солнечных батарей, ветроэлектрогенераторов и аккумуляторных батарей, обеспечивающих работу оборудования при перерывах подачи электроэнергии от других источников. Все оборудование разделяется на классы энергопотребителей, в зависимости от этого обеспечивается та или иная система резервирования источников электропитания.

Существует и тенденция в размещении оборудования: если в недавнем прошлом все оборудование ЦРРС размещалось на земле, то в настоящее время с ростом миниатюризации элементов производители при производстве радиорелейных станций все больше проектируют радиооборудование с размещением возле антенны, как более дешевое. Номенклатура цифровых радиорелейных станций с размещением всего оборудования на земле становится все меньше, а то и вообще отсутствует. Как правило, современные производители стараются обеспечить возможность размещения оборудования как на земле, так и возле антенны, а заказчик уже сам выбирает, как ему удобно.

Исполнение с размещением оборудования возле антенны имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам следует отнести следующее:

* Отсутствует затухание в волноводном тракте, которое на высоких частотах достигает довольно больших величин. Например, на частоте 7 ГГц затухание в стандартном волноводе марки Е65 – 0,06дб/м, что на 100метров длины волновода дает затухание на прием и на передачу на 6дб. На более высоких частотах затухание будет еще больше. Компенсация потерь на затухание требует увеличения мощности передатчика и применения антенн большего диаметра для увеличения уровня принимаемого сигнала, что значительно удорожает систему.
* Стоимость соединительного коаксиального кабеля значительно ниже стоимости волновода.
* Отпадает проблема поддержания герметичности волноводного тракта.

Существуют и недостатки:

* При размещении СВЧ оборудования на мачте часто затруднен доступ к нему для настройки, обслуживания, профилактики или при неисправностях, что значительно замедляет устранение повреждений – важное условие при эксплуатации магистральных линий связи.
* Оборудование должно работать в большом диапазоне температур наружного воздуха – от максимальной – летом до минимальной – в сильный мороз. При этом надо учитывать, что радиочастотный блок размещен в открытом пространстве, где солнце может дополнительно разогреть его.
* Необходимо применять дополнительны меры грозозащиты, предотвращающие выход из строя ВЧ оборудования в радиочастотном блоке.
* Затруднено, а то и невозможно наращивание количества стволов при использовании одной антенны.

При проектировании данной радиорелейной линии связи основными недостатками размещения оборудования возле антенны стали следующие факторы:

1. не все фирмы дают гарантии работы оборудования при крайне отрицательных температурах, таких как -50 и ниже, при этом зима 2006 года показала важность данного показателя;
2. подобное размещение затрудняет проведение профилактических работ, которые проводятся достаточно часто, так как деятельность ООО «Томсктрансгаз» связано с особо опасным производством.

Использование аппаратуры в благоприятных условиях аппаратной, позволяет увеличить срок ее эксплуатации, что немаловажно при необходимости обеспечения беспрерывности технологической связи.

## 

## 3.2 Выбор фирмы производителя

Главными факторами, которые следует учитывать при выборе поставщика радиорелейного оборудования, являются:

- положительные отзывы ведущих операторов связи;

- опыт эксплуатации в неблагоприятных климатических условиях;

- наличие сервисных центров;

- перспективы производства оборудования на ближайшее десятилетие;

- экономическая целесообразность внедрения;

- стоимостные характеристики.

Анализ возможностей использования оборудования отечественных производителей показывает, что, несмотря на растущее число производителей отечественного оборудования ЦРРС уровня STM-1 (M-Link, «Пламя», Nateks Microlink SDH), оно не соответствует первым двум критериям.

Кроме того, в большинстве случаев данное оборудование собрано из отдельных узлов производства зарубежных производителей, в том числе малоизвестных на телекоммуникационном рынке, а используемое программное обеспечение часто конфликтует со старыми версиями. Опыта их использования на магистральных линиях практически нет.

Из зарубежного оборудования внимания заслуживает прежде всего продукция, имеющая положительные отзывы российских операторов и удовлетворяющая перечисленным ниже требованиям (таблица 3.1) [13,18].

Таблица 3.1 – Радиорелейное оборудование зарубежных производителей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип РРС | Диапазон, ГГц | Производитель | Система |
| TRuepoint | 6-38 | Harris | SDH STM-1 (также может работать в PDH-сетях) |
| MegaStar | 5,6,7,8, 11 | Harris | SDH STM-1 |
| Pasolink+ | 6-38 | NEC | SDHSTM-1 |
| DMR 3000S | 4-11 | NEC (сертифицирована в 2003 г.) | SDHSTM-1 |
| Mini-Link High Capacity | 18 | Ericsson | SDH STM-1 |
| Altium MX | 6-38 | Stratex Networks | SDHSTM-1 |
| Eclipse | 7, 15, 18 | Stratex Networks | SDHSTM-1 |
| SRT1F | 4-13 | Siemens (сертифицирована в 2003 г.) | SDHSTM-1 |
| SRA4 | 6-38 | Siemens (сертифицирована в 2003 г.) | SDHSTM-1 |
| CityLink | 5-38 | NERA | SDH STM-1 и PDH |
| InterLink | 5-38 | NERA | SDHSTM-1 |

Среди них выделяются три производителя - NEC (ЦРРС DMR 3000S), Nera (Interlink) и Harris (MegaStar) на их оборудовании остановили свой выбор наиболее крупные телекоммуникационные операторы, и это оборудование имеет длительный и положительный срок эксплуатации.

Произведя поиск в Internet, было обнаружено, что фирма Harris не имеет в России своего представительства и, соответственно, сервисного центра. В дополнении можно отметить, что в России очень малое количество дилеров работает с их продукцией. Таким образом, наш выбор останавливается на фирмах Nec и Nera, имеющих свои представительства как в России, так и в странах СНГ [16,17]. В этом можно убедиться, посетив их сайты по следующим адресам: [www.nera.com.ru](http://www.nera.com.ru) и [www.nec.ru](http://www.nec.ru). Кроме того, оборудование этих фирм более дешевое.

Для DMR 3000S и MegaStar характерно нижнее расположение радиомодулей с эффективной и надежной системой дегидрации волноводных трактов. По оценкам операторов связи, оборудование хорошо себя зарекомендовало в эксплуатации. В обеих станциях применены специальные схемы коррекции дисперсионных искажений, а также эквалайзеры для компенсации потерь и борьбы с замираниями сигналов. ЦРРС DMR 3000S обеспечивает увеличение пропускной способности до 16 потоков по 155,52 Мбит/с, MegaStar - до 7 потоков уровня STM-1.

Поскольку мы проектируем внутризоновую радиорелейную линию (ее протяженность – 275.5 км), то нам не нужно оборудование, способное передавать до нескольких потоков STM-1.

Для применения на внутризоновых ЦРРЛ и линиях относительно небольшой протяженности представляют интерес ЦРРС Pasolink+ (NEC), TRuepoint (Harris), InterLink и CityLink (NERA). Пропускная способность каналообразующей аппаратуры составляет 155 Мбит/с синхронной цифровой иерархии уровня STM-1 с возможностью увеличения до 4 потоков 155,52 Мбит/с. Наличие встроенного мультиплексора и единой системы управления позволяет минимизировать затраты на создание транспортной инфраструктуры. Кроме того, оборудование допускает как нижнее, так и верхнее расположение радиомодулей. Для компенсации дисперсионных искажений, возникающих вследствие замираний в волноводной части, используются высокоэффективные корректоры. Возможно пространственное разнесение антенн и радиомодулей на расстояние до 200 м.

В ходе поиска характеристик радиорелейного оборудования вышеуказанных фирм-производителей, столкнулся с основной проблемой. Ни один из официальных дилеров или представительств фирм не дает полную и подробную информацию о своем оборудовании и его применении в конкретных случаях.. В связи с этим фактом, дальнейшее проектирование было решено производить на оборудовании фирмы «Микран», хотя, по имеющимся сведениям, ни один из комплектов еще не был установлен, поэтому опыта эксплуатации данного радиорелейного оборудование нет.

Кроме того, оборудования фирмы «Микран» не позволяет нижнее размещения высокочастотного оборудования, что также является большим минусом при его эксплуатации. Тем не менее, определившись с производителями оборудования и представляемыми ими линейками, проведем сравнительный анализ и представим результаты в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Сравнительный анализ радиорелейного оборудования

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Параметр | МИКРАН  **МИК-РЛ7…15С** | Nera  Interlink | Nec  DMR 3000S | Nec  Pasolink+ |
| 1 | Диапазон  частот, ГГц | 7-15 | 3-11 | 4-11 | 6-38 |
| 2 | Пропускная  способность | STM-1 | От STM-1 до  16 STM-1 | От STM-1 до  16 STM-1 | От STM-0 до 2 STM-1/OC3 |
| 3 | Разнос каналов, МГц | 28-56 | 30-40 | 30-40 | 28-56 |
| 4 | Тип модуляции | 16 QAM,  64 QAM,  128 QAM | 64 QAM,  128 QAM | 64 QAM,  128 QAM | 32 QAM,  128 QAM |
| 5 | Выходная мощность передатчика, дБм | 21-27 | 26-29 | 30-33 | 10.5-25 |
| 6 | Порог  приемника,  BER 10-6 , дБм | -(65-76) | -(68-72) | -(67-77) | -(67-68) |
| 7 | Система резервирования | 1+0; 1+1;  2+0; 2+1;  3+0; 3+1 | от 1+0 до 8+0 без резерва, от 1+1 до 7+1 с резервом | до 11+1 | 1+0; 1+1;  2+0 |
| 9 | Служебная связь | 2 х 64 кбит/с | 3 х 64 кбит/с | 4 х 64 Кбит/с | 2 х 64 кбит/с |
| 10 | Управление сетью | ПО «Магистраль» | Nera NMS/LCT | MS3201 | PNMS / PNMT |
| 11 | Расположение аппаратуры | верхнее | Верхнее и  нижнее | Верхнее и  нижнее | Верхнее и  нижнее |

## 

## 3.3 Описание оборудования

### 3.3.1 Радиорелейное оборудование фирмы «Микран»

Аппаратура цифровых радиорелейных станций SDH иерархии «МИК-РЛххС» работает в диапазоне частот от 4 до 40 ГГц со скоростью передачи информации 155.52 Мбит/с и позволяет в пределах пропускной способности передавать 1 поток STM-1 или 63 потока Е1 или 42 потока Е1 + трафик Ethernet (50 Мбит/с) или 21 поток Е1 + трафик Ethernet (100 Мбит/с) [14].

**Высокоскоростные ЦРРС «МИК-РЛ4…6С»** предназначены для организации магистральных линий связи в диапазонах частот 4; 5 и 6 ГГц;

**Высокоскоростные ЦРРС «МИК-РЛ7…15С»** предназначены для организации внутризоновых, местных и технологических линий связи в диапазонах частот 7…15 ГГц;

**Высокоскоростные ЦРРС «МИК-РЛ18…40С»** предназначены для организации мест и технологических линий связи в диапазонах частот 18…40 ГГц;



Рисунок 3.1 – Общий вид радиорелейной аппаратуры SDH иерархии «Микран»

**Исполнение системы**

Станции МИК-РЛ4…40С представляют собой функционально законченные системы передачи, позволяющие строить синхронные сети связи произвольной топологии.

В состав РРС входят: приёмопередающая аппаратура, мультиплексоры уровня STM-1 (терминальные и ввода-вывода), источники гарантированного электропитания и система управления сетью.

В традиционном для систем МИК-РЛ раздельном исполнении возможна реализация конфигураций 1+0; 1+1 и 2+0. Станция в конфигурации 1+1 состоит из двух выносных приемопередатчиков и приемников канала пространственного разнесения, устанавливаемых непосредственно на антеннах, и оборудования внутреннего исполнения – модуля доступа МД1-6. При нижнем расположении приёмопередатчиков возможна реализация конфигураций 2+1, 3+0 или 3+1, в этом случае используется два модуля доступа МД1-6.

**Особенности аппаратной реализации.**

Архитектура модуля доступа МД1-6 позволяет в составе одного модуля простым добавлением необходимого количества блоков реализовать следующие варианты станций:

* терминальная станция 63хЕ1, одно направление по СВЧ, конфигурация 1+0 или 1+1;
* станция ввода/вывода 21хЕ1 или 42хЕ1, два направления по СВЧ, конфигурация 1+0 или 1+1;
* регенераторная станция без выделения потоков Е1, два направления по СВЧ, конфигурация 1+0 или 1+1;
* регенераторная станция без выделения потоков Е1, конфигурация 1+0 или 1+1, одно направление по СВЧ и одно направление по STM-1 (для работы с SDH-мультиплексорами других производителей).



Рисунок 3.2 – Модуль доступа МД1-6

Модуль доступа МД1-6 имеет в своём составе мультиплексор STM-1 который обеспечивает мультиплексирование трибутарных цифровых потоков и сервисных каналов, вместо передачи потоков Е1 возможна организация передачи трафика Ethernet (n х 21Е1). Модемы формируют спектр радиосигнала на промежуточной частоте и имеют встроенную аппаратную поддержку пространственного разнесения, для реализации которого требуется только установка антенн и приёмников пространственного разнесения. В модуле доступа МД1-6 используется распределенная система электропитания, благодаря чему достигается общая надежность и независимость питания каждого блока от остальных. Модуль доступа МД1-6 выполнен в корпусе Евромеханика 19’ высотой 6U.

В системе предусмотрены дополнительный канал передачи данных с программно выбираемым типом интерфейса RS-232/422/485 (скорость передачи от 110 до 57 600 бит/с ) и 2 цифровых канала служебной связи PCM-64 c двухпроводными окончаниями FXO/FXS с возможностью выхода в ТфОП. Для более эффективного использования каналов служебной связи на каждой станции предусмотрен встроенный коммутатор каналов. На всех промежуточных станциях возможен ввод/вывод сервисных каналов.

**Контроль и управление сетью РРС**

Система управления состоит из сетевых агентов, размещаемых на каждой станции и программного обеспечения верхнего уровня. На уровне сетевых агентов, размещаемых на каждой станции, решаются задачи как локального управления при помощи подключаемого терминала на базе Pocket-PC, так и сетевого управления при помощи менеджера сети - компьютера с установленным ПО «Магистраль». Система управления взаимодействует с сетью радиорелейных линий (РРЛ) посредством соединения ТCP/IP (интерфейс - Ethernet 10Base-T) на основе протокола SNMP. Особенностью аппаратного исполнения агента сети является наличие подсистемы хранения «firmware» всех блоков, входящих в состав станции, предусмотрена процедура обновления «firmware». Ядром сетевого агента является операционная система реального времени (RTOS).

В аппаратуре реализована возможность удаленного конфигурирования рабочих параметров всех устройств, входящих в состав РРС. Из центра управления осуществляется необходимая оперативная поддержка по обслуживанию сети при ее эксплуатации, вносятся своевременные коррективы в работу устройств. Обновляемая библиотека файлов-описаний позволяет изменять методы представления/анализа данных и способы управления устройствами, что обеспечивает независимость ПО от оборудования.

Возможно создание нескольких центров управления сетью, благодаря чему нагрузка на канал управления распределяется более равномерно. При необходимости реализуется резервирование управления. ПО системы управления защищено от несанкционированного доступа. Используемый механизм предоставления привилегий позволяет вводить несколько уровней взаимодействия с системой, ограничивая или расширяя права операторов.

Выбранное ниже оборудование для организации диспетчерской и конвенциональной связи можно объяснить следующими причинами: пульты Zetron уже активно применяются ООО «Томсктрансгазом» и неплохо себя зарекомендовали, оборудование фирмы Motorola также нашло широкое применение в обеспечении технологической связи на газопроводе. В то же время, оно нисколько не уступает по ценовым характеристикам своим аналогам, таким как OMI, KENWOOD, ICOM и др.

### 3.3.2 Диспетчерский пульт Zetron 4010

Zetron 4010 - комплексная многофункциональная диспетчерская консоль, обеспечивающая оперативное управление и коммутацию радиосетей различного типа, взаимодействие с телефонной сетью. Удобное управление, наглядная идентификация и оригинальная система звукового контроля ZETRON 4010 обеспечат эффективное управление большим количеством абонентов работающих в рамках одной или нескольких оперативных групп:

* Панель управления адаптированная для использования в диспетчерских центрах позволяет подключить до 12 каналов с различной сигнализацией.
* Широкий выбор интерфейсов позволяет подключить различные радиосистемы и внешние телефонные линии. Есть порт для подключения записывающих устройств.
* Свободно программируемые универсальные кнопки управления, обеспечивающие выполнение любых команд "в одно касание": - управление громкостью отдельных каналов;
* Оперативное переключение на каналы в режиме селекторного совещания.



Рисунок 3.3 – Общий вид настольной модели диспетчерского пульта Zetron

Большое количество вспомогательных функций диспетчерской консоли ZETRON 4010:

1. панель расширения для консоли с дополнительными 60 кнопками;
2. дополнительный интерфейс для подключения телефонной трубки или фурнитуры оператора;
3. настольные микрофоны, гарнитуры, педаль управления передачей и пр.;
4. дисплей для индикации ANI кода радио абонента;
5. групповые сообщения, режим 'тишина', передача сигналов тревоги, внутренняя связь;
6. переключение между каналами, коммутация радио каналов и внешних телефонных каналов

Диспетчерский комплекс представлен в виде рабочего места для одного оператора, собранное в едином корпусе и легко перемещаемое. Выпускается в двух вариантах: настольной модели, исполненной в офисном стиле или расширяемой панели, монтируемой в стойке, которой подключается до 12 каналов из них до 2 телефонных.

Питание консоли ZETRON 4010 может осуществляться как от сети переменного тока, так и от источника постоянного тока с напряжением 12 В. Одна из уникальных функций консоли это возможность программирования режимов работы с IBM совместимого компьютера.

Простая и удобная программа, которая входит в состав консоли, позволяет оперативно изменять текущую конфигурацию, сохранять ее на диск, за несколько секунд загружать в консоль конфигурации ранее сохраненные на диске.

Для подключения компьютера используется стандартный серийный порт с интерфейсом RS-232. Диспетчерские комплексы предназначены для оперативного управления и координации работ всех служб и ведомств в городском и региональном масштабе. Это становится особенно актуально для тех регионов, предприятий и хозяйств, чьи интересы простираются на значительные расстояния и требуют больших усилий по контролю и управлению персоналом и материально-техническими ресурсами.

Предлагаемая нами Диспетчерская консоль ZETRON 4010 радиосетей позволяет обеспечить оперативное управление, коммутацию радиосетей различного типа, взаимодействие с абонентами телефонной сети общего пользования, а также осуществлять прямой контроль за состоянием систем связи.

Основные задачи, которые призван решать диспетчерский комплекс ZETRON 4010:

* Координация деятельности подразделений, служб, при совместном взаимодействии.
* Оперативное управление работой служб МВД, Администрации, ГОЧС, Скорой помощи, Транспортных компаний,

Коммунального хозяйства Муниципальных и ведомственных аварийно-ремонтных служб, войсковых подразделений и др. - Обеспечение оперативной связи между радиоабонентами различных систем и диапазонов связи, принадлежащих различным службам и ведомствам.

Многофункциональность Диспетчерского пульта, на основе которого построена вся система, позволяет диспетчеру производить коммутацию абонентов вне зависимости от вида связи.

Консоль может быть подключена к телефонной сети, что дает возможность руководству любых структур региона или города оперативно получать достоверную информацию с места событий, а также давать указания руководителям служб принимающим участие в проведении работ любой сложности, ликвидации последствий стихийного бедствия и прочее.

Консоль может быть подключена к громкоговорящей аппаратуре для своевременного оповещения жителей прилегающих районов о надвигающейся опасности. Следует ещё раз отметить, что применение консоли радиосистем позволяет резко повысить эффективность системы управления.

### 3.3.3 Носимая радиостанция Motorola CP180

Носимая радиостанция СР180 имеет полную клавиатуру DTMF и алфавитно-цифровой дисплей, включающий индикацию состояния аккумуляторной батареи. Это обеспечивает легкий контроль и управление функциями, создает гибкость при организации связи, позволяет производить и принимать вызова телефонной сети. Уникальная технология компании Моторола X-Pand гарантирует всегда чистую и разборчивую речь, даже при работе в шумной окружающей среде. Сканирование каналов с приоритетным просмотром одного канала поможет более эффективно управлять связями, контролируя все требуемые каналы и канал вашей группы как приоритетный. Возможность использовать тоны PL/DPL позволяет доставлять сообщение только требуемому пользователю без привлечения сторонних наблюдателей. В окружающей среде, критичной к различным шумам, применение функции "шепота" (Whisper) позволяет пользователям говорить спокойным ровным голосом.



Рисунок 3.4 – Внешний вид радиостанции CP 180

Применение Li-Ion аккумуляторов позволяет увеличить время работы радиостанции до 19 часов.

Радиостанция спроектирована таким образом, что может легко противостоять возможным нежелательным воздействиям окружающей среды. Радиостанции СР-серии идеально подходят для использования при строительстве зданий и сооружений, на промышленных складах, в госпиталях, в образовательных учреждениях. Возможности использования СP180 могут быть расширены за счет установки функциональных дополнительных плат.

Таблица 3.3 - Основные характеристики радиостанции CP180

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр: | Значение: |
| Диапазон частот | VHF: 136-174 МГц UHF: 403-440 МГц UHF: 435-470 МГц |
| Ширина канала | 12.5 / 20.0 / 25.0 кГц |
| Количество каналов | 64 |
| Чувствительность (среднее значение) (12 дБ SINAD) EIA(20 дБ SINAD) ETS | 0.25 мкВ 0.50 мкВ |
| Мощность передатчика | 136-174 МГц: 1-5 Вт 403-440 МГц: 1-4 Вт 435-470 МГц: 1-4 Вт |
| Питание | аккумулятор 7.5 В |
| Габариты (В х Ш х Д), ммс литийионным аккумулятором | высота без кнопок 130.5 х 62.0 х 42.0 |
| Вес, гс литийионным аккумулятором | 397 |

### 

### 3.3.4 Мобильная радиостанция Motorola CM360

Мобильная радиостанция Motorola CM360 является универсальным и экономичным решением для организаций, где используют в работе автотранспорт. Пользователям сетей связи CM360 предлагает большой набор функциональных возможностей, которые могут быть легко адаптированы к потребностям организации.



Рисунок 3.5 – Внешний вид радиостанции CM 360

Радиостанция реализует все возможности CM340 и дополнительно обладает алфавитно-цифровым дисплеем. Он используется для доступа к меню управления радиостанцией, для отображения номера вызывающего пользователя, записной книжки и напоминаний о пропущенных вызовах. Три программируемые кнопки могут быть настроены на быстрый вызов наиболее часто используемых функций. Например, кнопка экстренного вызова помогает защищать уязвимых работников - единственным нажатием формирует аварийный вызов, предназначенный определенному человеку или группе людей. Также в радиостанции поддерживается работа DTMF микрофона. Это позволяет отправлять и принимать телефонные звонки, когда система связи содержит необходимое для этого оборудование. Возможности использования CM360 могут быть расширены за счет установки функциональных дополнительных плат.

Радиостанции коммерческой серии CM идеально подходят для грузовых и пассажирских перевозок, такси, лечебных учреждений, образовательных учреждений, а также любых пользователей, заинтересованных в качественной связи.

Таблица 3.4 - Основные характеристики радиостанции CM360

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр: | Значение: |
| Диапазон частот | VHF: 146-174 МГц UHF1: 403-440 МГц UHF2: 438-470 МГц |
| Ширина канала | 12.5 / 20.0 / 25.0 кГц |
| Количество каналов | 100 |
| Чувствительность (среднее значение) (12 дБ SINAD) EIA | 0.25 мкВ |
| Мощность передатчика | 146-174 МГц: 1-25 Вт 403-440 МГц: 1-25 Вт 438-470 МГц: 1-25 Вт |
| Напряжение питания | 13.2 В (10.8-15.6 В) с минусом на корпусе |
| Габариты (В х Ш х Д), мм | 169 х 118 х 44 |
| Вес, г | 1020 |
| Диапазон рабочих температур | от -30 оС до +60 оС |

### 

### 3.3.5 Базовая станция MTR-2000

В ретрансляторе MTR2000 использованы новейшие технологии разработки и производства аппаратуры радиосвязи. Твердотельный усилитель развивает мощность 40 Ватт (100 Ватт опционально), а 100%-цикл работы на передачу позволяет использовать ретранслятор в системах с любой интенсивностью переговоров. Большая гибкость в настройках позволяет одинаково эффективно использовать ретранслятор системах связи любого назначения. Программирование и диагностические испытания выполняются пользователем с помощью персонального компьютера, а для упрощения диагностики имеются встроенные механизмы самотестирования и проверки.

Профессиональный, высоконадежный ретранслятор MTR2000 идеально подходит для построения многоканальных/многосайтовых транкинговых систем, в том числе работающих в условиях со сложной электромагнитной обстановкой [19].

Таблица 3.5 - Основные характеристики ретранслятора MTR2000

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Диапазон частот | VHF: 136-174 МГц UHF1: 403-440 МГц UHF2: 438-470 МГц |
| Ширина канала | 12.5 / 20.0 / 25.0 / 30.0 кГц |
| Количество каналов | до 32 |
| Чувствительность (среднее значение) (12 дБ SINAD) EIA | 0.35 мкВ |
| Мощность передатчика | 146-174 МГц: 1-40 Вт 403-440 МГц: 1-40 Вт 438-470 МГц: 1-40 Вт опционально 100 Вт |
| Напряжение питания | 220 В переменного тока или 14.2 В постоянного тока с минусом на корпусе |
| Габариты (В х Ш х Д), мм | 483 х 419 х 133 |
| Вес, кг | 19 |
| Диапазон рабочих температур | от -30 оС до +60 оС |

### 

### 3.3.6 Выбор первичных и вторичных источников питания

Для электропитания проектируемого оборудования требуется обеспечить:

* постоянный ток напряжением –(48-70) В для питания радиорелейного оборудования;
* постоянный ток напряжением – 14.2 В для питания базовой станции Motorola MTR-2000 требуется.

В соответствии с ВСН-332-93 «ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ, ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ» оборудование проектируемой РРЛ относится к источникам первой категории питания, следовательно, должно обеспечиваться электропитанием от трех независимых источников. В качестве таковых, мной были взяты две независимые линии переменного напряжения 220 В, идущие от ближайших подстанций, а также дизельная электростанция.

Мощность и марка дизельной электростанции были выбраны, исходя из мощности проектируемого оборудования, расхода топлива электростанции и возможности ее автоматического перехода на резервное электроснабжение. С учетом вышеперечисленного выбор был остановлен на дизельной электростанции «Вепрь» Российского производства, характеристики которой приведены ниже в таблице.

Таблица 3.6 – Характеристики дизельной электростанции АДП 5-230 ВЯ-БС «Вепрь»

|  |  |
| --- | --- |
| Максимальная мощность, кВт | 5,5 |
| Рабочая мощность, кВт | 5 |
| Сила тока, А | 21,7 |
| Расход топлива, л/ч | 1,83 |
| Объем бака, л | 12,5 |
| Мощность двигателя, л.с | 10 |
| Стартер | эл/руч |
| Габариты, см | 75х55х59 |
| Вес, кг | 108 |

При выборе аккумуляторных батарей следует учесть потребляемый ток всего оборудования. Так основным потребителем электроэнергии является базовая станция (около 5 А), и примерно столько же на оборудование РРС, с учетом запаса, а также длительности работы (около 5 ч) от аккумуляторных батарей будет целесообразным выбирать их емкость в пределах 100-120 А/ч. Мной были выбраны герметичные необслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторы серии FLB-HIGHLITE (AGM) 12 В фирмы FIAMM емкостью 25 А/ч в количестве четырех штук (100 А/ч).

В качестве источника электропитания был взят **ИБЭП-220/48-12 фирмы «Микран»**, способный работать в комплекте с аккумуляторными батареями до 100 А/ч каждая, а также отдавать в нагрузку до 12 А.

Размещение ИБЭП и аккумуляторных батарей предусмотрено в 19 дюймовых шкафах вместе с другим оборудованием связи, а дизельной электростанции в отдельном техническом помещении вместе с запасом дизельного топлива.

# 4 Проектирование линий связи

## 4.1 Нормы на показатели качества и готовности

Прежде, чем приступать к расчету параметров радиорелейной линии необходимо определить: по какой методики производить расчеты, а также каким нормам эти расчеты должны соответствовать. Выбор и обоснование методики расчета приведен ниже. А сейчас разберемся с нормами на качественные показатели радиорелейной сети [11].

Показатели качества и готовности для различных СВЧ систем тесно связаны с характеристиками сетей связи. Эти характеристики рекомендованы МСЭ-Р и МСЭ-Т. Основными рекомендациями являются рекомендации МСЭ-Т G.801, G.821 и G.826.

Характеристики в G.82I рекомендованы для цифровых сетей с интегрированными услугами (ISDN) и относятся к каналам со скоростью передачи 64 кбит/с в обоих направлениях. При измерениях на каналах с более высокой скоростью передачи можно воспользоваться рекомендацией G.821 МСЭ-Т, приложение D. Для проектирования систем со скоростью передачи STM-1 и выше используют рекомендацию G.826 МСЭ-Т «Параметры и нормы показателей качества по ошибкам для международных цифровых трактов с постоянной скоростью передачи, равной или выше первичной скорости».

### 4.1.1 Гипотетическое цифровое соединение, тракт и участок

В Рекомендации G.801 МСЭ-Т определяются модели цифровой сети как совокупности гипотетических объектов определенной длины и состава.

Цифровое ГЭС — это модель, на основе которой могут проводиться исследования применительно к общим показателям качества, что облегчает формирование соответствующих стандартов и норм. Применительно к показателям качества сети ЦСИС принято рассматривать чисто цифровое соединение со скоростью передачи 64 кбит/с. Поскольку показатели качества полной сети и каждый ее параметр в отдельности должны соответствовать требованиям пользователя, то такие показатели в основном должны быть связаны с моделью сети, представляющей очень длинные соединения. На рисунке 4.1 показано удовлетворяющее этому требованию гипотетическое эталонное соединение протяженностью 27 500 км.

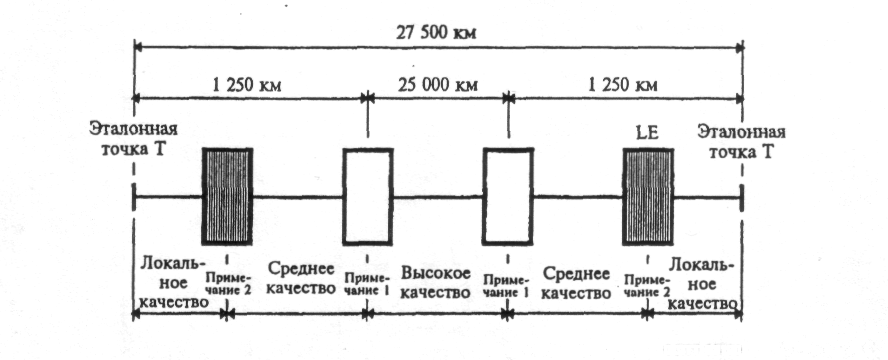


Рисунок 4.1 – Гипотетическое эталонное соединение

Примечание 1.— Невозможно определить, где проходит граница между участками среднего и высокого качества гипотетического эталонного соединения.

Примечание 2.— LE обозначает "местную станцию" или эквивалентную точку схемы.

Для облегчения исследования ухудшений цифровой передачи (например, ошибки в битах, дрожание и дрейф фазы, проскальзывания, время передачи) модель сети должна включать сочетание различных типов элементов передачи (например, системы передачи, мультиплексоры, демультиплексоры, цифровые тракты, транскодеры). Такая модель определяется как ГЭЦЛ. В Рекомендациях МСЭ-Р обычно используется термин ГЭЦТ. Его длина принимается равной 2500 км. Гипотетический эталонный цифровой тракт протяженностью 2500 км для радиорелейных систем состоит из девяти радиоучастков, каждый из которых имеет длину примерно 280 км.

Для того чтобы при расчетах на основе модели могли быть использованы качественные параметры, взятые непосредственно из технических описаний систем передачи, в составе модели используется понятие гипотетический эталонный цифровой участок (ГЭЦУ). Входной и выходной порты указанного участка — рекомендуемые интерфейсы, соответствующие Рекомендациям G.703 МСЭ-Т и F.556 МСЭ-Р для различных скоростей цифровой иерархии. Протяженность участков выбрана типичной для цифровых участков, встречающихся в реальных сетях, и достаточно большой, чтобы соответствовать реальным показателям качества цифровых радиосистем. Модель является однородной, то есть она не включает другого цифрового оборудования, такого как мультиплексоры и демультиплексоры. Это позволяет ей быть основой для построения гипотетического эталонного цифрового тракта (ГЭЦТ). В Рекомендации G.921 МСЭ-Т для ГЭЦУ предусмотрена протяженность 50 и 280 км [20].

### 4.1.2 Характеристики готовности и качества

МСЭ-Т не устанавливает характеристики готовности для ГЭС. Характеристики готовности для ГЭЦГ установлены в рекомендации 557 МСЭ-Р [18].

ГЭЦТ считается неготовой, если в течение 10 последовательных секунд возникли следующие условия или одно из них:

* передача цифрового сигнала прервана;
* в каждой секунде ВЕR хуже 10-3.

Неготовность аппаратуры уплотнения исключается. Ее характеристики будут установлены МСЭ-Т позже. Характеристики неготовности делятся на неготовность оборудования и неготовность, вызванную условиями распространения радиоволн. Величина этих долей определяется администрациями или проектировщиками линий, но большинство администраций приняло величину неготовности, вызванную дождем, между 30% - 50% .

### 4.1.3 Параметры и нормы па показатели качества по ошибкам согласно G.821

ГЭС, ГЭЦТ и ГЭЦУ служат основой для определения параметров качества по ошибкам и готовности [11, 22].

Рекомендация G.821 МСЭ-Т была разработана 15 лет назад; она была первой Рекомендацией, посвященной показателям качества по ошибкам для международного цифрового соединения. В ней определялись параметры и нормы на показатели качества по ошибкам для канала 64 кбит/с, а в Приложении D содержалась специальная процедура пересчета норм для того случая, если измерения проводились на скорости передачи битов в системе.

На рисунке 4.1 приведена конфигурация полностью цифрового ГЭС с показателями качества по ошибкам соединения по коммутируемому каналу 64 кбит/с и распределением показателей качества по элементам соединения.

Показатели качества по ошибкам должны оцениваться только тогда, когда соединение находится в состоянии готовности.

Параметры показателей качества по ошибкам получаются на основе следующих событий:

* Секунда с ошибками (ES): период в 1 секунду, в течение которого наблюдаются ошибки в одном или нескольких битах.
* Секунда, пораженная ошибками (SES): период в 1 секунду, в течение которого коэффициент ошибок по битам ≥ 1 х 10-3.

Параметрами являются:

* Коэффициент секунд с ошибками (ESR): отношение числа ES к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
* Коэффициент секунд, пораженных ошибками (SESR): отношение числа SES к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

В таблице 4.2 представлены показатели качества по ошибкам для международного соединения сети ЦСИС и его участков в соответствии с Рекомендацией G.821 МСЭ-Т и Рекомендациями F.594, F.634 и F.696 МСЭ-Р.

Таблица 4.2 - Показатели качества по ошибкам для международного соединения сети ЦСИС и его участков

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип участка | Показатели качества в соответствии с Рек. G.821 | | Показатели качества для ЦРРС | |
| ESR | SESR | ESR | SESR |
| Локальное качество (значение коэффициента усреднено по блокам) | 0,012 | 0,00015 | 0,012  Рек. F.697 МСЭ-Р | 0,00015  Рек. F.697 МСЭ-Р |
| Среднее качество (значение коэффициента усреднено по блокам) | 0,012 | 0,00015 | 0,012  Рек. F.696 МСЭ-Р | 0,0004  Рек. F.696 МСЭ-Р |
| Высокое качество  25 000 км,  2500км | 0,032  0,0032 | 0,0004  0,00004 | 0,0032  Рек. F.594,  F.634 МСЭ-Р | 0,00054  Рек. F.594,  F.634 МСЭ-Р |
| Международное соединение сети ЦСИС, 27 500 км | <0,08 | < 0,002  (0,001+0,001) |  |  |

Примечание 1. — К значениям SESR для участков среднего и высокого качества прибавляется поправочная величина 0,001 для учета возникающих время от времени неблагоприятных условий распространения сигнала в сети (имеется в виду худший месяц года). Ввиду случайного характера эффектов, возникающих в худший месяц года в соединениях, которые могут находиться в любой точке земного шара, принято следующее распределение общей поправочной величины SESR 0,001:

* 0,0005 SESR для ГЭЦТ протяженностью 2500 км радиорелейных систем при использовании в соединении на участке высокого качества;
* 0,0005 SESR для ГЭЦТ протяженностью 2500 км радиорелейных систем при использовании в соединении на участке среднего качества.

### 4.1.4 Параметры и нормы па показатели качества по ошибкам согласно G.826

Рекомендация G.826 МСЭ-Т применяется к международным трактам с постоянной скоростью передачи битов, равной или превышающей первичную скорость [23]. Эти тракты могут быть основаны на плезиохронной цифровой иерархии, синхронной цифровой иерархии или быть частью какой-либо другой передающей сети, например, сотовой. Рекомендация является общей в том смысле, что определяет параметры и нормы для трактов независимо от типа сети, частью которой эти тракты являются. Если соединение 64 кбит/с удовлетворяет требованиям этой Рекомендации, можно быть уверенным в том, что оно в большинстве случаев будет удовлетворять и требованиям, содержащимся в Рекомендации G.821 МСЭ-Т. Таким образом, Рекомендация G.826 является единственной Рекомендацией, необходимой для расчетов показателей качества по ошибкам при проектировании сетей с первичной скоростью передачи или выше.

Рекомендация G.826 МСЭ-Т составлена на основе измерения показателей качества по ошибкам в блоках. Блоком называется набор последовательно передаваемых по данному каналу битов; каждый бит принадлежит одному и только одному блоку. Последовательность битов может не быть непрерывной во времени.

В Рекомендации G.826 МСЭ-Т указываются нормы на показатели качества и готовности, которые сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Нормы на показатели качества и готовности в соответствии с рекомендацией G.826

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Участок ВСС России | Длина тракта, км | Показатель SESR, % | Коэффициент неготовности , % | Распределение доли SESR и для реальных линий связи |
| Международный участок | 12500 | 0.06 | 1.5 | Пропорционально для км |
| Магистральная сеть (национальный участок) | 2500 | 0.012 | 0.3 | Пропорционально для км |
| Внутризоновая сеть | 600 | 0.012 | 0.05 | Пропорционально для км;  Независимо от длины для км |
| 200 | 0.012 | 0.05 | Пропорционально для км |
| 50 | 0.003 | 0.0125 | Независимо от длины для км |
| Местная сеть | 100 | 0.01 | 0.05 | Независимо от длины для км |
| Сеть доступа | - | 0.015 | 0.05 | Независимо от длины |

Таким образом, в нашем случае будем рассчитывать коэффициент неготовности и количество значительно пораженных секунд SESR, используя нормы из таблицы 4.3.



## 4.2 Выбор методики расчета

В настоящее время существует достаточно большое количество методик расчета радиорелейных трасс. Выбор той или иной методики зависит, как правило, от следующих двух факторов:

1. доступности методики;
2. соответствие методики техническим требованиям на расчет радиорелейной линии.

Мной были найдены следующие методики:

* Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, Москва, 1987 г., 243 с.;
* Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1987.-192 с.;
* Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 1994г. 153с.;
* Справочник по цифровым радиорелейным системам, Международный союз электросвязи, Бюро радиосвязи, г. Женева, 1996 г.

Первые две методики не были взяты для проектирования по следующим причинам:

* методики были составлены в 1987 году и уже морально устарели;
* нет полного представления о методах расчета цифровых РРЛ, хотя относительно аналоговых РРЛ дается вполне достаточно информации;
* в большинстве случаев приводится слишком полный расчет, отсутствие моделей упрощённого расчёта;
* отсутствие экспериментальных данных.

Среди двух оставшихся наиболее приемлемая методика фирмы NERA NETWORKS AS, Норвегия. Автор - Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен. Работа довольно подробная, содержащая предварительную и детальную часть расчётов. Учитывает возможность проектирования во всех возможных частотных диапазонах, практически на любой аппаратуре. Последний из перечисленных документов нельзя полностью использовать в расчетах, поскольку, прежде всего, – это справочная литература, хотя некоторые расчеты приводятся достаточно подробно и обоснованно.

Среди частных методик можно выделить две, распространяемые в виде компьютерных вычислительных комплексов:

1. DRRL 4.0;
2. Territories фирмы «Золотая корона».

Обе эти методики используют фирмы, занимающиеся расчетами радиорелейных трасс. Кроме того, Territories имеет хорошую техническую поддержку в виде предоставления цифровых карт при расчете профиля трассы, а также более правильные расчеты в диапазоне меньше 1 ГГц и при передаче потока STM-1.

Таким образом, в качестве основной методики расчетов мной была выбрана методика фирмы NERA NETWORKS, как общедоступная и отвечающая критерию достоверности расчетов. В качестве дополнительной справочной информации было решено использовать Справочник по цифровым радиорелейным системам международного союза электросвязи.

# 5 Расчет качественных показателей радиорелейной линии

## 5.1 Основные положения

Расчет любой радиорелейной линии в первую очередь сводится к выбору трассы и места расположения станций проектируемой сети. Как правило, любой проект по строительству РРЛ подразумевает конкретные места расположения станций. В нашем случае все радиорелейные станции располагаются вблизи газопроводов (основная их задача – обеспечение технологической связи), а также, по возможности, как можно ближе к населенным пунктам и проходящим дорогам, что облегчает обслуживание РРЛ и подвод необходимых коммуникаций. Все внешнее оборудование размещается либо на существующих антенных башнях и опорах, либо на проектируемых. Внутренне оборудование располагается либо в уже существующих старых зданиях на месте демонтируемого оборудования системы «Трал 400/24», либо в специально устанавливаемых контейнерах типа «Север». Все мультиплексорное оборудование и внутренне оборудование радиорелейной связи, а также источники питания устанавливаются в проектируемые 19 дюймовые шкафы связи.

Общая протяженность ЦРРЛ составляет 275.48 км. Средняя длина интервала – 35,435 км. Минимальная длина интервала – 14,75 км. Максимальная длина интервала – 46,15 км. Большая часть площадок проектируемой ЦРРЛ совпадают со станциями существующей РРЛ «Трал-400/24» Нижневартовск – Парабель – Томск. Размещение новых станций будет произведено рядом с н.п. Тунгусово и н.п. Кривошеино, ввиду производственной необходимости ООО «Томсктрансгаз». Нумерация радиорелейных станций ведется от п. Чажемто до г. Томска.

Стоит отметить, что в случае превышения норм на качественные параметры связи РРЛ, применяют следующие технические решения:

1. поднимают антенны станций на большую высоту, что сопряжено с рядом трудностей: как с ограниченностью самой башни (мачты), так и возможной сложной э/м обстановкой с уже имеющимся оборудованием;
2. выбор другого места положения радиорелейной станции;
3. применение другого оборудования (более чувствительный приемник, более мощный передатчик, антенны с большим диаметром);
4. еще один очень часто используемый способ – применение разнесенного приема, который бывает двух видов – пространственный (разнос антенн) и частотный (передача на двух частотах), также может использоваться комбинация этих методов. Частотный метод в терминологии радиорелейной связи более известен как метод выбора «систем резервирования». Поскольку систем резервирования известно несколько, а не все радиорелейное оборудование поддерживает все из них, то наша задача также будет заключаться в выборе наиболее оптимального из этих способов для применения в нашем случае.

Для работы при различных условиях эксплуатации и окружающей среды все активное оборудование может быть использовано в одном из перечисленных ниже режимах:

* 1 + 0 – передача радиосигнала без резервирования;
* 1 + 1 горячий резерв – передача радиосигнала с полным резервированием оборудования.
* 1 + 1 резервирование линии – передача STM – 1 канала через основной и резервный радиоканал, используя два номинала частот с помощью одной антенны.

 Режим «горячего резервирования» 1 + 1 представляет собой резервирование оборудования, при котором передается один STM – 1 поток с использованием одного радиочастотного канала. При выходе из строя оборудования, система автоматически переключается на резервный комплект. При этом время переключение настолько мало, что такое пропадание сигнала не превышает нормы по качественным показателям радиорелейной линии, а на практике составляет менее 10 нс. При горячем резервировании необходимо наличие двух комплектов ППУ, которые работают на одну антенну (рисунок 5.1). Существуют еще два режима резервирования «теплый» и «холодный», их основное отличие от «горячего» заключается во времени переключения на резервный канал. При этом, при «холодном» и «теплом» резервировании можно работать на той же частоте, что и основной канал. Как правило, в последнее время производители современного радиорелейного оборудования стараются использовать только «горячий», и лишь в редких случаях - «теплый».

В некоторых случаях обеспечивают постоянную передачу одной и той же информации по двум независимым каналам, при этом каждый канал имеет свое ППУ и свою антенну. Устройство на приеме производит сравнение сигналов, поступающих на вход приемников и, в зависимости от уровня сигнала, выбирает наилучший. Такой способ позволяет свести потерю информации в связи с замираниями сигнала в атмосфере на нет, но за это надо платить как большим занимаемым частотным ресурсом, так и большей стоимостью оборудования.

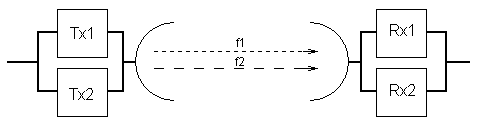


Рисунок 5.1 - Принцип частотного разнесения каналов

## 5.2 Исходные данные для расчетов

Трасса проектируемой ЦРРЛ проходит по климатической зоне Западно-Сибирской низменности через Томский, Шегарский, Кожевниковский, Кривошеинский, Молчановский и Колпашевский район Томской области.

Величина интенсивности дождей составляет 70 мм/ч.

Параметром аппаратуры цифровых РРЛ, характеризующим помехоустойчивость является пороговый уровень сигнала на входе приемника , при котором обеспечивается максимальная нормируемая величина коэффициента ошибок (BER). Результаты каждого пролета трассы производились при помощи двух методов. Как основной метод расчета использовалась методика фирмы Nera, для проверки результатов была использована специализированная программа Territories. Нормы на показатели качества приняты как для внутризоновых сетей.



Для расчета статистики глубины сравнительно медленных рефракционных замираний с учетом нелинейного изменения диэлектрической проницаемости воздуха замирания  с высотой, вводится понятие эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха . Под величиной  понимают постоянный по высоте градиент  , при котором напряженность поля в точке приема будет такой же, как и в случае реального изменения  на трассе. Климатический район проектирования ЦРРЛ характеризуется средним значением градиента диэлектрической проницаемости воздуха и дисперсией диэлектрической проницаемости воздуха . Рабочая частота аппаратуры составляет .



## 5.3 Расчет качественных показателей пролетов ЦРРЛ

### 5.3.1 Основные положения

В качестве качественных показателей пролета любой радиорелейной линии используют два параметра, которые мы и будем рассчитывать:

1. Коэффициент неготовности;
2. Коэффициент секунд со значительным количеством ошибок.

Коэффициент неготовности линии складывается из следующих величин.



, (5.1)



где - общая вероятность нарушения радиосвязи, вызванная многолучевым замиранием;



- вероятность нарушения радиосвязи, вызванная дождем;



- вероятность нарушения радиосвязи, вызванная отказом оборудования.



Прежде, чем приступать к расчету вероятностей нарушения связи, разберемся с таким понятием, как запас на замирание.

### 5.3.2 Расчет необходимого запаса на замирание

Атмосферные возмущения оказывают влияние на условия передачи на радиорелейных линиях прямой видимости. Уровень принимаемого сигнала изменяется во времени и характеристики системы определяются вероятностью того, что уровень сигнала упадёт ниже порогового значения, или спектр принимаемого сигнала будет сильно искажён [3,11].

Рассмотрим упрощенную структурную схему интервала радиолинии и соответствующую диаграмму уровней сигнала (рисунок 5.2). Очевидно, что качество работы линии связи, определяется уровнем сигнала на входе приемника и возможными отклонениями этого уровня при замираниях.

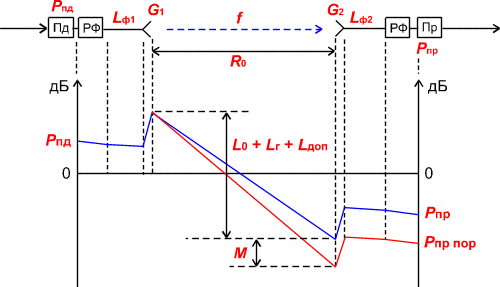


Рисунок 5.2 – Диаграмма уровней сигнала на пролете РРЛ

На диаграмме уровней видно, что сигнал излучается передатчиком с уровнем , проходит через разделительный фильтр (РФ), в котором уровень упадет за счет внутренних потерь и поступает через фидерную линию в передающую антенну с коэффициентом усиления . За счет потерь в фидерной линии уровень сигнала еще уменьшиться, а в передающей антенне увеличится на величину .



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



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



Запас на замирания является разницей между уровнем сигнала на входе приемника и его пороговым значением , которое определяется из параметров конкретной аппаратуры цифровых РРЛ для заданной величины (или ).



Уровень сигнала на входе приемника можно определить по следующей формуле:

, (5.2)



где уровень мощности передатчика, дБм;



коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;



ослабление сигнала в фидерных линиях (Ф1, Ф2), дБ;



При отсутствии фидера (когда приемопередатчики объединены с антенной в виде моноблока) необходимо учитывать конструктивные особенности устройства объединения, как правило, в этих случаях потери в фидерах можно принять равными 0 дБ. При больших диаметрах антенн соединение проводится коротким отрезком гибкого волновода, потери в котором ;



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



дополнительные потери, складывающие из потерь в антенных обтекателях и потерь от перепада высот приемной и передающем антенн



();



ослабление радио волн при распространении в свободном пространстве рассчитывается по следующей формуле:



, (5.3)



где протяженность интервала РРЛ, км;



рабочая частота, ГГц.



атмосферные потери (потери в газах) рассчитываются по формуле:



, (5.4)



где и погонные затухания в водяных парах и атомах кислорода атмосферы, рассчитываемые следующим образом.



### 5.3.3 Расчет атмосферных потерь

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 [4,18].

Погонные потери в атомах кислорода (дБ/км):

, (5.5)



где рабочая частота, ГГц.



Эта формула справедлива для рабочих частот ниже 57 ГГц, при нормальном атмосферном давлении и при температуре воздуха +15 градусов С.

Погонные потери в водяных парах (дБ/км):

(5.6)



где концентрация водяных паров в атмосфере, г/м3 (обычно ).



Суммарные погонные потери (дБ/км) при температуре, отличной от 15 градусов С:

, (5.7)



где t - температура воздуха в градусах С.

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

, (5.8)



где минимально-допустимый уровень мощности сигнала на входе приемника (чувствительность приемника).



### 5.3.4 Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Метеорологические условия в пространстве, разделяющем передатчик и приёмник, могут иногда оказывать вредное воздействие на принимаемый сигнал. Лучи, которые обычно затухают в тропосфере, могут преломляться и попадать в приёмную антенну и в приёмник, где они суммируются с полезным сигналом. Амплитудно-фазовые соотношения между этими сигналами определяют результирующий сигнал на выходе приёмника.

При этом возникают два эффекта, влияющих на качество передачи сигналов. В одних случаях все компоненты полезного сигнала уменьшаются в равной степени. Это так называемые «плоские» замирания [8].

В других случаях подавляются только некоторые компоненты спектра, вызывая его искажения. Это так называемые «селективные» замирания. Эти два эффекта проявляются раздельно.

Плоские замирания

В отчёте 338-6 МСЭ-Р и в рекомендации 530 даются два различных метода для расчёта вероятности появления замираний для худшего месяца. Эти методы называются метод 1 и метод 2. Метод 1 используется для проектирования на начальном этапе, метод 2 - для более детального проектирования. Несмотря на то, что профиль нам известен, для пролёта Чажемто -Леботер проведём расчёт первым методом.

Измерения проведённые в различных частях мира (отчёт 336-8 МСЭ-Р и рекомендация 530), показали, что вероятность снижения уровня принимаемого сигнала на по сравнению с уровнем сигнала в свободном пространстве (вероятность нарушения связи), равна [8]:



%, (5.9)



где – запас на замирание, дБм;



– вероятность появления замирания, %, которая находится по следующей формуле:



, % (5.10)



где – наклон пролёта (миллирадиан):



мрад, (5.11)



где – абсолютные высоты подвеса антенн, м;



– геоклиматический коэффициент, его можно оценить по данным замираний для среднего худшего месяца.



При отсутствии таких данных можно использовать следующие эмпирические соотношения для сухопутных трасс:

(5.12)



где PL – это процент времени, в течении которого средний коэффициент преломления в самых нижних 100 м атмосферы меньше, чем – 100 N/км. В методике Nera приведены значения PL для четырёх различных месяцев. Выбирается месяц, имеющий наибольшее значение PL. По рисункам в находим значение PL = 5. М=10-0,2 этот коэффициент используется при сильно изрезанных профилях пролётов, когда не имеет смысла определять среднее значение угла касания. В нашем случае М=1.

Селективные замирания

Характеристики радиорелейных линий прямой видимости могут быть серьёзно ухудшены селективными замираниями из-за амплитудных и фазовых искажений в полосе сигнала. Эти многолучевые (или селективные) замирания могут появиться в результате отражений от поверхности или аномалий в атмосфере, например, большого градиента в атмосферном волноводе [8].

При неизменной во времени горизонтально расслоенной атмосфере вертикальный градиент преломления в атмосфере вызывает появление нескольких лучей распространения между передатчиком и приёмником на линии прямой видимости, как показано на рисунке 5.3. Но это лишь упрощенная модель, на самом деле в приемник приходит множество отраженных сигналов на один переданный.



Рисунок 5.3 - Упрощённая двулучевая модель селективных замираний

Если через обозначить относительное время задержки между двумя путями распространения радиоволн, то относительная фаза между двумя сигналами будет равна , являясь функцией частоты . Т.е. амплитуда и фаза принятого сигнала изменяется с частотой. Такое изменение сигнала на радиолинии в зависимости от частоты называется селективным замиранием.



Влияние селективного замирания на цифровую радиорелейную линию можно кратко описать следующим образом [18]:

* уменьшается отношение сигнал/шум и, следовательно, увеличивается вероятность ошибки (BER);
* искажается форма импульса, увеличивая межсимвольную интерференцию и вероятность ошибки;
* увеличиваются взаимные помехи между ортогональными несущими, потоками I и Q и, следовательно, увеличивается BER.

Имеется целый ряд различных методов прогноза нарушений связи, вызванных селективными замираниями. Фирма “Nera” выбрала использование метода сигнатур, описанных в отчёте 784-3 МСЭ-Р.

Этот метод достаточно хорошо согласуется с результатами измерений и ясно показывает способность радиоаппаратуры противостоять селективным замираниям.

Вероятность появления селективного замирания равна:

%, (5.13)



Где – коэффициент сигнатуры оборудования;



– типовое значение задержки отражённого сигнала на пролёте, нс, определяется по следующей формуле:



– время задержки отражённого сигнала во время измерения кривых сигнатуры; 6,3 нс;



– коэффициент активности замирания, находится по следующей формуле:



(5.14)



Общая вероятность нарушения радиосвязи, вызванная многолучевым замиранием, равна сумме вероятностей нарушений, вызванных плоским и селективным замиранием:

%, (5.15)



В методике Nera нет детального расчета параметра SESR. Его значение будем брать из программы Territories. Упрощенно этот расчет можно отобразить следующей формулой:

(5.16)



где процент времени, в течение которого величина коэффициента ошибок на



выходе ЦРРЛ превосходит максимально допустимый коэффициент ошибок из-

за многолучевых (интерференционных) замираний на интервале;

процент времени, в течение которого величина коэффициента ошибок на



выходе цифровой РРЛ превосходит максимально допустимый коэффициент

ошибок из-за субрефракционных замираний, происходящих по причине экрани-

рующего влияния препятствий при субрефракции;

коэффициент интерференции (обычно);



коэффициент готовности в условиях интерференционных замираний;



коэффициент готовности в условиях субрефракционных замираний.



### 5.3.4 Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Передача СВЧ-сигнала подвержена влиянию осадков. Дождь, снег, частички льда и град ослабляют и рассеивают СВЧ-сигнал, что определяет готовность системы с точки зрения качества передачи. Энергия ослабляется из-за переизлучения (рассеяние) и поглощения (нагревания).

Так как радиоволны представляют собой переменное во времени электромагнитное поле, оно наводит в дождевой капле дипольный момент. Диполь дождевой капли изменяется во времени так же, как и радиоволна и поэтому действует как антенна, переизлучающая энергию. Дождевая капля представляет собой антенну с очень небольшой направленностью и какая-то доля энергии переизлучается по различным направлениям, что приводит к частым потерям энергии. Когда длинна волны меньше размера дождевых капель, большая часть энергии уходит на нагревание капель. Напряжённость поля радиоволны сильно меняется из-за наведения дипольного момента [18].

Увеличение дождевых капель приводит к изменению их формы, они приобретают форму отличную от сферической. Это отклонение от сферической формы вызывает их растяжение в горизонтальном направлении. Следовательно, капли будут ослаблять горизонтально поляризованную волну больше, чем вертикально поляризованную. Это значит, что вертикальная поляризация предпочтительней на высоких частотах, где доминирует «простой» радиолинии, вызванный дождём.

Поскольку дождь имеет тенденцию идти зарядами (особенно дожди с высокой скоростью), только часть пролёта радиолинии будет подвержена влиянию дождя.

Эффективная длина пролёта, содержащего дождевые заряды, определяется выражением:

км, (5.17)



где – интенсивность дождя (значение было приведено в исходных данных, выбирается в зависимости от региона).



Затухание на пролёте, вызванное дождём, может быть найдено по формуле:

(5.18)



где k = 0.00454, α = 1.327 – коэффициенты регрессии для данного частотного диапазона, как функции частоты и поляризации (взяты из методики фирмы Nera). Расчёт неготовности, вызванной дождём, будет вестись для горизонтальной поляризации, т.к. в этом случае затухание в осадках электромагнитной волны выше.

Неготовность, вызванная дождём, может быть найдена по формуле:

(5.19)



Чтобы избежать мнимых значений, необходимо использовать округленное значение , если .



### 5.3.5 Учет рефракции радиоволн

Рефракцией называется искривление траектории волн, обусловленное неоднородным строением тропосферы. Коэффициент преломления в тропосфере

, (5.20)



где относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, которая находится:



, (5.21)



где – температура воздуха по абсолютной шкале;



общее давление воздуха, ГПа (1Гпа = 1мбар);



давление водяного пара, Гпа;



Коэффициент преломления, также как и, в интересующем нас диапазоне частот по величине близок к единице, поэтому чаще пользуются коэффициентом преломления выраженном в «N–единицах»:



, (5.22)



Так как являются функциями высоты, N также является функцией высоты. Для нормальной атмосферы (стандартной, хорошо смешанной) изменение N с высотой определяется выражением:



, (5.23)



где высота над поверхностью Земли, км.



Под величиной понимают такое значение радиуса Земли, при котором траекторию радиоволн можно считать прямолинейной.



, (5.24)



Для определения кривизны луча на практике используется понятие коэффициента рефракции:

, (5.25)



Для нормальной атмосферы . Соответствующее значение К по формуле 5.25 равно:



Это значение и будем использовать при моделировании распространения радиоволн в дальнейших расчетах.

## 5.4 Пролет Чажемто – Леботер

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.1, основные параметры аппаратуры взяты из приложения А. Расчет произведен в программе MathCad 2001 Professional.

Таблица 5.1 – Исходные данные пролета Чажемто - Леботер

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Чажемто: РРС-1 | Леботер: РРС-2 |
| Координаты |  | 58o03'92”c.ш.  82o50’40”в.д. | 57o52'58”c.ш.  83o08’16”в.д. |
| Тип станции |  | оконечная | промежуточная |
| Нулевой относительный уровень |  | 80 | 81 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | проект. башня | существ. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 87 | 86.95 |
| Высота подвеса основной антенны: |  | 82 | 85 |
| Диаметр основной антенны, м |  | 2.4 | 2.4 |
| Коэффициент усиления основной антенны |  | 43.6 | 43.6 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 29.4 | |
| Тип местности |  | Сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 13.5 и 15.5 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-1 – РРС-2. Данный профиль, как и все последующие, составлен при помощи контурных карт Томской области, электронных карт, а также данных, предоставленных ООО «Томсктрансгаз».



Рисунок 5.4 – Профиль пролета Чажемто-Леботер

Расчет атмосферных потерь по п.5.3.3:

Погонные потери в атомах кислорода составляют (формула 5.5) при :



.



Погонные потери в водяных парах (формула 5.6):



Найдем суммарные потери при температуре, отличной от 15 градусов С в худшем случае (при ) по формуле 5.7:



(5.26а)



Суммарные атмосферные потери с учетом длительности интервала составят (формула 5.4):

(5.26б)



Расчет запаса на замирание:

С учетом таблицы 5.1 и параметров аппаратуры фирмы «Микран» имеем:

;



;



- в связи с расположением ВЧ-блока рядом с антенной;



- среднее значение от возможного;



.



Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве составляет (формула 5.3):



Найдем уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания находим по формуле 5.8, с учетом чувствительности приемника фирмы «Микран» равной :



(5.26в)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний, но перед этим определим:

* геоклиматический коэффициент находим по формуле 5.12:

, %.



* с учетом исходных данных таблицы 5.1 находим наклон пролета (5.11):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Теперь найдем значение вероятности плоских замираний по формуле 5.9:

. (5.26г)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс.



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.26д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.26е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете, используя формулу 5.18



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.26ж)



Найдем коэффициент неготовности линии по формуле 5.1, с использованием формул 5.26е и 5.26ж:



а норма -



Согласно Рекомендации МСЭ-Т G.821 события SES регистрируются при .



По рекомендации G.826 одним из условий регистрации события SES является

наличие более 30% блоков с ошибками. Расчет в программе Territories дает следующее значение SESR:



При условии, что норма составляет 0.003 для внутризоновой сети протяженностью 50 км и менее. Таким образом, никакое разнесение не требуется.

## 5.5 Пролет Леботер-Тунгусово

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные пролета Леботер-Тунгусово

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Леботер: РРС-2 | Тунгусово: РРС-3 |
| Координаты |  | 57o52'58”c.ш.  83o08’16”в.д. | 57o37'10”c.ш.  83o29’40”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 81 | 107 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | существ. башня | проект. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 86.95 | 80.1 |
| Высота подвеса основной антенны: |  | 80 | 80 |
| Диаметр основной антенны, м |  | 1.8 | 1.8 |
| Коэффициент усиления антенны |  | 40 | 40 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 32.6 | |
| Тип местности |  | Сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 15 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-2 – РРС-3.



Рисунок 5.5 – Профиль пролета Леботер-Тунгусово

Расчет атмосферных потерь по п.5.3.3:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.20а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.27а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания находим по формуле 5.8, с учетом чувствительности приемника фирмы «Микран» равной



(5.27б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %.



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.27в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс.



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.27д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.27е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.27ж)



,а



при



Таким образом, никакое разнесение не требуется.

## 5.6 Пролет Тунгусово-Кривошеино

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Исходные данные пролета Тунгусово-Кривошеино

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Тунгусово: РРС-3 | Кривошеино: РРС-4 |
| Координаты |  | 57o37'10”c.ш.  83o29’40”в.д. | 57o20'25”c.ш.  83o53’20”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 107 | 111 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | проект. башня | проект. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 80.1 | 80.1 |
| Высота подвеса антенны: |  | 70 | 70 |
| Диаметр антенны, м |  | 2.4 | 2.4 |
| Коэффициент усиления антенны |  | 43.6 | 43.6 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 38.73 | |
| Тип местности |  | Сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 18,5 и | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-3 – РРС-4.

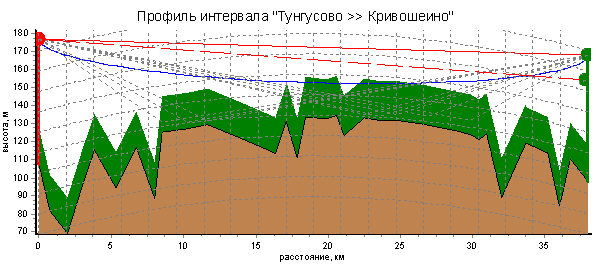


Рисунок 5.6 – Профиль пролета Тунгусово-Кривошеино

Расчет атмосферных потерь по п.5.3.3:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.28а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания находим по формуле 5.8, с учетом чувствительности приемника фирмы «Микран» равной

:



(5.28б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %.



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.28в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс.



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.28д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.28е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете

.



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.28ж)



,а



Согласно Рекомендации МСЭ-Т G.821 события SES регистрируются при .



По рекомендации G.826 одним из условий регистрации события SES является наличие более 30% блоков с ошибками. Расчет в программе Territories дает следующее значение SESR:

, при



Поскольку рассчитанный SESR превышает норму почти в 6 раз, то будем использовать пространственное разнесение.

На обеих станциях установим дополнительные антенны с коэффициентом усиления . Разнесем их от основных антенн на 10 м (между центрами раскрыва) ближе к основанию мачты. Выигрыш от пространственного разнесения по методике Nera можно выразить следующей формулой:



(5.29)



где частота, ГГц;



вероятность появления замирания;



усиление двух пространственно разнесенных антенн, дБ;



максимальный разнос (расстояние между центрами) приемных антенн, м.



В нашем случае разносим антенны на 10 м, а диаметр оставляет таким же, как и у основных антенн. В соответствии с формулой 5.29 определяем коэффициент выигрыша:



Таким образом

, что не превышает норму.



Применение пространственного разнесения оказывается достаточным для соблюдения качественных показателей системы.

## 5.7 Пролет Кривошеино-Володино

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.4, основные параметры аппаратуры взяты из приложения А.

Таблица 5.4 – Исходные данные пролета Кривошеино-Володино

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Кривошеино:  РРС-4 | Володино:  РРС-5 |
| Координаты |  | 57o20'25”c.ш.  83o53’20”в.д. | 57o07'24”c.ш.  83o56’71”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 111 | 105 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | проект. башня | проект. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 80.1 | 80.1 |
| Высота подвеса антенны: |  | 60 | 52 |
| Диаметр антенны, м |  | 2.4 | 2.4 |
| Коэффициент усиления антенны |  | 43.6 | 43.6 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 29.7 | |
| Тип местности |  | сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 9, 13.5 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-4 – РРС-5.



Рисунок 5.7 – Профиль пролета Кривошеино-Володино

Расчет атмосферных потерь:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.30а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания:

(5.30б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %.



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.30в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс.



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.30д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.30е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете

.



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.30ж)



,а



, при



Таким образом, никакое разнесение не требуется.

## 5.8 Пролет Володино-Вознесенка

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные пролета Володино-Вознесенка

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Володино:  РРС-5 | Вознесенка:  РРС-6 |
| Координаты |  | 57o07'24”c.ш.  83o56’71”в.д. | 56o43'05”c.ш.  83o56’76”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 105 | 111 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | проект. башня | проект. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 80.1 | 80.1 |
| Высота подвеса основной антенны: |  | 78 | 78 |
| Диаметр основной антенны, м |  | 2.4 | 2.4 |
| Коэффициент усиления основной антенны |  | 43.6 | 43.6 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 42.5 | |
| Тип местности |  | сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 22, 29 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-5 – РРС-6.

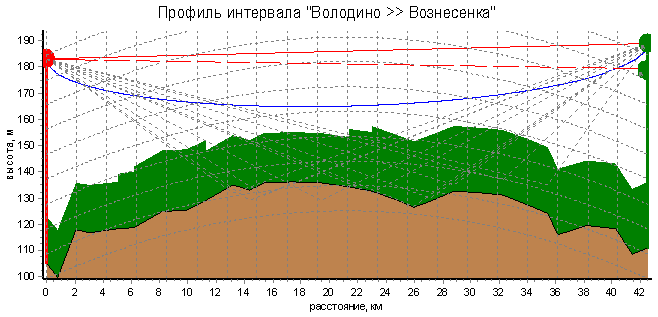


Рисунок 5.8 – Профиль пролета Володино-Вознесенка

Расчет атмосферных потерь:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.31а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания:

(5.31б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %.



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.31в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.31д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.31е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.31ж)



,а



, при



Поскольку рассчитанный SESR превышает норму почти в 17 раз, то будем использовать пространственное разнесение.

На обеих станциях установим дополнительные антенны с коэффициентом усиления . Разнесем их от основных антенн на 10 м (между центрами раскрыва) ближе к основанию мачты. Выигрыш от пространственного разнесения по методике Nera определяется уже известной формулой 5.29:



Таким образом

, что не превышает норму



Применение пространственного разнесения оказывается достаточным для соблюдения норм на качественные показатели системы.

## 5.8 Пролет Вознесенка-Киреевск

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Исходные данные пролета Вознесенка-Киреевск

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Вознесенка:  РРС-6 | Киреевск:  РРС-7 |
| Координаты |  | 56o43'05”c.ш.  83o56’76”в.д. | 56o21'67”c.ш.  84o05’32”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 111 | 160 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | проект. башня | существ. мачта |
| Высота мачты (башни), м |  | 80.1 | 127.5 |
| Высота подвеса основной антенны: |  | 60 | 40 |
| Диаметр основной антенны, м |  | 1.8 | 1.8 |
| Коэффициент усиления основной антенны |  | 40 | 40 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 41.65 | |
| Тип местности |  | сухопутная, слабопересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 11, 23 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-6 – РРС-7



Рисунок 5.9 – Профиль пролета Вознесенка-Киреевск

Расчет атмосферных потерь:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.32а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания:

(5.32б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:

.



Вероятность плоских замираний:

. (5.32в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.32д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.32е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.32ж)



,а



, при



с учетом погрешности расчетов количество SES находится в пределах нормы. Таким образом, никакое разнесение не требуется.

## 

## 5.9 Пролет Киреевск-Кисловка

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Исходные данные пролета Киреевск-Кисловка

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Киреевск:  РРС-7 | Кисловка:  РРС-8 |
| Координаты |  | 56o21'67”c.ш.  84o05’32”в.д. | 56o23'50”c.ш.  84o49’90”в.д. |
| Нулевой относительный уровень |  | 160 | 102 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | существ. башня | существ. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 127.5 | 80.1 |
| Высота подвеса основной антенны: |  | 105 | 75 |
| Диаметр основной антенны, м |  | 1.8 | 1.8 |
| Коэффициент усиления основной антенны |  | 40 | 40 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 46.15 | |
| Тип местности |  | Сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 20 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-7 – РРС-8

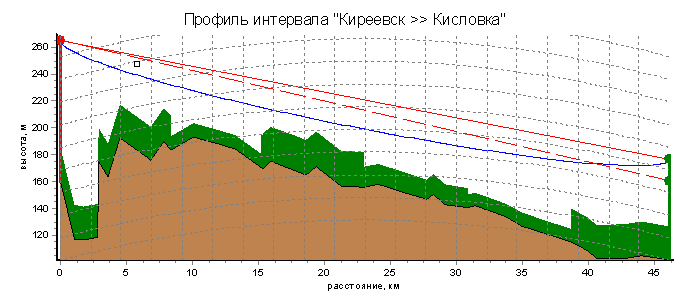


Рисунок 5.10 – Профиль пролета Киреевск-Кисловка

Расчет атмосферных потерь:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.33а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания:

(5.33б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.33в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс.



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.33д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.33е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.33ж)



при



, при



Поскольку рассчитанный SESR превышает норму, то будем использовать пространственное разнесение.

На обеих станциях установим дополнительные антенны с коэффициентом усиления . Разнесем их от основных антенн на 10 м (между центрами раскрыва) ближе к основанию мачты. Выигрыш от пространственного разнесения по методике Nera определяется уже известной формулой 5.29:



Таким образом

, что не превышает норму.



Применение пространственного разнесения оказывается достаточным для соблюдения норм на качественные показатели системы.

## 5.10 Пролет Кисловка-Томск

Исходные данные этого пролета представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Исходные данные пролета Кисловка-Томск

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры станции | Обозначение | Кисловка:  РРС-8 | Томск:  РРС-9 |
| Координаты |  | 56o23'50”c.ш.  84o49’90”в.д. | 56о30’00”c.ш.  85o00’31”в.д. |
| Тип станции |  | промежуточная | оконечная |
| Нулевой относительный уровень |  | 102 | 128 |
| Наличие опоры для подвеса антенн |  | сущест. башня | проект. башня |
| Высота мачты (башни), м |  | 80.1 | 80.1 |
| Высота подвеса антенны: |  | 60 | 50 |
| Диаметр антенны, м |  | 1.8 | 1.8 |
| Коэффициент усиления антенны |  | 40 | 40 |
| Данные пролета: |  | | |
| Прямой азимут |  |  | |
| Обратный азимут |  |  | |
| Длина пролёта, км |  | 14.75 | |
| Тип местности |  | Сухопутная, пересеченная | |
| Возможные точки отражения |  | 2 км | |

Ниже представлен профиль пролета РРС-8 – РРС-9.



Рисунок 5.11 – Профиль пролета Кисловка-Томск

Расчет атмосферных потерь:

Суммарные удельные атмосферные потери возьмем из формулы 5.26а и найдем потери в атмосфере с учетом длительности пролета:

(5.34а)



Расчет запаса на замирание:

Ослабление радиоволн при распространении в свободном пространстве:



Уровень сигнала на входе приемника по формуле 5.2:



Необходимый запас на замирания:

(5.34б)



Расчет вероятности нарушения связи из-за многолучевого распространения

Плоские замирания

Найдем вероятность появления плоских замираний.

* геоклиматический коэффициент:

, %



* наклон пролета (таблица 5.2):



Подставим полученные значения в формулу 5.10:



Вероятность плоских замираний:

. (5.34в)



Селективные замирания

Найдем коэффициент активности замирания по формуле 5.14:



Типовое время задержки отражённого сигнала на пролёте:

нс



Подставим полученные значения в формулу (5.13) для расчета вероятности селективного замирания:

(5.34д)



С помощью формулы 5.15 находим общую вероятность нарушения связи из-за многолучевого распространения:

(5.34е)



Расчет вероятности нарушения связи, вызванного дождем

Определим эффективную длину пролета по формуле 5.17:



Определяем затухание на пролете



Таким образом, неготовность, вызванная дождем, составляет (формула 5.19):

(5.34ж)



при



при условии, что норма составляет 0.003 для внутризоновой сети протяженностью 50 км и менее. Таким образом, никакое разнесение не требуется.

## 5.11 Результаты расчетов

Проведенные расчеты по методике Nera, а также при помощи программы Territories в приближенном сравнении совпадают, что доказывает возможность использования рассмотренной методики при расчетах реальных трасс. Ниже в таблице представлены рассчитанные качественные показатели всех пролетов проектируемой РРЛ.

Таблица 5.9 –Качественные показатели пролетов РРЛ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование пролета |  |  |  |  |  |
| Чажемто-Леботер |  |  |  |  | - |
| Леботер-Тунгусово |  |  |  |  | - |
| Тунгусово-Кривошеино |  |  |  |  |  |
| Кривошеино-Володино |  |  |  |  | - |
| Володино-Вознесенка |  |  |  |  |  |
| Вознесенка-Киреевск |  |  |  |  | - |
| Киреевск-Кисловка |  |  |  |  |  |
| Кисловка-Томск |  |  |  |  | - |

Эта таблица, а также некоторые дополнительные параметры представлены на демонстрационном материале.

# 6 Расчет санитарно-защитных зон (СЗЗ)

При проектировании любой беспроводной системы передачи необходимо для каждого источника ЭМИ рассчитать санитарно-защитную зону и зону ограничения застройки (ЗОЗ), исходя из вредного воздействия ЭМИ при превышении нормы на биологические организмы.

В целях защиты рабочего персонала от воздействия ЭМИ РЧ, создаваемых передающими радиотехническими объектами (ПРТО), устанавливаются санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки. Санитарно-защитной зоной (СЗЗ) является площадь, примыкающая к территории ПРТО. Внешняя граница СЗЗ определяется на высоте 2 м от поверхности земли. Зоной ограничения застройки (ЗОЗ) является территория, где на высоте более двух метров от поверхности земли интенсивность ЭМИ РЧ превышает предельно-допустимый уровень (ПДУ).

Нормы на уровень электромагнитного излучения определяются научно-исследовательскими методами и представлены в своде норм и правил, объединенных общим названием. Мы будем пользоваться СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, некоторые его нормы рассмотрены в пункте 8.5. Предельно допустимые уровни (ПДУ) э/м излучения РЭС составляют 10мкВт/см2.

Рассчитаем СЗЗ и ЗОЗ для двух антенн:

1. в Томске;
2. в Кисловке.

Высоты точек излучения и технические характеристики антенны указаны в паспорте ПРТО, представленном ниже в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Основные сведения о передающих средствах

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип передатчика | Диапазон, МГц | Тип модуляции | Мощность, Вт \* | Кол-во перед. | Потери в АФТ, дБи | Антенна | | | | | | ПДУ |
| Тип | Усил, дБи | Поляриз. | Высота, м | Азимут | Угол места |
|  | Томск | 7455 | QAM-128 | 0.13 | 1 | 0 | Параболическая | 40 | гориз | 50 | 221° | 0° | 10 мкВт/см2 |
|  | Кисловка | 7455 | QAM-128 | 0.13 | 1 | 0 | Параболическая | 40 | гориз | 60 | 41° | 0° | 10 мкВт/см2 |

Ниже представлены расчеты распределения плотности потока излучения э/м поля для обоих источников.

## 6.1 Расчет СЗС в Томске

Высота исследуемого участка: 2 м.

Азимут исследования: 221° 99‘

0.00010

0.000093

0.000082

0.000072

0.000062

0.000051

0.000041

0.000031

0.000021

0.000010

0

0.0

5.0

10.0

15.0

20.0

25.0

30.0

35.0

40.0

45.0

50.0

55.0

60.0

65.0

70.0

75.0

80.0

85.0

90.0

95.0

100.0

r, м

ППЭ, мкВт/см2

Рисунок 6.1 – График распределения плотности потока излучения э/м поля

Как видно из рисунка 6.1 и ниже представленной таблице интенсивность плотности потока э/м поля на людей не превышает нормы.

Таблица 6.1 - Распределение электромагнитного поля для одного источника ЭМИ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | r, м | Rm, м | θm, град. | Rгр, м | β, град. | Um | Xm | ППЭ, мкВт/см2 |
| 1 | 0 | 48 | 90 | 161.028 | 90 | 140.5234 | 0.29808 | 0.000098 |
| 2 | 5 | 48.26 | 84.053 | 161.028 | 90 | 139.7672 | 0.2997 | 0.000097 |
| 3 | 10 | 49.031 | 78.232 | 161.028 | 90 | 137.5698 | 0.30448 | 0.000094 |
| 4 | 15 | 50.289 | 72.646 | 161.028 | 90 | 134.127 | 0.3123 | 0.000090 |
| 5 | 20 | 52 | 67.38 | 161.028 | 90 | 129.7141 | 0.32293 | 0.000085 |
| 6 | 25 | 54.12 | 62.488 | 161.028 | 90 | 124.6324 | 0.33609 | 0.000079 |
| 7 | 30 | 56.604 | 57.995 | 161.028 | 90 | 119.1639 | 0.35152 | 0.000073 |
| 8 | 35 | 59.405 | 53.902 | 161.028 | 90 | 113.5443 | 0.36891 | 0.000066 |
| 9 | 40 | 62.482 | 50.195 | 161.028 | 90 | 107.9534 | 0.38802 | 0.000060 |
| 10 | 45 | 65.795 | 46.848 | 161.028 | 90 | 102.5174 | 0.40859 | 0.000054 |
| 11 | 50 | 69.311 | 43.831 | 161.028 | 90 | 97.31731 | 0.43043 | 0.000051 |
| 12 | 55 | 73 | 41.112 | 161.028 | 90 | 92.39936 | 0.45334 | 0.000049 |
| 13 | 60 | 76.837 | 38.66 | 161.028 | 90 | 87.7847 | 0.47717 | 0.000045 |
| 14 | 65 | 80.802 | 36.445 | 161.028 | 90 | 83.47739 | 0.50179 | 0.000040 |
| 15 | 70 | 84.876 | 34.439 | 161.028 | 90 | 79.47041 | 0.52709 | 0.000036 |
| 16 | 75 | 89.045 | 32.619 | 161.028 | 90 | 75.7501 | 0.55298 | 0.000032 |
| 17 | 80 | 93.295 | 30.964 | 161.028 | 90 | 72.29913 | 0.57937 | 0.000030 |
| 18 | 85 | 97.617 | 29.454 | 161.028 | 90 | 69.09859 | 0.60621 | 0.000029 |
| 19 | 90 | 102 | 28.073 | 161.028 | 90 | 66.12913 | 0.63343 | 0.000029 |
| 20 | 95 | 106.438 | 26.806 | 161.028 | 90 | 63.37199 | 0.66099 | 0.000029 |
| 21 | 100 | 110.923 | 25.641 | 161.028 | 90 | 60.8093 | 0.68885 | 0.000030 |

Ниже на рисунках приведена горизонтальная и вертикальная плоскость источника излучения, темным цветом показаны биологически опасные зоны.

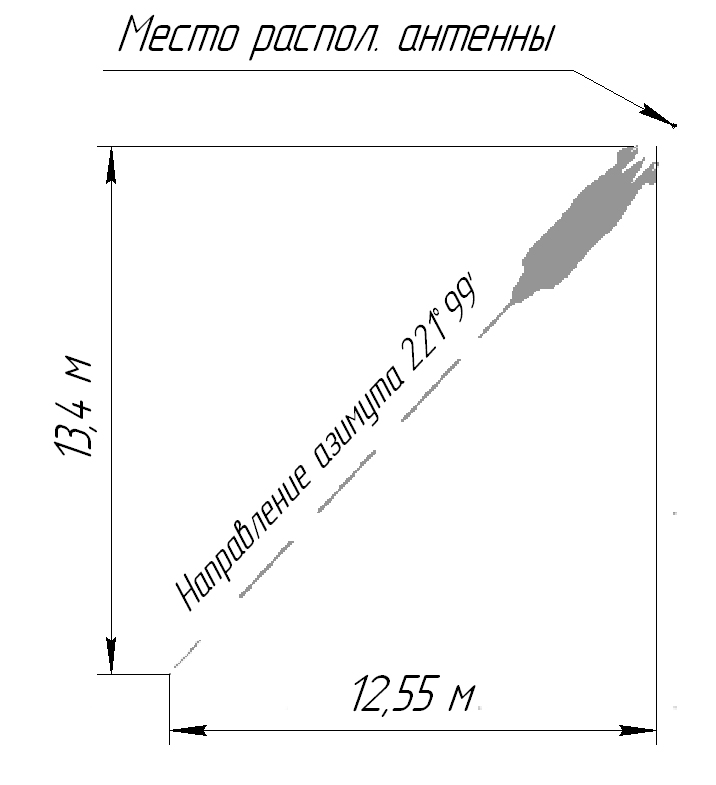


Рисунок 6.2 – Горизонтальная плоскость сечения интенсивности излучения э/м поля

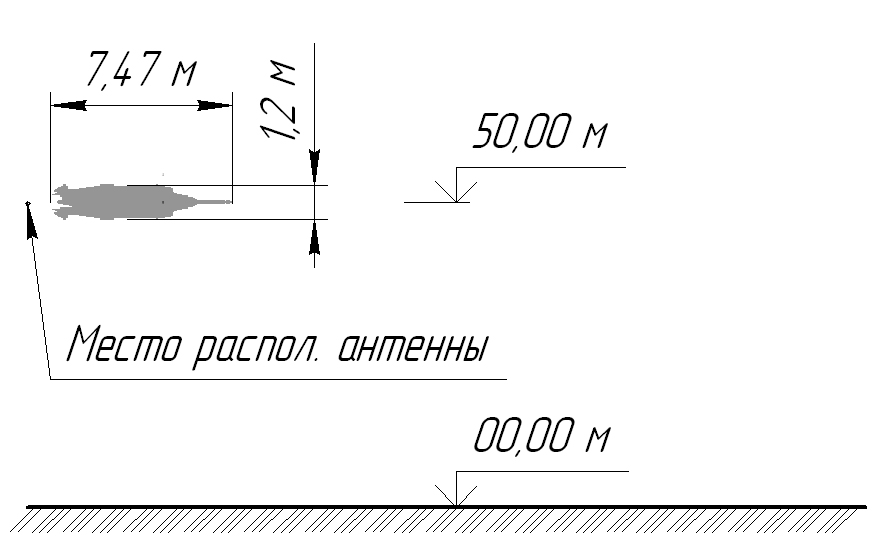


Рисунок 6.3 – Вертикальная плоскость сечения интенсивности излучения э/м поля

## 6.2 Расчет СЗС в Кисловке

Высота исследуемого участка: 2 м

Азимут исследования: 41° 85‘

0.000071

0.000064

0.000057

0.000049

0.000042

0.000035

0.000028

0.000021

0.000014

7.1E-6

0

0.0

5.0

10.0

15.0

20.0

25.0

30.0

35.0

40.0

45.0

50.0

55.0

60.0

65.0

70.0

75.0

80.0

85.0

90.0

95.0

100.0

r, м

ППЭ, мкВт/см2

Рисунок 6.4 – График распределения плотности потока излучения э/м поля

Таблица 6.2 - Распределение электромагнитного поля для одного источника ЭМИ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | r, м | Rm, м | θm, град. | Rгр, м | β, град. | Um | Xm | ППЭ, мкВт/см2 |
| 1 | 0 | 58 | 90 | 161.028 | 90 | 140.5234 | 0.36019 | 0.000067 |
| 2 | 5 | 58.215 | 85.073 | 161.028 | 90 | 140.0042 | 0.36152 | 0.000067 |
| 3 | 10 | 58.856 | 80.218 | 161.028 | 90 | 138.4803 | 0.3655 | 0.000065 |
| 4 | 15 | 59.908 | 75.5 | 161.028 | 90 | 136.0475 | 0.37204 | 0.000063 |
| 5 | 20 | 61.351 | 70.975 | 161.028 | 90 | 132.8472 | 0.381 | 0.000061 |
| 6 | 25 | 63.159 | 66.683 | 161.028 | 90 | 129.0462 | 0.39222 | 0.000058 |
| 7 | 30 | 65.299 | 62.65 | 161.028 | 90 | 124.8156 | 0.40552 | 0.000054 |
| 8 | 35 | 67.742 | 58.891 | 161.028 | 90 | 120.3147 | 0.42069 | 0.000051 |
| 9 | 40 | 70.456 | 55.408 | 161.028 | 90 | 115.681 | 0.43754 | 0.000047 |
| 10 | 45 | 73.41 | 52.194 | 161.028 | 90 | 111.0258 | 0.45588 | 0.000043 |
| 11 | 50 | 76.577 | 49.237 | 161.028 | 90 | 106.4342 | 0.47555 | 0.000040 |
| 12 | 55 | 79.931 | 46.521 | 161.028 | 90 | 101.9675 | 0.49638 | 0.000037 |
| 13 | 60 | 83.451 | 44.029 | 161.028 | 90 | 97.66726 | 0.51824 | 0.000035 |
| 14 | 65 | 87.115 | 41.743 | 161.028 | 90 | 93.55914 | 0.54099 | 0.000034 |
| 15 | 70 | 90.907 | 39.644 | 161.028 | 90 | 89.65685 | 0.56454 | 0.000032 |
| 16 | 75 | 94.81 | 37.716 | 161.028 | 90 | 85.96528 | 0.58878 | 0.000030 |
| 17 | 80 | 98.813 | 35.942 | 161.028 | 90 | 82.48312 | 0.61364 | 0.000027 |
| 18 | 85 | 102.903 | 34.308 | 161.028 | 90 | 79.20482 | 0.63904 | 0.000024 |
| 19 | 90 | 107.07 | 32.8 | 161.028 | 90 | 76.12216 | 0.66492 | 0.000022 |
| 20 | 95 | 111.306 | 31.405 | 161.028 | 90 | 73.22532 | 0.69122 | 0.000021 |
| 21 | 100 | 115.603 | 30.114 | 161.028 | 90 | 70.5036 | 0.7179 | 0.000020 |

Ниже на рисунках приведена горизонтальная и вертикальная плоскость источника излучения, темным цветом показаны биологически опасные зоны.

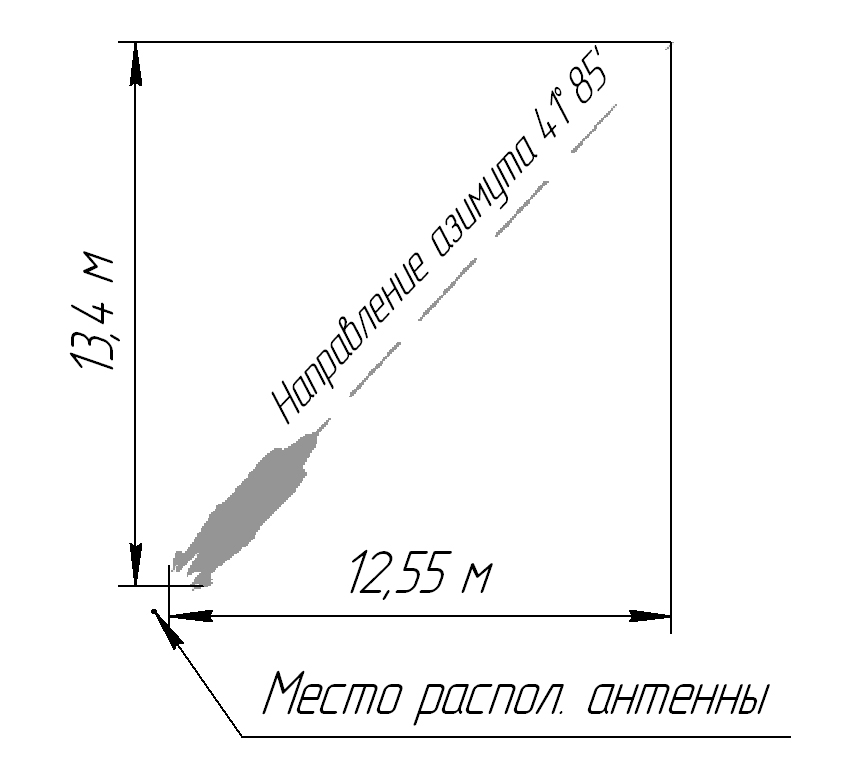


Рисунок 6.5 – Горизонтальная плоскость сечения интенсивности излучения э/м поля

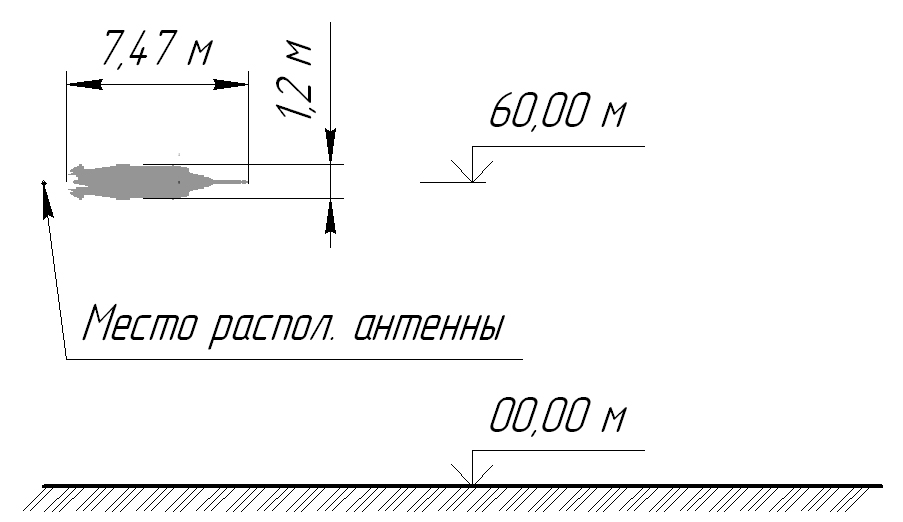


Рисунок 6.6 – Вертикальная плоскость сечения интенсивности излучения э/м поля

Как видно из рисунка 6.4 и таблице 6.2 интенсивность излучения э/м поля источника не превышает допустимые уровни, поэтому ни в Томске, ни в Кисловке санитарно-защитные зоны не устанавливаются. При проведении продолжительных работ на антенной опоре следует отключать передающее оборудование.

# 7 Технико-экономическое обоснование

## 7.1 Технико-экономическое обоснование проекта

Одна из задач проектирования состоит в технико-экономическом обосновании реконструкции радиорелейной линии технологической связи «Трал 400/24» на современное цифровое радиорелейное оборудование.

Основными причинами переоборудования являются необходимость передачи больших потоков информации, что не позволяет выполнить существующее оборудование, а также моральное и техническое старение оборудования. В соответствии с предъявленными требованиями к проектированию было решено установить современное оборудование отечественной фирмы «Микран» на основе технологии SDH.

Принятие решения использования именно этой технологии сводится к следующим важным фактам:

* во-первых, поток данных в 34 Мбит/с был бы недостаточным, а использование конфигурации «2+0» и выше не просто из-за ряда технологических сложностей и экономической нецелесообразности;
* во-вторых, ООО «Томсктрансгаз» и ОАО «Газпром» считает необходимым создание информационного «кольца» системы передачи данных на основе технологии SDH;
* в-третьих, не исключается возможность сдачи в аренду части каналов местным операторам с целью более быстрой окупаемости проекта;
* в-четвертых, использование схем взаимного резервирования с СвязьПТУС, Томсктелекомом и операторами сотовой связи, что дополнительно увеличивает кратковременную загруженность проектируемой линии.

Эксплуатационно-технический уровень (ЭТУ) научно-технического продукта – это обобщающая характеристика его эксплуатационных свойств, возможностей, степени новизны, являющихся основой качества продукта. Основная цель оценки эксплуатационно-технического уровня – ответить на вопрос о соответствии параметров вновь создаваемого продукта поставленной цели. ЭТУ разрабатываемого продукта определяется после выбора аналога на основе анализа системы показателей.

В качестве аналога мной выбраны две системы – существующая связь, представленная в виде РРЛ «Трал 400/24», а также система вновь проектируемой РРЛ только на ПЦИ, рассчитанная на скорость передачи 34 Мбит/с.

Для учета значимости отдельных параметров воспользуемся следующим методом [9]:

, (7.1)



где JЭТУ – комплексный показатель качества разрабатываемого программного продукта по группе показателей,

n – число рассматриваемых показателей,

Bi – коэффициент весомости i-го показателя в долях единицы (сумма весов всех рассматриваемых показателей должна составлять единицу),

Xi – относительный показатель качества, устанавливаемый экспертным путем по выбранной шкале оценивания (в нашем случае- 10-ти балльная шкала).

Результаты сравнения трех проектов представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Определение ЭТУ проектов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели качества научно-технического продукта | Коэффициент весомости | Трал 400/24 | | PDH | | SDH | |
|  |  |  |  |  |  |
| 1. Стоимость системы | 0.15 | 8 | 1.2 | 4 | 0.6 | 2 | 0.3 |
| 2. Окупаемость проекта | 0.15 | 1 | 0.15 | 5 | 0.75 | 10 | 1.5 |
| 3. Дополнительный доход | 0.1 | 1 | 0.1 | 1 | 0.1 | 5 | 0.5 |
| 4. Надежность системы | 0.25 | 4 | 1 | 9 | 2.25 | 9 | 2.25 |
| 5. Емкость системы | 0.15 | 1 | 0.15 | 5 | 0.75 | 9 | 1.35 |
| 6. Моральное старение оборудования | 0.2 | 1 | 0.2 | 4 | 0.8 | 8 | 1.6 |
|  |  |  | |  | |  | |

Из представленной выше таблице хорошо видно преимущество проектирование системы радиорелейной связи на оборудовании SDH по сравнению с PDH.

## 7.2 Организация и планирование работ

Любой бизнес-проект разрабатывается с единственной конечной целью получение прибыли. При этом на стадии планирования будущего проекта следует оценить все расходы, связанные с его реализацией. В данном пункте будем рассчитывать временные и экономические затраты, которые пошли на разработку проекта.

Прежде чем приступить к разработке бизнес-проекта, следует уделить внимание составлению плана организационных работ. С точки зрения последовательности и рациональности использования времени работы должны проводиться в следующем порядке:

1. Стадия предпроектных работ:

* ознакомление с основными положениями будущего проекта;
* исследование существующей технологической системы связи вдоль газопровода;
* составление ТЗ совместно с заказчиком (отделом УА и СТ ООО «Томсктрансгаз»);
* проведение полевых работ: составление протоколов измерения сопротивления суглинка для осуществления заземления оборудования; рекогносцировка местности; определение координат РРС и азимутов между ними; осмотр размещения оборудования;
* корректировка и доработка ТЗ в соответствии с полученными результатами;

1. Стадия проектирования:

* Выбор оборудования в соответствии с ТЗ;
* составление общей проектной документации: технологической карты, схемы организации связи, структурной схемы и т.д.;
* расчет качественных показателей пролетов радиорелейной линии;
* составление планов размещения оборудования РРС, а также схем расположения антенно-фидерных устройств;
* расчет санзоны для каждого радиоэлектронного источника излучения;
* составление пояснительной записки;
* составление спецификации на оборудование и материалы, используемые в проекте;
* разработка вопросов охраны труда, экономической части проекта;
* составление сметной документации на проект;

1. Стадия доработки:

* Исправление допущенных ошибок и устранение замечаний заказчика;

1. Стадия реализации проекта

* Проведение строительных работ;
* Монтаж оборудования;
* Осуществление пусконаладочных работ.

Все четыре стадии разработки и реализации проекта делятся на две стадии: в нашем случае с 1 по 3 – проектирование, которое осуществляет специальная фирма, имеющая на это все соответствующие лицензии; 4-я стадия является равносильной первым трем по объему работ. Как правило, реализацию проекта осуществляет генподрядчик, который определяется на конкурсной основе и может никаким образом не быть связан с разработчиком проекта.

Таким образом, моя дипломная работа не будет рассматривать фазу реализации проекта, следовательно, бизнес-план будет составлен для определения экономической целесообразности проведения проектных работ по реконструкции «Трал 400/24»., Необходимость реконструкции РРЛ в действительных проектах определяет организация-заказчик проекта, т.е. ООО «Томсктрансгаз».

Для определения затраченного времени определим трудоемкость проводимых работ, в разработке проекта принимали участие:

* руководитель проектирования;
* ведущий инженер;
* инженер;
* инженер-конструктор;
* инженер-сметчик.

Трудоемкость работ будем рассчитывать в трудовых днях продолжительностью 8 часов. Для каждого вида работ определяется ожидаемое время.

Определим ожидаемую продолжительность работ по проектированию системы, для этого применим метод вероятностных оценок ожидаемых работ:

(7.2)



где - кратчайшая продолжительность заданной работы (оптимистическая оценка)



- максимальная продолжительность работы (пессимистическая оценка)



Оценка трудоемкости отдельных этапов работ приведена в таблице 7.2. Все расчеты сделаны согласно формуле 7.2.

Таблица 7.2 – Временные затраты на проектирование

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап | Наименование работ | Исполнители (должность) | Продолжительность работ | | |
|  |  |  |
| 1 | Предварительное составление ТЗ | Руководитель | 1 | 2 | 1.4 |
| 2 | Изучение существующей связи | Руководитель | 1 | 1.5 | 1.2 |
| Инженер | 3 | 4 | 3.4 |
| 3 | Полевые работы | Ведущий инженер | 2 | 3 | 2.4 |
| Инженер | 5 | 7 | 5.8 |
| 4 | Корректировка и доработка ТЗ | Руководитель | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер | 1 | 2 | 1.4 |
| 5 | Выбор оборудования | Ведущий инженер | 0.5 | 1 | 0.7 |
| Инженер | 2 | 3 | 2.4 |
| 6 | Составление общей проектной документации | Руководитель | 0.5 | 1 | 0.7 |
| Ведущий инженер | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер | 9 | 14 | 11 |
| 7 | Расчет качественных показателей | Инженер | 4 | 6 | 4.8 |
| 8 | Составление планов размещения оборудования | Инженер-конструктор | 4 | 7 | 5.2 |
| Инженер | 4 | 6 | 4,8 |
| 9 | Расчет санзоны | Инженер | 4 | 7 | 5.2 |
| 10 | Составление ПЗ | Руководитель | 1 | 2 | 1.4 |
| Ведущий инженер | 1 | 3 | 1.8 |
| Инженер | 2 | 4 | 2.8 |
| 11 | Составление спецификации | Ведущий инженер | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер | 2 | 4 | 2.8 |
| Инженер-конструктор | 1 | 2 | 1.4 |
| 12 | Разработка вопросов охраны труда | Руководитель | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер | 2 | 3 | 2.4 |
| 13 | Составление сметной документации | Инженер | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер-сметчик | 3 | 5 | 3.8 |
| 14 | Выполнение графической и демонстрационной части работы | Инженер | 5 | 7 | 5.8 |
| 15 | Исправление замечаний заказчика | Руководитель | 1 | 2 | 1.4 |
| Ведущий инженер | 1 | 2 | 1.4 |
| Инженер | 2 | 4 | 2.8 |

Ниже таблица представлена в более понятной форме – графика поэтапного выполнения работ.



Рисунок 7.1 – График поэтапной оценки работ



Рисунок 7.2 – Ленточный график работ

## 7.3 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проектирование включает в себя:

* материалы и комплектующие;
* амортизационные отчисления;
* основная и дополнительная заработанная плата;
* отчисления во внебюджетные фонды;
* прочие прямые расходы;
* накладные расходы;
* услуги сторонних организаций.

Произведем расчет затрат в соответствии с вышеизложенным порядком.

### 7.3.1 Затраты на материалы и комплектующие

Все материальные затраты сведены таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Расчет потребности в материальных ресурсах

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид ресурса | Кол-во на проект | Рыночная цена за ед. цу (руб.) | Общие затраты (руб.) | Источник обеспечения |
| Распечатка плакатов | 3 | 40 | 120 | розничная |
| Офисная бумага «SvetoCopy» А4 | 2 пачки | 95 | 190 |  |
| Офисная бумага «SvetoCopy» А3 | 1 пачка | 220 | 220 | розничная |
| Брошюровка | 4 комплекта | 35 | 140 | розничная |
| Другие канцеляр. принадлежности | - | 50 | 50 | розничная |
| Итого: 720 руб. | | | | |

### 

### 7.3.2 Амортизационные отчисления

Произведем расчет амортизационных отчислений для специализированного оборудования. Амортизация - процесс перенесения стоимости используемых приборов и оборудования на затраты, расходуемые на разработку технического проекта.

(7.3)



где стоимость прибора, руб.;



норма амортизации, %;



количество времени использования приборов.



Стоимость специализированного оборудования и расчет амортизационных отчислений сведем в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Сумма амортизационных отчислений

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид оборудования | Кол-во ед-ц | Цена за единица (руб.) | n, мес | Na, % | A, руб. |
| ПК | 1 | 33000 | 3 | 3.33 | 275 |
| GPS-навигатор | 1 | 11500 | 1 | 3.33 | 33 |
| Лазерная линейка | 1 | 5500 | 1 | 3.33 | 15 |
| Фотоаппарат | 1 | 6000 | 1 | 3.33 | 16 |
| МФУ | 1 | 12000 | 3 | 3.33 | 100 |
| Итого: 439 руб. | | | | | |

### 

### 7.3.3 Основная и дополнительная заработанная плата исполнителей

Проведем расчет основной заработанной платы исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней з/платы за один рабочий день. Будем считать, что в месяце 21 рабочих дня, а в неделю 5 дней рабочих по 8 часов в день. Получение премий в расчетный период не предусмотрено.

Среднедневная зарплата определяется по формуле:

(7.4)



где – месячный оклад работника, руб.;



– число рабочих дней в месяце, .



Расчет заработанной платы приведен ниже в таблице 7.5. В дополнительную заработанную плату в нашем случае входит районный коэффициент, составляющий 30% от основного оклада.

Таблица 7.5 – Расчет заработанной платы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Должность обслуживающего персонала | Оклад, руб. | Среднедневная зарплата, руб. | Затраченное время, дней | Заработная плата, руб. | Заработная плата с учетом р/коэф-та, руб. |
| Руководитель | 40000 | 1818,2 | 7,5 | 13636.5 | 17727.45 |
| Ведущий инженер | 27500 | 1250 | 9,1 | 11375 | 14787.5 |
| Инженер | 20000 | 909,1 | 56,8 | 51637 | 67128.1 |
| Инженер-конструктор | 18000 | 818,2 | 6,6 | 5400 | 7020 |
| Инженер-сметчик | 18000 | 818,2 | 3.8 | 3109.1 | 4042 |
| Итого: 110705.05 руб. | | | | | |

### 

### 7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды (ЕСН) составляют:

* пенсионный фонд (ПФ) – 20 % от з/платы;
* социальное страхование (СС) – 3.2 % от з/платы;
* медицинское страхование (МС) – 2.8 % от з/платы;

В сумме отчисления во внебюджетные фонды составляют

рубля.



### 7.3.5 Затраты на электроэнергию

Затраты рассчитываются по следующей формуле:

(7.5)



где Wn - установленная мощность, (0.5 кВт);

t - время работы (750);

– тариф на электроэнергию (3 руб. за кВт/час).



Результаты расчета сведем в таблицу 7.6.

Таблица 7.6 – Расчет затрат на электроэнергию

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование оборудования | , кВт | t, часы | , руб. |
| Компьютер с монитором | 0.33 | 672 | 665.3 |
| МФУ | 0.8 | 10 | 24 |
| Итого: 689.3 руб. | | | |

### 

### 7.3.6 Накладные расходы

Это расходы на управление и хозяйственное обслуживание при разработке проекта. Планируются в размере 20% от суммы всех прямых затрат и рассчитываются по нижеследующей формуле [9]:

(7.6)



С учетом формулы получаем:



На основе выше приведенных расчётов составим полную смету затрат на этапе разработки проекта по следующей формуле:

(7.7)



где дополнительные расходы;



В нашем случае дополнительные расходы достаточно большие, поскольку мы будем исходить, что у нас нет ни лицензии на проектирование, ни соответствующего лицензированного программного обеспечения. И то, и другое нам необходимо будет приобрести. Поскольку действие лицензий имеет достаточно продолжительный срок (около 3-х лет), то такие вложения вполне выгодны. За обозначенный период по оптимистичным прогнозам фирма способна выполнить до 10 похожих проектов, поэтому при вычислении рентабельности вложений будем исходить из этого принципа. Ниже представлены все дополнительные расходы совместно с арендной платой, а также срок, на который они рассчитаны:

Таблица 7.7 – Расчет дополнительных затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименование расходов | Стоимость, руб. |
| 1 | Аренда помещения (20 м2) | 20 000 |
| 2 | Лицензия на проектирование | 200 000 |
| 3 | Компьютер | 35000 |
| 4 | GPS-навигатор | 11500 |
| 5 | МФУ | 12000 |
| 6 | Специализированное программное обеспечение:   * ОС Windows XP Professional SP2 * Kompas 2D фирмы «ASCON» * Спец. программа для расчета РРЛ - Territories фирмы «Золотая корона» * Спец. программа для расчета сан. зоны РРС «СанЗон v.2.2» | 4 500  47 000  45 000  40 000 |
|  | Итого: 394 850 руб. | |

## 7.4 Оценка экономической эффективности разработки проекта

С учетом рассчитанных ранее затрат получаем общие затраты на разработку проекта:

Таблица 7.8 – Общая сумма затрат на разработку проекта

|  |  |
| --- | --- |
| Статья затрат на разработку проекта | Сумма, руб. |
| Заработная плата исполнителей | 110705.05 |
| Затраты на материалы и комплектующие | 720 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 28783 |
| Амортизационные отчисления | 439 |
| Затраты на электроэнергию | 689.3 |
| Накладные расходы | 394850 |



Рассчитаем эффективность разработки проекта по следующей формуле:

(7.8)



где К1 – единовременные капитальные затраты на разработку продукта, состоящие из

сметной стоимости проекта;

К2 – затраты на реализацию проекта (30000000 руб.);

 - годовой экономический эффект от реконструкции ЦРРЛ на основе оборудования SDH, руб.;

При собственном проектировании в рамках Лаборатории связи ООО «Томсктрансгаз» существует еще несколько преимуществ (кроме дешевой стоимости проекта):

* Во-первых, учет собственных потребностей при последующей эксплуатации системы связи позволяет значительно снизить издержки при обслуживании;
* Во-вторых, людей, занимающихся обслуживанием РРЛ, не надо продолжительное время обучать основам проектирования, поскольку как современное программное обеспечение, так и практические навыки позволяют решить эту проблему.

Рассматривая общую выгоду разработки ЦРРЛ на основе технологии SDH, можно утверждать, что морально устаревшее оборудование «Трал 400/24» способно в любой момент выйти из строя и тогда его замена и временная аренда каналов передачи может дорого обойтись организации. При исчезновении же связи вообще, ООО «Томсктрансгаз» могут лишить лицензии на транспортировку газа и пользование газопровода в связи с особо опасным промышленным производством, что повлечет за собой убытки на миллионы рублей.

Выгодность построения SDH, вместо PDH, связано прежде всего с возможностью передачи большого трафика, в том числе поток Ethernet, а во-вторых, применение взаиморезервирования позволяет дополнительно повысить надежность системы. Кроме того, сдача в аренду части потоков позволит намного быстрее окупить разрабатываемый проект. Примерную оценку от выгоды сдачи в аренду потоков E1 можно отразить следующими расчетами. Примерная стоимость аренды потока Е1 в месяц составляет 30000 руб., при условии, что в аренду будет сдаваться до 20 Е1. Тогда за год полученная прибыль от сдачи в аренду потоков составит рублей.



По формуле 7.8 определяем экономическую эффективность разработки проекта только от сдачи потоков E1 в аренду в течение года:



Взяв обратную величину, получаем срок окупаемости проекта от сдачи потоков E1 в аренду около 5 лет.

# 8 Правила по охране труда при работе на радиорелейных линиях связи

## 8.1 Основные положения

Основная цель мероприятий по охране труда - ликвидация травматизма и профессиональных заболеваний. Проведение мероприятий по улучшению условий труда дает ощутимый экономический эффект - повышается производительность труда, снижаются затраты на восстановление утраченной трудоспособности. Охрана труда в Российской Федерации представляет собой систему мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья трудящихся, обеспечение безопасных и безвредных условий труда.

Меры безопасности труда должны предусматриваться при проектировании, изготовлении и вводе в действие объектов и оборудования. Все мероприятия по охране труда проводятся с целью защиты участников трудового процесса от воздействия опасных и вредных факторов, характеризующих условия его проведения.

## 8.2 Анализ объективных факторов производственной опасности

### 8.2.1 Перечень факторов

Для производственных процессов на РРС характерны следующие опасные и вредные производственные факторы [7]:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

- повышенный уровень электромагнитных излучений;

- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- повышенная температура воздуха рабочей зоны;

- пониженная влажность воздуха;

- пониженная ионизация воздуха;

- отсутствие или недостаток естественного света;

- недостаточная освещенность рабочей зоны;

- прямая и отраженная блесткость;

- повышенная пульсация светового потока;

- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);

- химические вещества.

Уровни шума, микроклимат, уровни ионизации воздуха в производственных помещениях должны удовлетворять требованиям санитарных норм.

В производственных помещениях, в которых работа на видеодисплейных терминалах (ВДТ) и персональных электронно-вычислительных машинах (ПЭВМ) является основной, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Все ВДТ должны иметь гигиенический сертификат. Измерения уровней факторов производственной среды выполняются в соответствии с методиками, приведенными в соответствующих нормативных документах.

### 8.2.2 Электромагнитное излучение

На рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, связанного профессионально с воздействием электромагнитных полей (ЭМП), значения плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц в зависимости от времени их воздействия не должны превышать предельно допустимых значений по действующим санитарным нормам и правилам [7].

* На рабочих местах, в зоне обслуживания высокочастотных установок необходимо не реже 1 раза в год производить измерения интенсивности излучения. Измерения должны выполняться при максимально используемой мощности излучения и включении всех одновременно работающих источников высокой частоты.
* Измерения интенсивности излучения должны также производиться при вводе в действие новых, при реконструкции действующих СВЧ-установок, после ремонтных работ, которые могут оказать влияние на интенсивность излучения. Подобные измерения делаются и на рабочих местах аварийно-профилактической группы (АПГ) и в лабораториях, где проводится ремонт и настройка СВЧ-генераторов, других элементов и узлов СВЧ-аппаратуры.
* Если при очередном измерении обнаруживается превышение предельно допустимых значений плотности потока энергии, то персонал, производящий измерения, докладывает об этом руководству, которое обязано принять меры к доведению интенсивности излучения до нормы (экранировка тракта СВЧ и т.п.). Места, где имеется превышение предельно допустимых значений плотности потока энергии, должны быть обозначены предупреждающими плакатами.

## 8.3 Требования безопасности при эксплуатационно-техническом обслуживании

### 8.3.1 Требования к применению средств защиты

* Работники, эксплуатирующие радиорелейные линии связи, должны быть обеспечены специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам связи.
* Выдаваемые работникам средства индивидуальной защиты должны соответствовать характеру и условиям работы и обеспечивать безопасность труда. Не допускается приобретение и выдача работникам средств индивидуальной защиты без сертификата соответствия.
* Работодатель обязан заменить или отремонтировать до окончания сроков носки специальную одежду и специальную обувь, пришедшие в негодность по причинам, не зависящим от работника.
* Работодатель обязан организовать надлежащий учет и контроль за выдачей работникам средств индивидуальной защиты в установленные сроки. Выдача работникам и сдача ими средств индивидуальной защиты должны записываться в личную карточку установленного образца.
* Работодатель обязан обеспечивать регулярные в соответствии с установленными ГОСТ сроками испытание и проверку исправности средств индивидуальной защиты, а также своевременную замену фильтров, стекол и других частей средств индивидуальной защиты с понизившимися защитными свойствами.
* Средства защиты необходимо хранить в закрытых помещениях. Находящиеся в эксплуатации средства защиты из резины следует хранить в специальных шкафах, на стеллажах, полках, в ящиках и т.п. отдельно от инструмента. Они должны быть защищены от воздействия масел, бензина, кислот, щелочей и других разрушающих резину веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов (не ближе 1 м от них). Средства защиты из резины, находящиеся в складском запасе, необходимо хранить в сухом помещении при температуре 0 - 30 град. С.
* Все находящиеся в эксплуатации электрозащитные средства и предохранительные пояса должны быть пронумерованы, за исключением касок защитных, диэлектрических ковров, изолирующих подставок, плакатов и знаков безопасности, защитных ограждений, штанг для переноса и выравнивания потенциала. Допускается использование заводских номеров. Порядок нумерации устанавливается в организации в зависимости от условий эксплуатации средств защиты. Инвентарный номер наносят непосредственно на средство защиты краской или выбивают на металле (например, на металлических деталях пояса, изолированного инструмента, штанги и т.п.) либо на прикрепленной к средству защиты специальной бирке (изолирующий канат и т.п.). Если средство защиты состоит из нескольких частей, общий для него номер необходимо ставить на каждой части.
* В подразделениях предприятий и организаций отрасли и потребителей электроэнергии необходимо вести журналы учета и содержания средств защиты. Наличие и состояние средств защиты должно проверяться осмотром периодически, но не реже 1 раза в 6 мес. лицом, ответственным за их состояние, с записью результатов осмотра в журнал. Средства защиты, выданные в индивидуальное пользование, также должны быть зарегистрированы в журнале.
* Перед каждым применением средств защиты персонал обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений, загрязнений, проверить по штампу срок годности. Пользоваться средствами защиты с истекшим сроком годности запрещается.
* В случае превышения допустимых уровней шума на рабочих местах для индивидуальной защиты должны быть использованы противошумные наушники и вкладыши.
* При смене ламп в аппаратуре обслуживающий персонал должен пользоваться хлопчатобумажными перчатками, специальными ключами и приспособлениями для защиты от ожогов.

### 8.3.2 Требования безопасности при эксплуатационно-техническом обслуживании

* Персонал, обслуживающий технологическое оборудование РРС, относится к электротехнологическому персоналу.
* Электротехнологический персонал РРС в отношении выполняемых работ, квалификации и предоставляемых прав подразделяется на: оперативный персонал - персонал, осуществляющий оперативное управление и обслуживание оборудования РРС (осмотр, оперативные переключения, подготовку рабочего места, допуск и надзор за работающими, выполнение работ в порядке текущей эксплуатации); оперативно-ремонтный - ремонтный персонал, специально обученный и подготовленный для оперативного обслуживания в утвержденном объеме закрепленного за ним оборудования; ремонтный - персонал, обеспечивающий техническое обслуживание и ремонт, монтаж, наладку и испытание оборудования РРС.
* Работники оперативного персонала, обслуживающие технологическое оборудование РРС, должны иметь группу III. Вид оперативного обслуживания оборудования РРС, число работников из числа оперативного персонала в смене определяется руководством организации и закрепляется соответствующим распоряжением.
* Единоличное обслуживание оборудования допускается при следующих условиях: а) наличие резервного оборудования, включаемого взамен неисправного; б) наличие в помещениях, где размещены технические средства, телефонов для вызова АПГ и возможности передачи других экстренных сообщений; пожарной сигнализации.
* Работники, не обслуживающие оборудование РРС, могут допускаться в помещение станций в сопровождении лица оперативного персонала, имеющего III группу, либо работника, имеющего право единоличного осмотра. Сопровождающий работник должен следить за безопасностью людей, допущенных в помещение станции, и предупреждать их о запрещении приближаться к токоведущим частям.
* Единоличный осмотр оборудования РРС может выполнять работник, имеющий группу не ниже III, из числа оперативного персонала, находящегося на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу IV и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации.
* Снимать и устанавливать предохранитель следует при снятом напряжении. Допускается снимать и устанавливать предохранители, находящиеся под напряжением, но без нагрузки.
* При снятии и установке предохранителей под напряжением в оборудовании до 1000 В необходимо пользоваться изолирующими клещами или диэлектрическими перчатками и средствами защиты лица и глаз.
* Работы, производимые на действующем оборудовании РРС, в отношении мер безопасности подразделяются на: работы со снятием напряжения; работы без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.
* К работам со снятием напряжения относятся работы, когда с токоведущих частей оборудования, на котором будут проводиться работы, отключением коммутационных аппаратов, отсоединением шин, кабелей, проводов снято напряжение и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на токоведущие части к месту работы.
* К работам без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них относятся работы, выполняемые с прикосновением к токоведущим частям, находящимся под напряжением (рабочим или наведенным).
* Профилактический осмотр, чистку и ремонт оборудования РРС разрешается производить только после снятия напряжения на силовом щите с данного оборудования. Во избежание случайного включения напряжения необходимо применять изолирующие накладки в рубильниках и т.п. При этом на рукоятках выключенных коммутационных аппаратов вывешиваются плакаты с надписью "Не включать! Работают люди". Производить ремонт и чистку аппаратуры, находящейся под напряжением, запрещается.

### 8.3.3 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

* При подготовке рабочего места должны быть отключены: токоведущие части, на которых будут производиться работы; неогражденные токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей, механизмов и грузоподъемных машин на расстоянии менее 0,35 м; цепи управления и питания приводов, закрыт воздух в системах управления коммутационными аппаратами, снят завод с пружин и грузов у приводов выключателей и разъединителей.
* На оборудовании РРС со всех токоведущих частей, на которых будет проводиться работа, напряжение должно быть снято отключением коммутационных аппаратов с ручным приводом, а при наличии в схеме предохранителей - снятием последних. При отсутствии в схеме предохранителей предотвращение ошибочного включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено такими мерами, как запирание рукояток или дверец шкафа, закрытие кнопок, установка между контактами коммутационного аппарата изолирующих накладок и др. При снятии напряжения коммутационным аппаратом с дистанционным управлением необходимо разомкнуть вторичную цепь включающей катушки. Перечисленные меры могут быть заменены расшиновкой или отсоединением кабеля, проводов от коммутационного аппарата либо от оборудования, на котором должны проводиться работы. Необходимо вывесить запрещающие плакаты.
* Отключенное положение коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В с недоступными для осмотра контактами определяется проверкой отсутствия напряжения на отходящих шинах, проводах или зажимах оборудования, включаемого этими коммутационными аппаратами.
* На приводах (рукоятках приводов) коммутационных аппаратов с ручным управлением (выключателей, отделителей, разъединителей, рубильников, автоматов) во избежание подачи напряжения на рабочее место должны быть вывешены плакаты "Не включать! Работают люди". У однополюсных разъединителей плакаты вывешиваются на приводе каждого полюса, у разъединителей, управляемых оперативной штангой, - на ограждениях. На задвижках, закрывающих доступ воздуха в пневматические приводы разъединителей, вывешивается плакат "Не открывать! Работают люди". На присоединениях напряжением до 1000 В, не имеющих коммутационных аппаратов, плакат "Не включать! Работают люди" должен быть вывешен у снятых предохранителей. Плакаты должны быть вывешены на ключах и кнопках дистанционного и местного управления, а также на автоматах или у места снятых предохранителей цепей управления и силовых цепей питания приводов коммутационных аппаратов.
* Проверять отсутствие напряжения разрешается одному работнику из числа оперативного персонала, имеющему группу III.
* Устройства, сигнализирующие об отключенном положении аппарата, блокирующие устройства, постоянно включенные вольтметры и т.п. являются только дополнительными средствами, подтверждающими отсутствие напряжения, и на основании их показаний нельзя делать заключение об отсутствии напряжения.
* Установка и снятие переносных заземлений должны выполняться в диэлектрических перчатках. Закреплять зажимы переносных заземлений следует руками в диэлектрических перчатках.
* На оборудовании, конструкция которого такова, что установка заземления опасна или невозможна, должны быть разработаны дополнительные мероприятия по обеспечению безопасности работ, включающие установку диэлектрических накладок или отсоединение проводов, кабелей и шин. Перечень такого оборудования утверждается техническим руководителем и доводится до сведения персонала.
* На оборудовании напряжением до 1000 В операции по установке и снятию заземлений разрешается выполнять одному работнику, имеющему группу III, из числа оперативного персонала.
* На оборудовании должны быть вывешены плакаты "Заземлено" на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок оборудования, и на ключах и кнопках дистанционного управления коммутационными аппаратами.
* Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, могут применяться щиты, ширмы, экраны и т.п., изготовленные из изоляционных материалов. При установке временных ограждений без снятия напряжения расстояние от них до токоведущих частей должно быть не менее 0,35 м. На временные ограждения должны быть нанесены надписи "Стой! Напряжение" или укреплены соответствующие плакаты.
* В тех случаях, когда нельзя оградить токоведущие части щитами, допускается применение изолирующих накладок, помещаемых между отключенными и находящимися под напряжением токоведущими частями (например, между контактами отключенного разъединителя). Эти накладки могут касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. Устанавливать и снимать изолирующие накладки должны два работника, имеющие группы IV и III. Старший из них должен быть из числа оперативного персонала. При операциях с накладками следует использовать диэлектрические перчатки, изолирующую штангу (клещи).
* На подготовленных рабочих местах должен быть вывешен плакат "Работать здесь".

### 8.3.4 Требования безопасности при обслуживании антенно-мачтовых сооружений и антенно-волноводных трактов

* Обслуживание и ремонт антенно-мачтовых сооружений (АМС) и антенно-волноводных трактов (АВТ) должны производиться в соответствии с требованиями настоящих Правил, проектом обслуживания или инструкцией, утвержденной главным инженером организации.
* К работам по сооружению и обслуживанию АМС и АВТ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, обученные безопасным методам работы, прошедшие проверку знаний требований по безопасности труда, имеющие соответствующую квалификацию согласно тарифно-квалификационному справочнику.
* Все работы, связанные с подъемом на АМС, должны вестись по наряду-допуску. Окраска мачт и башен должна производиться специально обученными лицами с обязательным выполнением требований безопасности, изложенных в нормативных документах для этого вида работ на высоте.
* Опасной зоной вокруг мачт и башен при их эксплуатации считается зона, граница которой находится от центра основания опоры на 1/3 ее высоты. При работах в опасной зоне разрешается находиться только лицам, непосредственно связанным с этими работами, при обязательном использовании защитных касок. Защитные каски применяются также при любых работах на опорах. Защита обслуживающего персонала, находящегося в опасной зоне, при возможном падении льда и снега с АМС должна, кроме того, осуществляться:

а) обозначением опасной зоны с установкой предупреждающих знаков;

б) составлением инструкций и проведением инструктажа о гололедной опасности;

в) защитой проходов, находящихся в опасной зоне навесами или сооружениями постоянной или съемной конструкции (для РРС, работающих в обслуживаемом режиме).

* Обслуживающему персоналу запрещается при включенном оборудовании и подаче мощности в антенную систему проводить какие-либо работы на АМС и АВТ в условиях превышения нормативов.
* Все работы по обслуживанию АМС и АВТ производятся только по разрешению узловой или оконечной станции. При этом должны быть точно определены объем, время начала и окончания работ, назначены все ответственные за производство работ лица.
* Работы на высоте и верхолазные работы по монтажу (демонтажу), техническому обслуживанию и ремонту АМС и АВТ должны производиться не менее чем двумя лицами. При производстве верхолазных работ бригадой антеннщиков-мачтовиков из их числа должен быть назначен наблюдающий, который обязан с земли непрерывно следить за работающими (работающим) и иметь на себе монтерский пояс и каску, чтобы при необходимости оказать немедленную помощь работникам, выполняющим верхолазные работы. Перед началом работ на АМС старший смены РРС или старший АПГ (для автоматизированых РРС) обязан выполнить предписанные нарядом мероприятия по обеспечению безопасного проведения работ, в т.ч. при необходимости отключить питание СОМ, подогрева верхних герметизирующих вставок и др. и вывесить на соответствующих рубильниках и выключателях плакаты "Не включать! Работают люди".
* Запрещается находиться на открытых площадках мачт и башен во время грозы и при ее приближении, а также при силе ветра более 12 м/с, гололеде, дожде и снегопаде.
* Работы на мачтах и башнях в темное время разрешаются во время аварий и при отключениях для проведения профилактических работ на РРЛ. В этом случае рабочее место освещают аккумуляторным фонарем, прикрепленным к люльке антенщика-мачтовика и обеспечивающим достаточную освещенность рабочего места. Подъемный механизм также должен быть освещен.
* При подъеме на мачты и башни по лестнице необходимо выполнять следующие требования:

а) на антеннщике-мачтовике должны быть каска и исправный монтерский пояс, которым во время работы он должен прикрепляться к элементам конструкций мачты или башни;

б) подниматься по лестницам без ограждений, удовлетворяющих требованиям настоящих Правил, можно лишь в аварийных случаях и каждый раз по письменному распоряжению технического руководителя или главного инженера организации, эксплуатирующей РРЛ, или под непосредственным наблюдением одного из них;

в) при подъеме одного человека по стволу мачты люки секций должны закрываться по мере подъема;

г) подниматься по вертикальной лестнице разрешается только в обуви с нескользящей подошвой, в кожаных рукавицах. Одежда поднимающегося должна быть плотно подогнана;

д) если по вертикальной лестнице поднимается группа людей, то подъем очередного работника разрешается лишь при закрытом люке вышерасположенной площадки;

е) если на решетчатую башню поднимается несколько человек, то по каждому пролету лестницы должен поочередно подниматься только один человек;

ж) запрещается подъем по стволу круглой мачты на лифте или по аварийной лестнице, если мачта внутри не освещена (за исключением случаев устранения аварии внутреннего освещения мачт).

* Во время подъема и спуска антеннщика-мачтовика его рабочий инструмент и мелкие детали должны находиться в сумке с замком, не допускающим самопроизвольного ее открывания. При подъеме и спуске антеннщика-мачтовика по лестнице сумка должна крепиться ремнями к нему, а при подъеме и спуске в люльке - к последней. Класть на конструкции мачты инструменты, гайки и другие предметы запрещается.
* Поднимать и опускать антеннщика-мачтовика необходимо только по его команде. При работах на большой высоте антеннщик-мачтовик должен быть снабжен мегафоном или переносной радиостанцией. Команду на подъем и опускание грузов и конструкций дает только одно ответственное лицо.
* Крыши зданий РРС, используемые для проверки состояния антенно-волноводного тракта, следует ограждать по периметру металлическим ограждением высотой не менее 1,0 м.

## 8.4 Пожарная безопасность

При осуществлении пожарных мероприятий следует руководствоваться Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации, утвержденными Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору и введенными в действие Приказом Министерства внутренних дел Российской Федерации от 14.12.93 N 536 (зарегистрированы Минюстом России 27.12.93, регистрационный номер 445). До работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по пожарной безопасности.

* Во всех производственных, административных и складских помещениях на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны.
* В организации должен быть издан приказ по обеспечению пожарной безопасности помещений, зданий и сооружений. В этом приказе должны быть назначены ответственные за пожарную безопасность отдельных территорий, зданий, помещений, сооружений, цехов, участков и т.п. В этом же приказе должно быть назначено лицо, ответственное за приобретение, ремонт и готовность к действию первичных средств пожаротушения.
* В организации приказом (инструкцией) должен быть установлен соответствующий их пожарной опасности противопожарный режим, в том числе: определены и оборудованы места для курения; определены места и допустимое количество единовременно находящихся в помещениях сырья; регламентированы: определены порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначены ответственные за их проведение. В зданиях и сооружениях при единовременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара, а также предусмотрена система (установка) оповещения людей о пожаре. Руководитель объекта с массовым пребыванием людей (50 человек и более) в дополнение к схематическому плану эвакуации людей при пожаре обязан разработать инструкцию, определяющую действия персонала по обеспечению безопасной и быстрой эвакуации людей, по которой не реже одного раза в полугодие должны проводиться практические тренировки всех задействованных для эвакуации работников. Для объектов с ночным пребыванием людей в инструкции должны предусматриваться два варианта действий: в дневное и в ночное время.
* Все вновь принятые работники должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа. Его проводит специалист пожарной охраны организации, если таковая имеется. Проведение противопожарного инструктажа фиксируется в специальном журнале регистрации противопожарных инструктажей или в журнале регистрации вводных инструктажей.
* Для всех производственных помещений должны быть определены категория взрывопожарной опасности, а также класс зоны в соответствии с требованиями правил устройства электроустановок, которые надлежит обозначать на дверях помещений.
* Помещения РРС должны быть оборудованы системами автоматической пожарной сигнализации (АПС) с подачей сигнала о пожаре в аппаратную узловой или оконечной станции с круглосуточным пребыванием дежурного персонала, предназначенными для обнаружения пожара в начальной стадии и оповещения службы пожарной охраны, а также подачи сигналов на включение систем аварийной вентиляции, дымоудаления, автоматических устройств пожаротушения (АУП).
* Во всех помещениях РРС следует иметь углекислотные огнетушители (ручные ОУ-5, ОУ-8 или передвижные ОУ-25, ОУ-80, ОУ-400). При использовании масляных трансформаторов кроме того необходимо иметь ящик с песком и лопату. В помещениях РРС, где отсутствуют электроустановки, допускается применение огнетушителей других типов. Противопожарный инвентарь размещается в легкодоступных местах. Проходы к ним должны быть всегда свободными.
* Учет, наличие и состояние первичных средств пожаротушения следует вести в журнале произвольной формы. Каждый огнетушитель, установленный на объекте, должен иметь порядковый номер, нанесенный на корпусе белой краской, и паспорт по установленной форме. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и перезаряжаться.
* Каждый работник, заметивший загорание (пожар), обязан немедленно вызвать пожарную команду, принять меры к ликвидации пожара, сообщить администрации организации. При возникновении пожара прежде всего следует отключить напряжение. Воспламенившееся оборудование следует тушить углекислотным огнетушителем. Горящие жидкости следует тушить песком. Не допускается тушить пенным огнетушителем и водой оборудование, находящееся под напряжением.

## 8.5 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы

### 8.5.1 Основные положения

Требования Санитарных правил направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), создаваемых стационарными передающими радиотехническими объектами (ПРТО), работающих в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц, в том числе находящихся на специальных испытательных полигонах [1].

Производство, закупка, реализация и эксплуатация оборудования ПРТО должны осуществляться при наличии санитарно-эпидемиологического заключения на конкретный тип (модель) изделия в соответствии с установленным порядком.

### 8.5.2 Нормируемые параметры и единицы измерения

Оценка воздействия ЭМП РЧ ПРТО на население осуществляется:

- в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц - по эффективным значениям напряженности электрического поля (Е), В/м;

- в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц - по средним значениям плотности потока энергии (ППЭ), мкВт/см2.

* Оценка воздействия ЭМП на персонал, обслуживающий оборудование ПРТО, осуществляется по энергетической экспозиции электрического поля ЭЭЕ, магнитного поля ЭЭН, плотности потока энергии ЭЭппэ.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц рассчитывается по формулам:

, (8.1)



где Е - напряженность электрического поля;

Н - напряженность магнитного поля.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц рассчитывается по формуле:

, (8.3)



где Т - время воздействия (в часах).

### 8.5.3 Гигиенические требования к передающим радиотехническим объектам

Оборудование ПРТО не должно создавать на рабочих местах персонала электромагнитных полей, превышающих предельно допустимые уровни (ПДУ), указанные ниже [1].

Таблица 8.1 - Предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц на рабочих местах персонала

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон частот (МГц) | | | | |
| 0,03 - 3,0 | 3,0 - 30,0 | 30,0 - 50,0 | 50,0 -300,0 | 300,0 -300000 |
| Предельно допустимое значение | 20000 | 7000 | 800 | 800 | - |
| Предельно допустимое значение | 200 | - | 0,72 | - | - |
| Предельно допустимое значение | - | - | - | - | 200 |
| Максимальный | 500 | 296 | 80 | 80 | - |
| Максимальный | 50 | - | 3,0 | - | - |
| Максимальный | - | - |  | - | 1000 |

Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих, подвергающихся в процессе трудовой деятельности профессиональному воздействию ЭМП различных частотных диапазонов при любом характере воздействия ЭМП, должны соответствовать требованиям Санитарных правил по электромагнитным полям в производственных условиях.

Уровни ЭМП, создаваемые ПРТО на селитебной территории, в местах массового отдыха, внутри жилых, общественных и производственных помещений, подвергающихся воздействию внешнего ЭМП РЧ, не должны превышать ПДУ, указанных в таблице 8.2 с учетом вторичного излучения [1].

Таблица 8.2 - Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц для населения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон частот | 30 – 300 кГц | 0,3 – 3 МГц | 3 – 30 МГц | 30 – 300 МГц | 0,3 - 300  ГГц |
| Нормируемый параметр | Напряженность электрического по-ля, Е (В/м) | | | | Плотность потока энергии, ППЭ (мкВт/см2) |
| Предельно допустимые уровни | 25 | 15 | 10 | 3 <\*> | 10 25 <\*\*> |

Примечание:

<\*> Кроме средств радио- и телевизионного вещания (диапазон частот 48,5 - 108; 174 - 230 МГц).

<\*\*> Для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования

* Уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц, создаваемые питающим и силовым оборудованием ПРТО внутри жилых и общественных зданий, не должны превышать ПДУ для населения.
* Утверждение проектной документации по строительству, реконструкции, техническому перевооружению, расширению и ввод в эксплуатацию построенных и реконструированных ПРТО допускается при наличии санитарно-эпидемиологических заключений о соответствии их настоящим Санитарным правилам.
* Санитарно-эпидемиологические заключения выдаются центрами государственного санитарно-эпидемиологического надзора (далее по тексту - центры Госсанэпиднадзора) в субъектах Российской Федерации на основании результатов санитарно-эпидемиологической экспертизы.
* При размещении на территории (опоре, крыше здания) ПРТО антенн нескольких передатчиков проводится санитарно-эпидемиологическая экспертиза на ПРТО в целом. Санитарно-эпидемиологическое заключение также выдается на ПРТО в целом.
* Не требует санитарно-эпидемиологического заключения уменьшение мощности излучения, демонтаж и окончательный вывод из работы передатчиков и антенн. Владелец (администрация) ПРТО обязан направить информацию об этом в центр Госсанэпиднадзора в субъекте Российской Федерации и, в соответствующих случаях, в специализированный центр Госсанэпиднадзора.
* Не требуется получения санитарно-эпидемиологического заключения на размещение, ввод в эксплуатацию и эксплуатацию ПРТО с эффективной излучаемой мощностью не более:

200 Вт - в диапазоне частот 30 кГц - 3 МГц,

100 Вт - в диапазоне частот 3 - 30 МГц,

10 Вт - в диапазоне частот 30 МГц - 300 ГГц, при условии размещения антенны вне здания

* При размещении антенн радиолюбительских радиостанций (РРС) диапазона 3 - 30 МГц, радиостанций гражданского диапазона частот 26,5 - 27,5 МГц (РГД) с эффективной излучаемой мощностью более 100 Вт до 1000 Вт включительно, должна быть обеспечена невозможность доступа людей в зону установки антенны на расстояние не менее 10 м от любой ее точки. При установке на здании антенна должна быть смонтирована на высоте не менее 1,5 м над крышей при обеспечении расстояния от любой ее точки до соседних строений не менее 10 м для любого типа антенны и любого направления излучения.
* В целях защиты населения от воздействия ЭМП, создаваемых антеннами ПРТО, устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ) и зоны ограничения с учетом перспективного развития ПРТО и населенного пункта. Границы СЗЗ определяются на высоте 2 м от поверхности земли по ПДУ, указанным в п. п. 3.3 и 3.4.
* Зона ограничения представляет собой территорию, на внешних границах которой на высоте от поверхности земли более 2 м уровни ЭМП превышают ПДУ. Внешняя граница зоны ограничения определяется по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на высоте верхнего этажа которых уровень ЭМП не превышает ПДУ.

### 8.5.4 Мероприятия по профилактике неблагоприятного воздействия на человека электромагнитных полей

Обеспечение защиты работающих от неблагоприятного влияния ЭМП осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Лица, профессионально связанные с воздействием источников ЭМП ПРТО, должны проходить предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в порядке, установленном соответствующим приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Владельцы (или уполномоченные лица) ПРТО, зданий, территорий и сооружений, где расположены ПРТО, обязаны пройти обучение по вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологических требований электромагнитной безопасности работающих и населения.

Территории (участки крыш), на которых уровень ЭМП превышает ПДУ для населения и на которые возможен доступ лиц, не связанных непосредственно с обслуживанием ПРТО, должны быть ограждены и/или обозначены предупредительными знаками. При работе на этих участках (кроме персонала ПРТО) передатчики ПРТО должны отключаться.

Разработанные выше положения и инструкции о технике безопасности при работе с радиорелейными системами связи основываются на действующих на территории Российской Федерации следующих документах:

1. Правила по охране труда при работах на радиорелейных линиях связи ПOTPO-45-010-2002;
2. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03.

# 9 Расчёт надёжности

Надежностью называется свойство системы выполнять возложенные на нее функции при сохранении эксплуатационных показателей в заданных пределах и режимах работы, установленных техническим заданием. Надежность – один из технических показателей качества проектируемой системы. Надежность определяется безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью, сохраняемостью, а также вероятностью безотказной работы, средней наработкой до отказа, интенсивностью отказов, параметрами потока отказов, средним ресурсом, средним сроком службы, средним сроком восстановления, средним сроком сохраняемости и др. Целью данного раздела является расчет основных показателей надежности проектируемой сети. Наиболее полный учет факторов, влияющих на надежность, может быть выполнен лишь с помощью математического аппарата теории вероятности.

Цель расчета – оценить ориентировочные значения показателей безотказной работы устройства. Надежность устройства характеризуют следующие показатели:

* вероятность безотказной работы Р(t) за оперативное время t;
* частота отказов F(t);
* интенсивность отказов A(t);
* среднее время безотказной работы Tср.

Схема расчета, приведенная на рисунке 9.1, предполагает, что все элементы изделия соединены с точки зрения надежности последовательно, т. е. выход из строя одного элемента системы приводит к выходу из строя всей системы.



Рисунок 9.1 – Схема соединения элементов системы

Для расчета надежности вероятностью безотказной работы P(t) системы называется вероятность того, что время работы системы превысит некоторое заданное:

(9.1)



где t – время, в течение которого определяется P(t);

Т – время работы устройства до первого отказа.

На практике вероятность безотказной работы определяется статистическим путем по результатам испытаний:

 (9.2)

где N0 – число устройств, поставленных на испытание;

N(t) – число устройств, отказавших к моменту времени t.

При этом под отказом понимается событие, в результате которого устройство не выполняет своих функций в установленном объеме.

Частотой отказов F(t) называется отношение числа отказавших устройств в единицу времени к общему числу устройств, поставленных на испытание:

 (9.3)

где n(ti) – число отказавших устройств в интервале времени (t-0.5ti; t+0.5ti).

Интенсивностью отказов называется отношение числа отказавших устройств в единицу времени к среднему числу устройств, исправно работающих в данном промежутке времени:

 (9.4)

где Nср – число устройств, исправно работающих в данном промежутке времени ti.

Интенсивность отказов устройства можно определить с помощью усредненных значений интенсивности отказов элементов. Для устройства, состоящего из n элементов с одинаковой интенсивностью отказов, средняя интенсивность определяется выражением:

 (9.5)

где Асрi – интенсивность отказов одного элемента.

Интенсивность отказов устройства, состоящего из k групп элементов с одинаковой интенсивностью отказов Асрi, может быть вычислена по формуле:

 (9.6)

где ni – число элементов в i – ой группе.

Среднее время безотказной работы определяется как математическое ожидание исправной работы элемента или устройства до первого отказа и определяется выражением:

 (9.7)

Определим надежность устройства за период эксплуатации длительностью t=10000ч в нормальных условиях.

Наименование элементов входящих в систему, их интенсивности отказов приведены в таблице 9.1.

Приняты следующие обозначения:

ni - число элементов i-го типа;

Асрi - усредненное значение интенсивностей отказов элементов i-го типа.

Надежность оценим при Kн=1 для всех элементов.

Таблица 9.1 - Оценка надежности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № пп | Наименование и тип элемента | Кол-во элементов ni | Интенсивность отказов при комплексном режиме Асрi 1/ч | Интенсивность отказов изделия из-за элементов i-го типа niЧАсрiЧ10-6, 1/ч |
| 1 | Приемо-передающий модуль | 4 | 10-8 | 4\*10-8 |
| 2 | Модуль МД1-6 | 1 | 10-9 | 10-9 |
| ИТОГО | | 4.1\*10-8 | | |

Согласно данным в таблице 9.1.

1/ч



Вычислим среднее время безотказной работы (формула 9.7)



Вероятность безотказной работы устройства не должна быть меньше 0,97. На практике наиболее часто интенсивность отказов изделий является величиной постоянной. При этом время возникновения отказов обычно подчинено экспоненциальному закону распределения и определяется так:

 (9.8)



Расчеты вероятности безотказной работы являются весьма приближенными, хотя ориентировочно позволяют оценить показатели надежности. Проведенный ориентировочный расчет основных характеристик надежности показывает, что увеличения надежности с помощью дополнительных мер не требуется.

# Заключение

В данном проекте мной был произведен расчет ЦРРЛ на участке газопровода «Томск-Чажемто». Данный участок представляет собой лишь часть трубопровода магистрального значения Нижневартовск-Томск-Кузбасс, поэтому акцент при выборе оборудования делался на возможность передачи больших объемов информации. На данный момент технологическая связь на проектируемом участке осуществляется при помощи РРЛ «Трал 400/24», сданной в начале 80-х годов; поэтому необходимость обновления средств связи в ООО «Томсктрангаз» в последние несколько лет стоит особенно остро.

Выбор оборудования для организации ЦРРЛ на аппаратуре SDH произведен по следующим соображениям: во-первых, из-за экономической эффективности, что отображено в ТЭО проекта, а во-вторых, с учетом обеспечения резерва расширения связи в течение ближайших десяти лет. В качестве основного поставщика РРЛ аппаратуры выбрана НПФ ООО «Микран» и ее оборудование **МИК-РЛ7С. Преимущества данного оборудования:**

* **возможность использования при низких температурах (- 550);**
* **близость поставщика и его сервисного центра;**
* **малая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами.**

**В то же время существует ряд недостатков:**

* **нет наработанной эксплуатационной статистики в северных условиях (выше 600 с.ш.);**
* **сложность расширения системы (на данный момент реализованы конфигурации 2+1, 2+0, 1+1);**
* **параметры аппаратуры немного хуже зарубежных аналогов.**

Одна из задач в ТЗ состояла в разработке схемы организации связи на проектируемом участке. Для построения такой схемы необходимо точно представлять себе структуру и функциональные возможности поставляемого фирмой радиорелейного оборудования. Мной была проанализирована информация о радиорелейном оборудовании таких фирм, как Nec, Nera и Harris. Было выявлено, что наиболее используемыми радиорелейными решениями для организации связи на потоке STM-1, являются Nec DMR3000S, Nec Pasolink+, Harris TRuepoint, Nera InterLink и CityLink. Хотя в отношении DMR3000S и Nera InterLink были найдены хорошие отзывы, основная проблема встала в нахождении схем организации связи на данном оборудовании. Именно, это позволило сделать окончательный выбор по использованию аппаратуры **МИК-РЛ7С.**

Расчет коэффициента неготовности РРЛ был выполнен по методике Nera, также как и найдены высоты подвеса антенн. Другой важный параметр SESR, был найден при помощи программы Territories, поскольку его точной методики расчета мной не было найдено. Необходимость пространственного разнесения антенн определялась по коэффициенту SESR, нормы на который были взяты из рекомендации G.826 ITU-T. Таким образом, ПРП был использован на пролетах Тунгусово-Кривошеино, Володино-Вознесенка и Киреевск-Кисловка. Высоты подвеса антенн выбирались исходя из высоты проектируемых или существующих башен связи, а также обеспечения просвета между препятствием на участке профиля и первой зоны Френеля. Тем не менее, в некоторых случаях допускалось частичное закрытие зоны (по нормам при РРВ нет существенного влияние на уровень сигнала при закрытии трассы до 60% от первой зоны Френеля передатчика).

Расчет экономического эффекта от реконструкции существующей РРЛ «Трал 400\24» наиболее простым методом в виде подсчета получения прибыли от сдачи в аренду 15 каналов E1 позволил примерно оценить срок окупаемости проекта в 5 лет. На самом деле расчет прибыльности инвестиций в систему связи такого уровня намного сложнее, в том числе, нужно учесть: старение существующего оборудования и постоянное увеличение затрат на его обслуживание; аренду потоков для реализации схем взаиморезервирования и т.д.

# Список использованных источников

1. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов - СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03.

2. Евсеенко Г. Н. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005. — 100 с.

3. Маковеева М. М., Шинаков Ю. С., Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов – М.: Радио и связь, 2002 – 440 с.

4. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, Москва, 1987 г., 243 с.

5. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1987. – 192с.

6. М. А. Баркун, О. Р. Ходасевич - Цифровые системы синхронной коммутации. -М.:Эко-Трендз, 2001 г. 187 с.

7. Правила по охране труда при работах на радиорелейных линиях связи - ПОТ РО-45-010-2002;

8. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 1994г. 153с.

9. Руководство по дипломному проектированию: Учебно-методическое пособие/ Афонасова М.А., Мотошкин В.В., Сербин Э.Ф. и др.-Томск, 2000. – 191 с.

10. Система сигнализации ОКС №7 – М.: Радио и связь. 2002. 368 с.

11. Справочник по радиорелейным системам; Международный союз электросвязи, - Бюро радиосвязи, 1996 г., Женева 354 с.

12. Телекоммуникационные системы и сети. Т1: Учеб. Пособие/ Крук Б. И., Попантонопуло В. Н., Шувалов В. П., - Изд. 2-е, испр и доп., - Новосибирск: Сиб. предприятие «Наука» РАН, 1998 г 523 с.

# 



# Приложение А Параметры оборудования



# Приложение Б Распределение потоков Е1

# Приложение В Пример расчета характеристик пролета в Matchad

# 



РТФ ДП.464543.001 Э3 ЦРРЛ Томск-Чажемто Схема структурная