

Министерство образования и науки Российской Федерации
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Факультет «Высшая школа электроники и компьютерных наук»
Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

“ _____ ” _____ 2017 г.

**Проектирование базовой станции сети связи стандарта GSM
в Челябинской области**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ - Д 11.03.02.2017.113.00 ПЗ

Руководитель работы
Новиков В.В. _____

“ _____ ” _____ 2017 г.

Автор работы
студент группы КЭ-438
Искаков Н.Т.

“ _____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер
Спицына В.Д. _____

“ _____ ” _____ 2017г.

Челябинск
2017

РЕФЕРАТ

Искаков Н.Т. Проектирование базовой станции сети связи стандарта GSM в населенном пункте Челябинской области. - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2017, 54 с., 1 табл., 3 ил., библиогр. список - 22 найм., 1 чертеж и 2 плаката ф. А1.

В данном проекте рассматривается вопрос строительства базовой станции (БС) «Сухтелинский» цифровой сотовой системы связи стандарта GSM по адресу: Челябинская обл., территориально-административная принадлежность Верхнеуральский р-н п.Сухтелинский частная АЗС.

Выбрано местоположение БС в сельской местности Верхнеуральского района поселка Сухтелинский, учитывающее пути подъезда и энергоснабжения.

Произведен расчет покрытия программным методом с помощью Google , а также вручную с помощью модели Хата. Данные обоих расчетов сходятся, то есть можно говорить о достоверности проведенных расчетов и правильности выбора местоположения БС.

Произведены расчеты радиорелейных линий (РРЛ) связи с соседними станциями: БС «Петропавловский», БС «Арсинский», БС «Кассельский» по соответствующим профилям местности. Показано, что проектируемые РРЛ полностью удовлетворяют требованиям по качеству и надежности связи и обеспечивают расширение и оптимизацию собственной транспортной сети ОАО «МТС».

					<i>ЮУрГУ-Д 11.03.02.17.113.00 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Искаков Н.Т.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Новиков В.В.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д.</i>			<i>ЮУрГУ, кафедра ИКТ</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>					

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ технического задания.....	8
2 Выбор площадки для базовой станции.....	11
3 Расчет радиопокрытия базовой станции.....	16
4 Расчет радиорелейных линий связи и интеграция в существующую транспортную сеть.....	23
5 Электроснабжение базовой станции.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Сотовая связь - один из видов радиосвязи, в основе которого лежит сотовая сеть. Ключевая особенность: общая зона покрытия делится на ячейки (соты), определяющиеся зонами покрытия базовых станций. Соты перекрываются и вместе образуют сеть. На идеальной поверхности зона покрытия одной базовой станции представляет собой круг, поэтому составленная из них сеть имеет вид сот с шестиугольными ячейками. В английском варианте связь называется «ячеистой» или «клеточной» (cellular).

Сеть составляют разнесённые в пространстве приёмопередатчики, работающие в одном и том же частотном диапазоне, и коммутирующее оборудование, позволяющее определять текущее местоположение подвижных абонентов и обеспечивать непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одного приёмопередатчика в зону действия другого. Основные составляющие сотовой сети - это сотовые телефоны и базовые станции. Базовые станции обычно располагают на крышах зданий и вышках. Будучи включённым, сотовый телефон прослушивает эфир, находя сигнал базовой станции. После этого телефон посылает станции свой уникальный идентификационный код. Телефон и станция поддерживают постоянный радиоконтакт, периодически обмениваясь пакетами. Связь телефона со станцией может идти по аналоговому протоколу (AMPS, NAMPS, NMT-450) или по цифровому (DAMPS, CDMA, GSM, UMTS). Если телефон выходит из поля действия базовой станции, он налаживает связь с другой (англ, handover).

Сотовые сети могут состоять из базовых станций разного стандарта, что позволяет оптимизировать работу сети и улучшить её покрытие.

Сотовые сети разных операторов соединены друг с другом, а также со стационарной телефонной сетью. Это позволяет абонентам одного оператора делать звонки абонентам другого оператора, с мобильных телефонов на стационарные и со стационарных на мобильные.

GSM (от названия группы Groupe Special Mobile, позже переименован в Global System for Mobile Communications) (русск. СПС-900) - глобальный цифровой стандарт для мобильной сотовой связи, с разделением канала по принципу TDMA и высокой степенью безопасности благодаря шифрованию с открытым ключом. Разработан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 80-х годов.

GSM относится к сетям второго поколения (2 Generation), хотя на 2006 год условно находится в фазе 2,5G (1G - аналоговая сотовая связь, 2G - цифровая сотовая связь, 3G - широкополосная цифровая сотовая связь, коммутируемая многоцелевыми компьютерными сетями, в том числе Интернет).

Сотовые телефоны выпускаются для 4 диапазонов частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц. Существуют также, и довольно распространены, мультидиапазонные (Dual-Band, Multi-Band) телефоны, способные работать в диапазонах 900/1800 МГц, 850/1900 МГц, 900/1800/1900 МГц.

Основная задача сети СПС стандарта GSM-900/1800 заключается в организации автоматической телефонной связи между подвижными абонентами, подвижными и стационарными абонентами сети связи общего пользования, а также предоставление дополнительных услуг, поддерживаемых данным стандартом. Сеть цифровой сотовой связи стандартов GSM-900/1800 является составной телекоммуникационной сетью, состоящей из подсистемы базовых станций (BSS), включающей в себя базовые станции (BTS) и контроллеры (BSC), коммутационного центра (MSC) и центра управления и обслуживания (NMC&OMC).

1 Анализ технического задания

Основная функция подсистемы BTS - реализация связи с мобильными абонентами по радиointерфейсу, модуляция-демодуляция радиосигналов, кодирование-декодирование сообщений. Контроллер BSC предназначен для распределения радиоканалов, контроля соединения абонентов, обеспечения функций хэндовера и других задач связанных с управлением и контролем радиointерфейсов базовых станций. Коммутационный центр MSC обеспечивает все виды соединений в своей зоне обслуживания, осуществляет коммутацию каналов и маршрутизацию вызовов, управляет функциями роуминга и предоставляет определенный набор сервисных услуг.

Центр управления и обслуживания NMC&OMC обеспечивает мониторинг сети и предоставляет программный доступ в оборудование с целью устранения неисправностей.

В данном проекте рассматривается вопрос проектирования БС «Сухтелинский» цифровой сотовой системы связи стандарта GSM по адресу: Челябинская область, территориально-административная принадлежность Верхнеуральского района поселка Сухтелинский.

Основная задача проектируемой базовой станции - организация автоматической телефонной связи между подвижными абонентами, подвижными и стационарными абонентами сети связи общего пользования, а также предоставление дополнительных услуг, поддерживаемых стандартом GSM.

Также целью разработки данного проекта является развитие транспортной сети связи ОАО «МТС».

Общий процесс проектирования можно условно разделить на следующие этапы:

- сбор исходных данных для выполнения проектных работ.
- выбор места размещения базовой станции.
- получение технических и коммерческих условий размещения базовой станции.
- при необходимости выполнение дополнительных изысканий: топографических, инженерно-геодезических, инженерно-геологических и т.п.
- разработка основных технических решений, технических предложений.

Исходя из условий задания на проектирование, место расположения БС: Челябинская область, территориально-административная принадлежность Верхнеуральского района, поселок Сухтелинский. Данное место расположения позволит БС обеспечить радиопокрытие в г.Верхнеуральске .

Организация соединительных радиорелейных линий связи с соседними станциями: БС «Петропавловский», БС «Арсинский», БС «Кассельский» обеспечит связью данной БС «Сухтелинский» с коммутационным центром MSC ОАО «МТС», а также расширит собственную транспортную сеть связи Компании, обеспечив резервирование линий и увеличение скоростей обмена данными.

Планируется применять на базовой станции основное радиотехническое оборудование фирмы «Ericsson RBS6601» и « Motorola Horizon II macro» как хорошо зарекомендовавшее себя в аппаратном обеспечении предыдущих проектов ОАО «МТС», обеспечивающее высокий уровень надежности и функциональности при оптимальном уровне цен.

Плотность абонентов в зоне покрытия БС планируется невысокой, поэтому нужно обеспечить как можно большую площадь, покрываемую данной БС. Также необходимо обеспечить прямую видимость до БС «Магнитогорск», БС «Арсинский», БС «Чебаркуль» в целях организации РРЛ. Для этого необходимо устанавливать антенное оборудование на башне высотой порядка 70 м.

Проектируемое оборудование базовой станции планируется размещать в приспособляемом контейнере-аппаратной. Решающими критериями при размещении внутреннего оборудования являются:

- обеспечение требуемых размеров проходов для возможности эксплуатации оборудования;
- прокладка кабелей и проводов по кабельростам и кабельным каналам с учетом минимальных расстояний;
- выполнение требований техники безопасности при работах на базовой станции;
- обеспечение технической эстетики и максимально возможного удобства обслуживания в контейнере-аппаратной

2 Выбор площадки для базовой станции

Сети мобильной связи разделены на географические области, называемые “сотами”, каждая из которых обслуживается базовой станцией. Мобильные телефоны являются абонентским каналом связи с сетью. Система спланирована для обеспечения постоянного контакта мобильных телефонов с сетью, по мере того как пользователи перемещаются от одной соты к другой.

Для связи друг с другом, мобильные телефоны и базовые станции обмениваются радиосигналами. Уровень данных сигналов тщательно оптимизируется для удовлетворительной работы сети. Они также жестко регулируются для предотвращения интерференции с другими системами радиосвязи, используемыми, например, аварийными службами, такси, а также радио и телевидением.

Базовую станцию «Верхнеуральск» планируется установить в Челябинской области, к юго-западу от города Магнитогорск в его территориально-административной принадлежности . Данное место расположения позволит БС обеспечить радиопокрытие вдоль автодорог в сторону г. Магнитогорск . Также будет обеспечено покрытие вдоль автодороги в сторону п. Краснинский и п. Петропавловский

На рисунке 3.2 видно месторасположение базовой станции относительно г.Верхнеуральск, п. Сухтелинский и трассы. Планируемые направления секторов должны обеспечить отличное радиопокрытие вдоль трассы в районе БС, а также обеспечится хороший уровень сигнала в п. Краснинский, так как БС «Сухтелинский» будет установлена на возвышенности, а поселок Сухтелинский расположено на склоне, обращенном к БС, и между ними относительно равнинная местность.

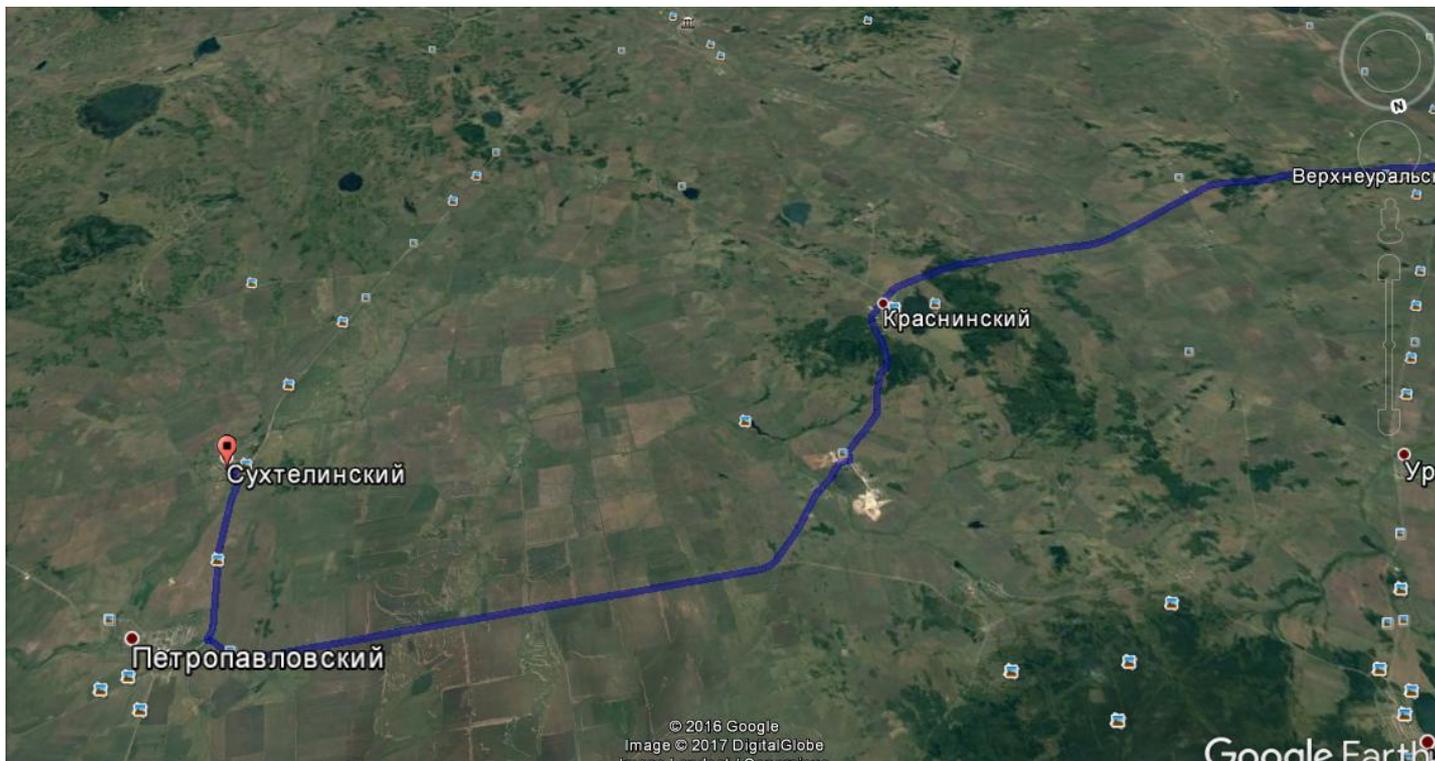


Рисунок 3.2 - Фото со спутника относительно г. Верхнеуральск и п. Сухтелинский

На рисунке 3.3 видна организация соединительных радиорелейных линий связи с соседними станциями: БС «Петропавловский», БС «Арсинский», БС «Кассельский» обеспечит связь данной БС «Сухтелинский» с коммутационным центром MSC ОАО «МТС», а также расширит собственную транспортную сеть связи Компании, обеспечив резервирование линий и увеличение скоростей обмена данными. Так как БС «Сухтелинский» планируется установить на равнине, то видимость до вышеуказанных станций будет относительно несложно обеспечить.

Также на рисунке 3.4 видно направления проезда и электроснабжения

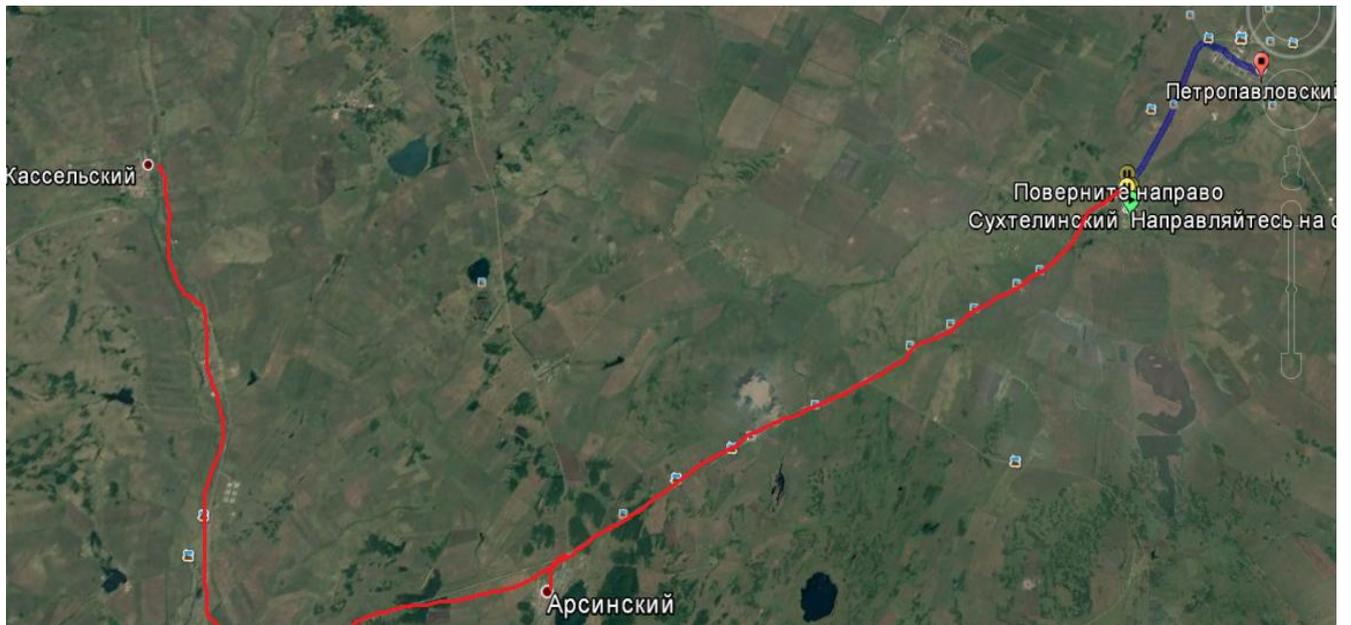


Рисунок 3.3 - Фото со спутника с указанием направлений РРЛ

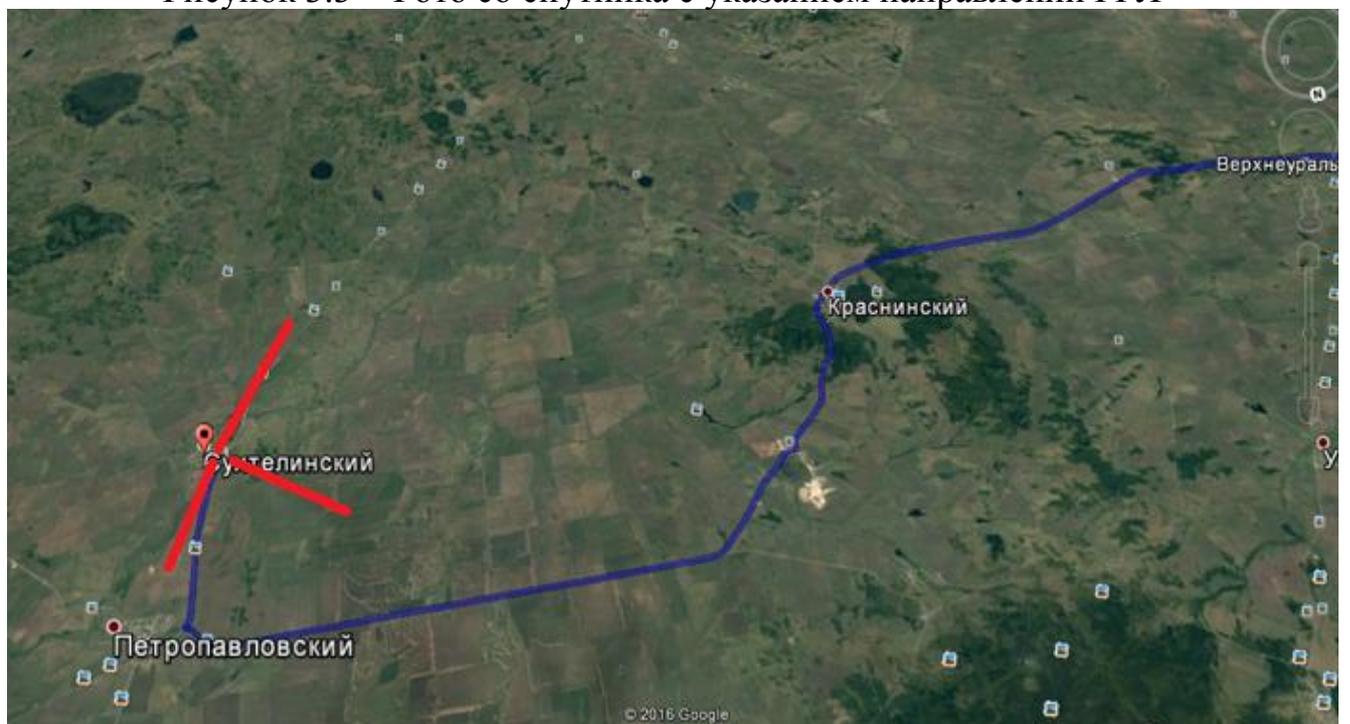


Рисунок 3.4 - Фото со спутника с указанием проезда и электроснабжения

БС «Сухтелинский» планируется разместить на окраине поселка . На рисунке 3.5 изображен общий вид данного места, на рисунке 3.6 - фото со спутника. Тем самым к месту размещения БС были обеспечены необходимые пути подъезда, а также электроснабжение. Так как данное место достаточно ровное и имеет необходимую площадь для строительства БС, то отсутствует необходимость в дополнительной вырубке деревьев, что является трудносогласуемым с местными властями процессом.



Рисунок 3.5 - Фото на местности

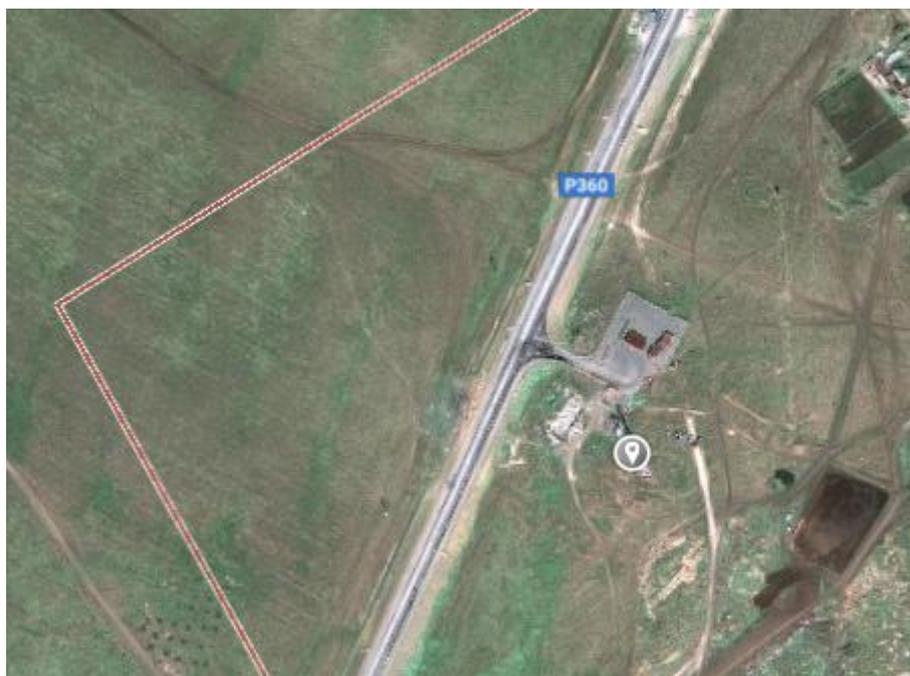


Рисунок 3.6 - Фото со спутника

А также на рисунке 3.7 видно расположение БС «Сухтелинский» и рельеф данной местности.

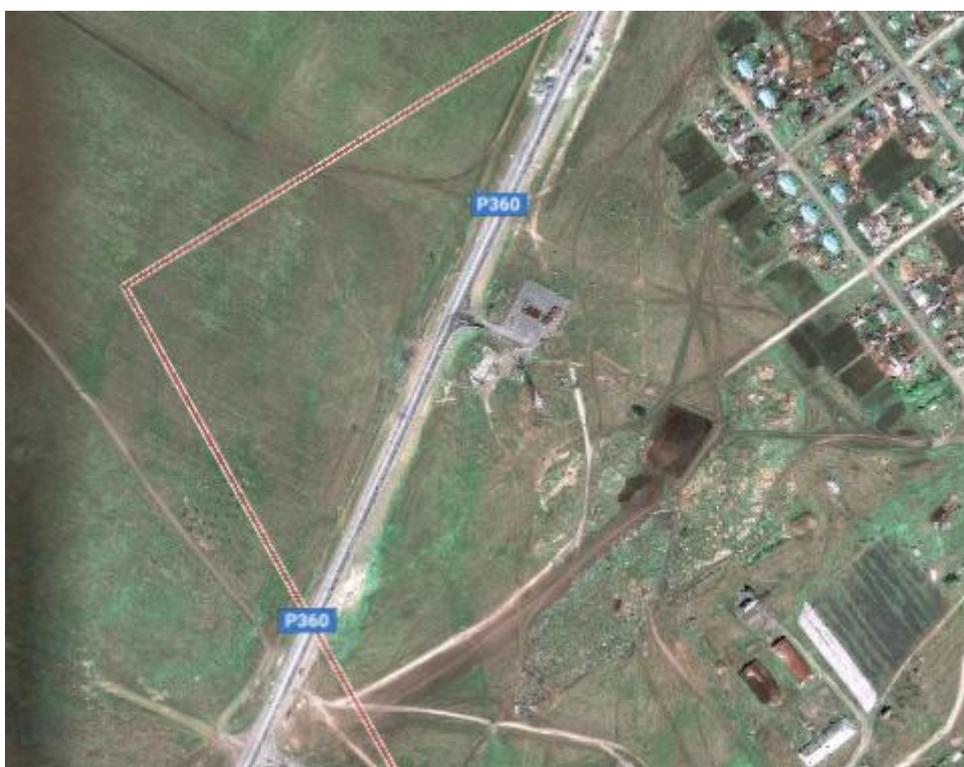


Рисунок 3.7 - Рельеф местности на фото со спутника

3 Расчет радиопокрытия базовой станции

Главными характеристиками сотовой сети являются с технической точки зрения:

- частотно-территориальное планирование;
- максимальная нагрузка.

Поэтому проектирование сотовой сети связано в первую очередь с этими двумя аспектами.

При этом (на стадии обоснования проекта) возникает конфликт из-за противоположности направлений решения задачи с точки зрения техники и экономики, ведь наращивание пропускной способности требует увеличения затрат на оборудование, которые строго ограничиваются. В таком случае приходится искать оптимальное решение, балансируя статистическими критериями при анализе нагрузки на каждую отдельно взятую соту и используя эмпирические модели распространения радиоволн в реальных условиях.

Ниже представлен один из возможных вариантов расчета зоны покрытия отдельно взятой базовой станции. Получение действительно точных данных при таком сильном масштабировании уже считается сложной задачей, а анализ сети в целом вообще на данный момент является лишь частично решенной задачей.

Эмпирическая модель Хата часто применяется при расчете зоны покрытия базовой станции, так как она рекомендована Международным Консультативным Комитетом по Радиосвязи (МККР) и довольно проста в применении. Эта модель позволяет вычислить потери на радиотрассе для конкретной местности и параметров базовой станции.

В компании «МТС» используется программный пакет ASSET3G, позволяющий автоматизировано планировать и оптимизировать радиопокрытие сети для технологий 2G/3G.

В данном программном продукте для расчетов в режиме «Standart Macrocell» используется именно модель Хата (ETSI Hata) с несколькими дополнительными режимами, обеспечивающими гибкость и точность при расчетах.

Средний уровень потерь на радиотрассе, следуя эмпирической модели Хата, определяется следующим образом:

$$L = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{bs}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{bs})] \cdot \lg(r) + \alpha(h_{as}) - \alpha(U_r) + \alpha(b) + \alpha(H_{bs}, f), \text{ (дБ)}, \quad (4.1)$$

где f - [100;3000]-частота, (МГц);

H_b = [30; 300] - высота базовой станции, (м);

r = [1; 100] - расстояние между базовой станцией и абонентской станцией, (км);

h = [1;3] - высота абонентской станции, (м);

$$\alpha(h_{as}) = (1 - U) \cdot \beta_1 + U \cdot (\beta_2 \cdot F_1 + \beta_3 \cdot F_2) \quad (4.2)$$

- коэффициент, учитывающий высоту антенны абонентской станции ($U = 0$ для небольшого или среднего города, $U = 1$ для большого города);

$$\beta_1 = (0,7 - 1,11g(f)) \cdot h_{as} + 1,56 \cdot \lg(f) - 0,8, \quad (4.3)$$

$$\beta_2 = 1,1 - 8,29 \cdot \lg^2(1,54 \cdot h_{as}), \quad (4.4)$$

$$\beta_3 = 4,97 - 3,2 \cdot \lg^2(11,75 \cdot h_{as}), \quad (4.5)$$

$$F_1 = \frac{300^4}{f^4 + 300^4}, \quad (4.6)$$

$$F_2 = \frac{f^4}{f^4 + 300^4}, \quad (4.7)$$

$$\alpha(U_r) = (1 - U_r) \cdot ([1 - 2 \cdot U_r] \cdot \gamma_1 + 4 \cdot U_r \cdot \gamma_2) \quad (4.8)$$

- коэффициент, учитывающий характер местности ($U_r = 0$ для сельской местности, $U_r = 0.5$ для пригорода, $U_r = 1$ для города);

$$\gamma_1 = 4,78 \cdot \lg^2(f) - 18,33 \cdot \lg(f) + 40,94, \quad (4.9)$$

$$\gamma_2 = 2 \cdot \lg^2\left(\frac{f}{28}\right) + 5,4; \quad (4.10)$$

$$\alpha(b) = 25 \cdot \lg(b) - 30$$

- коэффициент, отражающий влияние плотности застройки,

$b=[3;50],(\%)$ –плотность застройки;

$$\alpha(H_{bs}, f) = (27 + f/230) \cdot \lg \cdot (17(H_{bs} + 20)/17(H_{bs} + 20) + r^2) + 1,3 - f - 55/750$$

-коэффициент, учитывающий сферичность Земли (вводится,если $0,2R_0 < r \leq 0,8R_0$, где R_0 –расстояние прямой видимости).

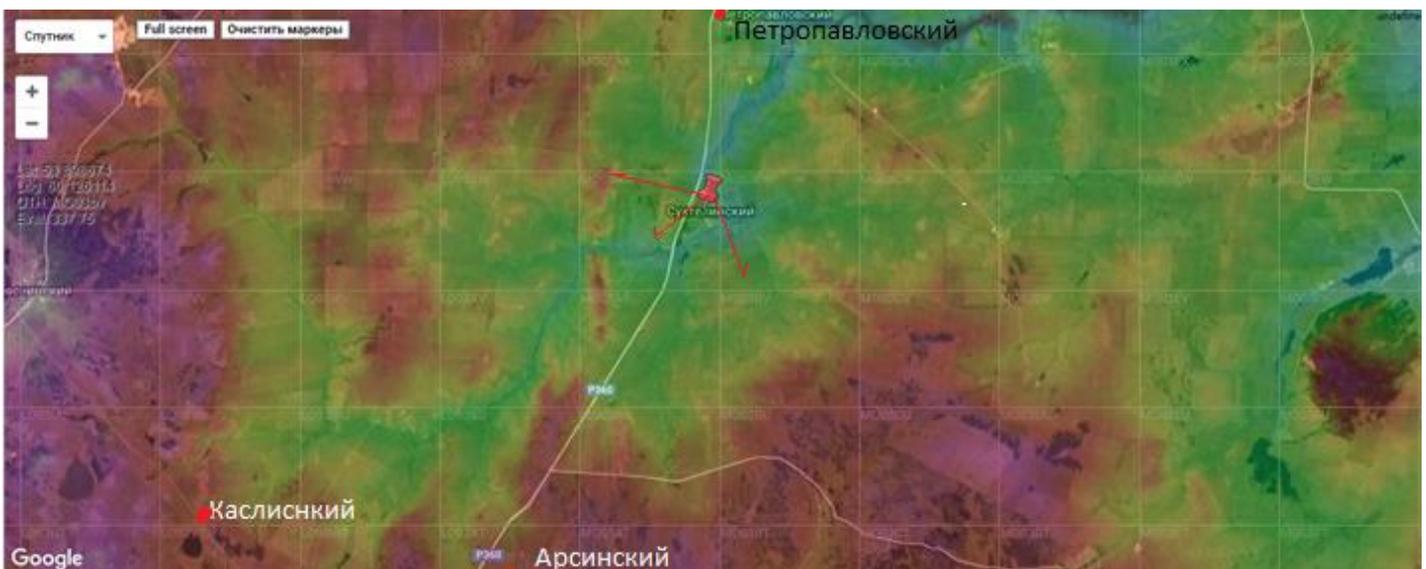


Рисунок 4.1 – Карта Google с рассчитанным радиопокрытием

На рисунке 4.1 изображена карта Google с рассчитанным радиопокрытием . Для расчета использованы топографические карты ГИС. Красным цветом обозначена местность с уровнем приема более или равном минус 70 дБм, желтым цветом - от минус 70 до минус 85 дБм, зеленым - от минус 85 до минус 95 дБм, серо-голубым - от минус 95 до минус 100 дБм.

На рисунке 4.2 видно три контрольные точки для расчета уровня сигнала по вышеупомянутым формулам модели Хата. Эти точки обозначены на рисунке 4.2. Точка 1 взята в с.Петропавловский, точки 2 и 3 - на трассе Р360 в сторону г. Магнитогорск .

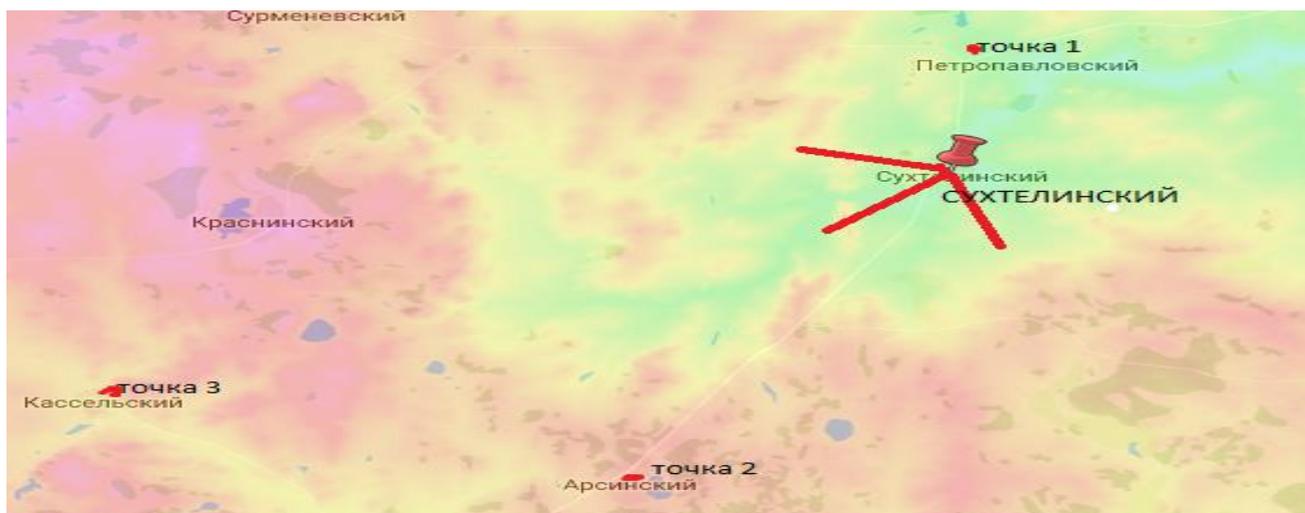


Рисунок 4.2 - Карта Google с указанием контрольных точек
Эти точки взяты исходя из технического задания - именно в их окрестностях

планируется обеспечение хорошего уровня радиосигнала. Расстояние от БС «Сухтелинский» до точки 1 - 5 км, до точки 2 и точки 3 - по 15 км.

Подставив нужные данные, мы получим из формулы (4.1) функцию $L(R)$

Исходя из выходной мощности передатчика P (дБ), запаса по замираниям уравнение для нахождения R - максимального расстояния от БС, на котором достигается требуемое качество связи:

$$P - L - S = Q, \quad (4.13)$$

Задавая соответствующие параметры P {дБ}, L {дБ}, Q {дБ}, можно вычислить расстояние уверенной связи R ; на основании этих данных строится зона покрытия БС с точки зрения качества сигнала (без учета нагрузки на соту и возможностей БС по пропускной способности).

На рисунке 4.3 показан характерный вид функции уровня сигнала в зависимости от расстояния между БС и абонентом. Пересечение этой функции с прямой Q дает значение максимального значения радиуса зоны обслуживания, при котором еще предоставляются услуги требуемого качества. Для стандарта GSM $R=3...10$ км (в отдельных случаях до 30 км).

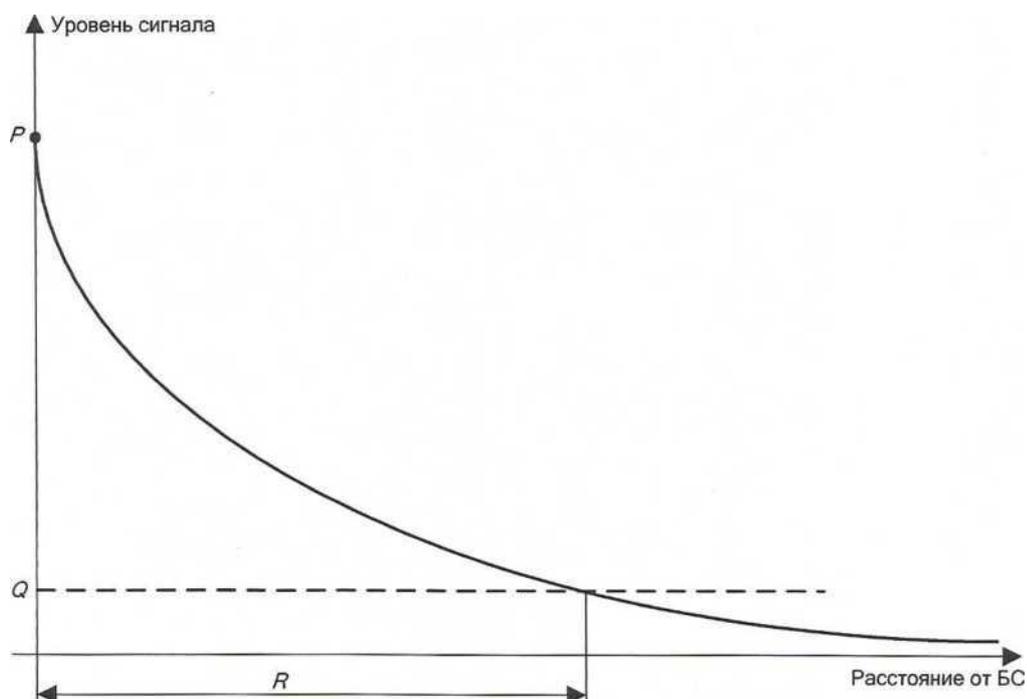


Рисунок 4.3 - График зависимости уровня сигнала от расстояния до БС

Определим основные параметры для

расчетов: $f= 900$ МГц ;

$H_{bs} = 70$ м ;

$h_{as} 1,7$ м ,

Примем, что данная местность является сельской местностью с плотностью застройки 5%.

Расчет для точки 1

$$\beta_1 = (0,7 - 1,11g900) \cdot 1,7 + 1,56 \cdot \lg 900 - 0,8 = -0,526 , \quad (4.14)$$

$$\beta_2 = 1,1 - 8,29 \cdot \lg^2(1,54 \cdot 1,7) = -0,348, \quad (4.15)$$

$$\beta_3 = 4,97 - 3,2 \cdot \lg^2(11,75 \cdot 1,7) = -0,442; \quad (4.16)$$

$$F_1 = \frac{300^4}{900^4 + 300^4} = 0,012; \quad (4.17)$$

$$F_2 = \frac{900^4}{900^4 + 300^4} = 0,988; \quad (4.18)$$

$$\alpha(h_{as}) = (1 - 0) \cdot (-0,526) + 0 \cdot (-0,348 \cdot 0,012 - 0,442 \cdot 0,998) = -0,526; \quad (4.19)$$

$$\gamma_1 = 4,78 \cdot \lg^2(900) - 18,33 \cdot \lg(900) + 40,94 = 28,51 , \quad (4.20)$$

$$\gamma_2 = 2 \cdot \lg^2\left(\frac{900}{28}\right) + 5,4 = 9,94 ; \quad (4.21)$$

$$\alpha(U_r) = (1 - 0) \cdot ([1 - 2 \cdot 0] \cdot 28,51 + 4 \cdot 0 \cdot 9,94) = 28,51 \quad (4.22)$$

$$\alpha(b) = 25 \cdot \lg(5) - 30 = -12,53; \quad (4.23)$$

$$\alpha(H_{bs}, f) = (27 + 90/230) \cdot \lg \cdot (17 \cdot (70 + 20)/17 \cdot (70 + 20) + 5^2) + 1,3 - - (900 - 55/750) = -0,04 \quad (4.24)$$

$$L_1 = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(900) - 13,82 \cdot \lg(70) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(70)] \cdot \lg(5) - -0,526 - 28,51 - 12,53 - 0,04 = 105,2 \text{ дБ.} \quad (4.25)$$

Расчет для точки 2

Так как данные точки расположены на автодороге, то примем, что $h_{as}=1$ м

$$\beta_1 = (0,7 - 1,11g900) \cdot 1 + 1,56 \cdot \lg 900 - 0,8 = 1,26 , \quad (4.26)$$

$$\beta_2 = 1,1 - 8,29 \cdot \lg^2(1,54 \cdot 1) = 0,81, \quad (4.27)$$

$$\beta_3 = 4,97 - 3,2 \cdot \lg^2(11,75 \cdot 1) = 1,31; \quad (4.28)$$

$$F_1 = \frac{300^4}{900^4 + 300^4} = 0,012, \quad (4.29)$$

$$F_2 = \frac{900^4}{900^4 + 300^4} = 0,988; \quad (4.30)$$

$$\alpha(h_{as}) = (1 - 0) \cdot (1,26) + 0 \cdot (0,81 \cdot 0,012 - 1,31 \cdot 0,988) = 1,26 \quad (4.31)$$

$$\gamma_1 = 4,78 \cdot \lg^2(900) - 18,33 \cdot \lg(900) + 40,94 = 28,51 , \quad (4.32)$$

$$\gamma_2 = 2 \cdot \lg^2\left(\frac{900}{28}\right) + 5,4 = 9,94 ; \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} \alpha(U_r) &= (1 - 0) \cdot ([1 - 2 \cdot 0] \cdot 28,51 + 4 \cdot 0 \cdot 9,94) \\ &= 28,51 \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$\alpha(b) = 25 \cdot \lg(5) - 30 = -12,53; \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} &\alpha(H_{bs}, f) \\ &= (27 + 90/230) \cdot \lg \cdot (17 \cdot (70 + 20)/17 \cdot (70 + 20) + 7^2) + 1,3 \\ &- (900 - 55/750) = -0,24 \end{aligned} \quad (4.36)$$

$$\begin{aligned} L_{2,3} &= 69,55 + 26,16 \cdot \lg(900) - 13,82 \cdot \lg(70) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(70)] \cdot \\ &\lg(15) + 1,26 - 28,51 - 12,53 - 0,24 = 119,9 \text{ дБ.} \end{aligned} \quad (4.37)$$

Выходная мощность планируемой базовой станции «Сухтелинский» с учетом потерь в фидере и усиления антенн будет составлять 55 дБм. Запас на замирания берется в зависимости от вероятности потери связи. В используемой модели запас равен 20 дБ.

$$Q_1 = 55 - 130,4 - 20 = -70,2 \text{ дБ}; \quad (4.38)$$

$$Q_2 = 55 - 109,04 - 20 = -84,9 \text{ дБ} \quad (4.39)$$

Данные уровни сигналов полностью соответствуют рассчитанным с помощью программы (желтый цвет на рисунке 4.2 - от минус 70 до минус 85 дБм). Таким образом можно говорить о достоверности проведенных расчетов и правильности выбора местоположения базовой станции.

4 Расчет радиорелейных линий связи и интеграция в существующую транспортную сеть

Расчёт РРЛ - один из основных этапов её планирования. Цель расчёта состоит в определении пригодности выбранного размещения РРС на планируемой трассе для обеспечения требуемого качества связи по её каналам.

Качество РРЛ связано со степенью искажений сигналов на её интервалах. Поэтому методология расчёта РРЛ сводится к расчёту её интервалов.

Расчёт интервалов (определение их пригодности для обеспечения связи с требуемым качеством Q) производится на основе двух уравнений, связывающих параметры РРС и интервалов с качеством связи на этих интервалах.

Первое уравнение, называемое уравнением передачи, связывает мощность сигнала на входе приёмника с энергетическими параметрами РРС и затуханием (ослаблением) радиоволн на интервалах РРЛ (рисунок 5.1).

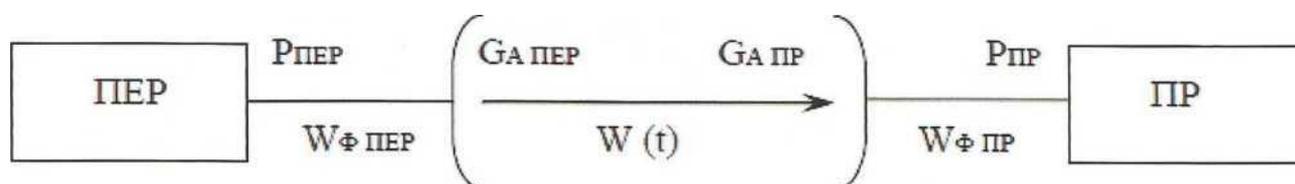


Рисунок 5.1 - Уравнение передачи

Наиболее распространённой является его запись в логарифмических единицах (5.1)

$$P_{np}(t) = P_{ПЕР} - W_{Ф.ПЕР} + G_{А.ПЕР} + G_{А.ПР} - W_{Ф.ПР} - W(t)_{МЕР}, \text{ (дБ)} \quad (5.1)$$

где $P_{np}(t)$ — мощность сигнала на входе приёмника, дБ/Вт;

$P_{ПЕР}$ — мощность передатчика на выходе фидера передающей антенны, дБ/Вт;

$W_{Ф.ПЕР}$ — ослабление радиоволн в фидере соответственно передающей и приёмной антенн, дБ;

$G_{A.ПЕР}$ — коэффициенты усиления антенн соответственно передающей и приёмной, дБ;

$W(t)_{МЕД}$ — медианное ослабление радиоволн без учёта их ослабления на замирания при распространении между антеннами интервала, дБ.

Второе уравнение, называемое уравнением качества, связывает качество связи по каналам интервала РРЛ Q_i с уровнем сигнала на входе приёмника P_{np} (5.2)

$$Q = f(P_{PP}). \quad (5.2)$$

Проверка пригодности интервала проектируемой РРЛ производится по следующему алгоритму: по заданному качеству связи на интервале Q_i определяется мощность сигнала $P_{PP.ТРЕБ}$, требуемая для обеспечения заданного качества Q_i (5.3)

$$P_{PP.ТРЕБ} = F(Q_i). \quad (5.3)$$

Далее производится сравнение реальной, полученной при расчёте из уравнения (5.1) медианной мощности сигнала на входе приёмника $P_{PP.МЕД}$ (без учёта замираний радиоволн на интервале) с $P_{PP.ТРЕБ}$, являющейся реальной чувствительностью приёмника. Очевидно, для обеспечения связи по каналам с заданным качеством необходимо, чтобы $P_{PP.МЕД}$ было больше $P_{PP.ТРЕБ}$ на величину запаса уровня сигнала q_i на замирания

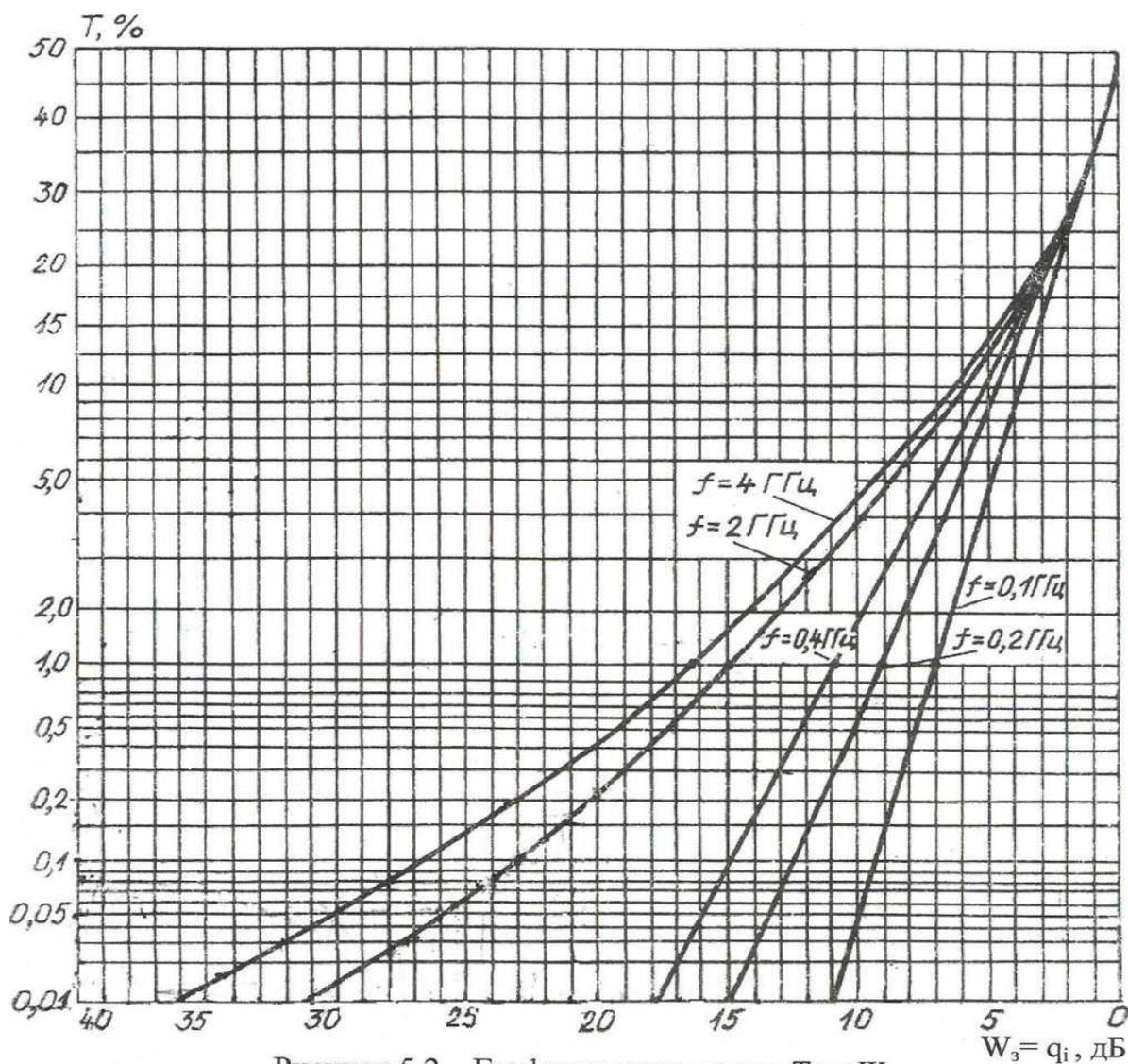
$$q_i = P_{PP.ТРЕБ} - P_{PP.МЕД} \quad (5.4)$$

По величине запаса ВЧ уровня q_i определяется потеря надёжности из-за замираний на интервале РРЛ по графикам зависимости (рисунок 5.2)

$$Ti \% = f(W_z = q_i). \quad (5.5)$$

Исходные данные для расчёта РРЛ

- а) Тип станций, используемых для строительства РРЛ, и их технические характеристики: диапазон частот f_H ч- f_B , мощность передатчика $P_{ПЕР}$, чувствительность приёмника P_{PC} , коэффициент усиления антенн G_A , ослабление сигнала в фидерах W_Φ трактов передачи и приёма.
- б) Требование к качественным характеристикам каналов РРЛ.
- в) Число интервалов в РРЛ полной протяжённости.



Требования к качественным характеристикам каналов РРЛ

Качественными характеристиками каналов цифровых РРЛ являются достоверность передачи Q_D или эквивалентная ей вероятность ошибки $P_{OШ} = 1 - Q_D$ при передаче дискретных сигналов.

Достоверность передачи дискретных сигналов Q_D определяется отношением числа правильно принятых двоичных символов к общему числу символов, переданных за определённый (обычно нормируемый) промежуток времени (сеанс связи). Потеря достоверности $P_{OШ} = 1 - Q_D$ при передаче бинарной информации с установленной скоростью (например, 1200 бит) не должна превышать нормированное значение $P_{OШ.НОМ}$ (например, 10^{-4}) в течение $N\%$ (например, 95%) времени сеанса передачи. При этом потеря надёжности должна составлять менее 5% $T\% < 5\%$ на линию полной протяжённости.

Порядок расчёта РРЛ

По топографической карте выбираются места развёртывания РРЛ на планируемой трассе РРЛ.

Снимается профиль местности и строится в масштабе длин и высот чертёж профиля местности на интервалах РРЛ.

Рассчитывается медианное ослабление радиоволн $W_{МЕД.i}$ (без учёта замираний) на каждом интервале РРЛ.

Определяется величина медианной мощности сигнала на входе приёмника $P_{ПР.МЕД.i}$ каждого интервала.

Рассчитывается величина мощности сигнала, требуемая на входе приёмника для обеспечения связи на линии с заданным качеством, т. е. реальная чувствительность приёмника $P_{PЧ}$,

Определяется запас высокочастотного уровня сигнала на каждом интервале (5.6).

$$q_i = P_{ПР.МЕД.i} - P_{PЧ}. \quad (5.6)$$

По величине запаса q_i определяется потеря надёжности по замираниям на интервалах по графикам зависимости $T_i \% = f(W_3 = q_i)$ (рисунок 5.2).

Формулируется вывод о пригодности интервалов РРЛ для обеспечения связи в линии с заданным качеством. Если $T_i \% \leq T_i \%_{\text{доп}}$ то связь на заданном интервале будет обеспечена с заданным качеством. Расчёт ослабления радиоволны на интервале РРЛ

Расчёт медианного ослабления на интервалах РРЛ $W_{\text{Мед},i}$

Расчёт сводится к определению ослабления радиоволн в свободном пространстве $W_{\text{СВ}}$ и ослабления, вносимого рельефом местности $W_{\text{Р}}$.

$$W_{\text{Мед},i} = W_{\text{СВ},i} + W_{\text{Р},i} \quad (5.7)$$

Величина ослабления радиоволн в свободном пространстве $W_{\text{СВ},i}$ определяется выражением (5.8).

$$W_{\text{СВ},i} = 122 + 20 \lg R[\text{км}] / \lambda[\text{см}], \quad (5.8)$$

Величина ослабления сигнала рельефом местности $W_{\text{Р},i}$ определяется после построения профиля интервала.

Влияние земной поверхности на распространение радиоволн на интервалах РРЛ

Распространение радиоволн непосредственно над земной поверхностью может привести к ряду нежелательных явлений:

- экранированию приёмников РРС от источника излучения (передатчика) рельефом или другими местными предметами (лес, строения и др.);
- появлению отражённых волн от земной поверхности и их интерференции с прямой волной.

Экранирование источника излучения местностью приводит к уменьшению уровня сигнала в точке приёма, т. е. дополнительному ослаблению по сравнению с распространением радиоволн в свободном пространстве. Для характеристики степени экранирования вводится понятие минимальной зоны, существенной для распространения. Под этой зоной понимают отверстие в экране с минимальным радиусом ρ_{min} , при котором поле в точке приёма равно полю свободного пространства, что имеет место при разности хода прямого и отражённого лучей $AC'B-AB=\lambda/6$ (рисунок 5.3).

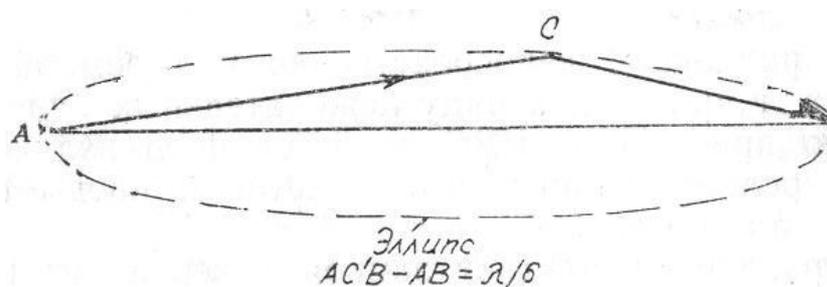


Рисунок 5.3- Минимальная зона, существенная для распределения
В данном случае радиус минимальной зоны определяется как (5.9)

$$\rho_{min} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot R \cdot K(1 - K)}, \quad (5.9)$$

где λ -длина рабочей волны; R-длина интервала; K-относительное расстояние до точки отражения, являющейся серединой препятствия

$K = \frac{R_1}{R}$ (рисунок 5.4).

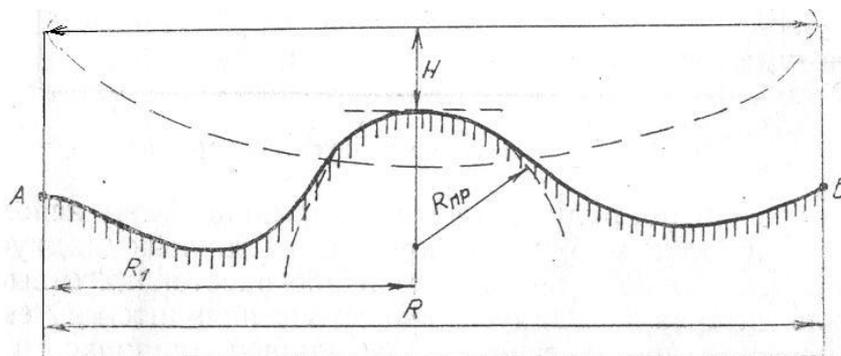


Рисунок 5.4- Относительное расстояние до точки отражения

В этой зоне т.е. когда просвет H между линией прямой видимости и рельефом местности в любой точке интервала больше ρ_{\min} , уровень поля в точке приёма будет пространством, т. е. в противном случае, равен полю экранированием когда $H < \rho_{\min}$, при распространении в свободном пространстве можно пренебречь. В экранирующее действие местности необходимо учитывать.

По этому критерию осуществляется классификация интервалов. Интервал считается открытым (рис. 7), если величина просвета в любой точке интервала больше критической $H_0 = \rho_{\min}$, т. е. при условии (5.10)

$$H \geq H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot R \cdot K(1 - K)} \quad (5.10)$$

Интервал считается полуоткрытым (рис. 5.6), если хотя бы в одной точке интервала условие (5.10) не выполняется, но линия прямой видимости не пересекает рельеф местности и местных предметов, т. е. выполняется условие $0 \leq H \leq H_0$.

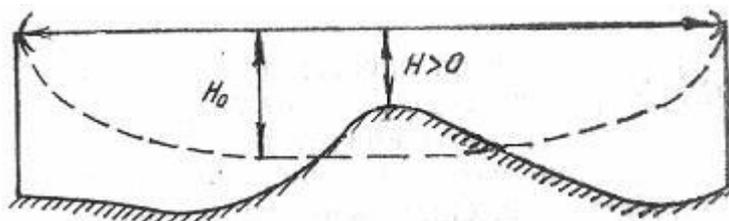


Рисунок 5.6 - Полуоткрытый интервал

Интервал считается закрытым (рис. 5.7), если хотя бы в одной точке интервала линия прямой видимости пересекает препятствия (местные предметы), т. е. при условии $H < 0$.

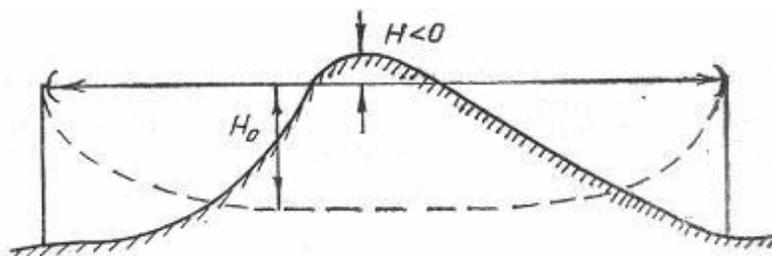


Рисунок 5.7 - Закрытый интервал

Ослабление радиоволн, вносимое рельефом местности, на открытых интервалах

Ослабление рельефом W_{pi} на открытых интервалах определяется в соответствии с выражением (5.11).

$$W_{pi}[\text{дБ}] = 101 \lg \left(1 + \Phi_{\text{эф}}^2 - 2\Phi_{\text{эф}} \cdot \cos \frac{\pi}{3} h^2 \right), \quad (5.11)$$

где $\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент отражения от поверхности Земли в области отражения. $\Phi_{\text{эф}}$ в зависимости от типа поверхности в точке

отражения и диапазона используемых частот приведены в таблице 3; h

– относительный просвет в точке отражения.

Таблица 5.1. – Коэффициент $\Phi_{\text{эф}}$ в зависимости от типа поверхности

Тип поверхности	Коэффициент $\Phi_{\text{эф}}$		
	$\lambda = 7 \text{ см}$	$\lambda = 20 \text{ см}$	$\lambda = 50 \text{ см}$
Водная	0,8 - 0,95	0,9 - 0,95	0,9 - 0,95
Равнина, пойменный луг	0,8	0,8 - 0,9	0,9
Сухая почва, пески	0,3 - 0,5	0,4 - 0,6	0,6 - 0,7
<u>Равнинные участки</u> средне пересеченной местности	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 0,9
Лес	0,3 - 0,4	0,8	0,9

Из выражения (5.11) видно, что значения W_{pi} могут в зависимости от $\Phi_{\text{эф}}$ и h находиться в пределах от минус 3 дБ (при $\Phi=1$ и $\cos \frac{\pi}{3} h^2 = -1$), что соответствует увеличению уровня сигнала в точке приёма по сравнению с прямым лучом в два раза, до бесконечно большого значения $W_{pi} \rightarrow \infty$ при $\Phi=1$ и $\cos \frac{\pi}{3} h^2 = 1$ (случай компенсации поля прямой волны полем отражённой волны).

Расчет медианной мощности сигнала на входе приемника интервала РРЛ

Величина медианной мощности сигнала на входе приёмника интервала РРЛ, т. е. мощность сигнала при отсутствии замираний, находится из первого уравнения передачи (5.1) при известных энергетических параметрах и медианном ослаблении на интервале РРЛ.

Медианное ослабление на интервалах РРЛ определяется как сумма ослабления сигнала свободным пространством и прилегающей поверхностью Земли, рассмотренного ранее .

Расчет реальной чувствительности приемника на интервале РРЛ

Под реальной чувствительностью $P_{рч} .лр$ приёмника интервала РРЛ понимается мощность радиосигнала, которая должна быть подана на вход приёмника данного интервала для обеспечения требуемого (нормированного) качества связи на интервале и в линии в целом. Реальная чувствительность зависит от режима работы РРЛ, т. е. вида сигнала, передаваемого по линии.

Реальная чувствительность приёмника РРС при передачи цифровых радиосигналов определяется скоростью передачи сигналов, методом манипуляции несущей (АМ, ЧМ, ФМ, ОФМ), способом обработки сигналов в приёмнике (когерентная, некогерентная), требованиями к достоверности передачи и др.

При когерентном приёме реальная чувствительность $P_{рч}$ вычисляется для одного интервала с учетом требований к достоверности $P_{ош}$, которые определяются выражением (5.12)

$$P_{ош} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\gamma h)], \quad (5.12)$$

где $\Phi(\gamma h) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\gamma h} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функция Крампа, значения которой для различных значений γh приводятся в математических справочниках; h – отношение сигнал/шум на входе решающей схемы, равное (5.13)

$$h = \frac{P_c}{\Pi_{ш} k T \Delta f_{пр}}; \quad (5.13)$$

P_c – реальная чувствительность приемника ;

$\Delta f_{пр}$ – полоса пропускания приемника $\Delta f_{пр} = \frac{1}{\tau_u} = B$;

τ_u – длительность символа;

B – скорость передачи;

$\Pi_{ш}$ – коэффициент шума приемника;

γ – коэффициент, зависящий от метода манипуляции: для ФМ $\gamma = 2$, для ЧМ $\gamma = 1$, для АМ $\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

При известном методе манипуляции и заданной вероятности ошибки $P_{ош}$ на интервале РРЛ можно определить требуемое отношение сигнал\шум

на входе решающей схемы « h » по графику зависимости $P_{ош} = f(\gamma h)$.

Определив необходимое значение h из выражения (5.13) можно определить требуемый уровень сигнала на входе приёмника P_c , т. е. его реальную чувствительность $P_{рч}$

$$P_c = P_{рч} = h \Pi_{ш} k T \Delta f_{пр} = h \Pi_{ш} k T B. \quad (5.14)$$

Следует иметь в виду, что накопление ошибок в линии происходит аддитивно, т.е.

$$P_{\text{ош}\Sigma} = \sum_{i=1}^M P_{\text{ош}i}, \quad (5.15)$$

где $P_{\text{ош}i}$ – вероятность ошибок на i -ом интервале.

Принимая во внимание, что вероятность ошибок на интервале с замираниями на несколько порядков выше, чем на интервалах без замираний, можно считать вероятность ошибки во всей линии равной вероятности ошибки на интервале с замираниями.

Поэтому необходимый уровень сигнала на входе приёмника (его реальная чувствительность) на одном интервале должна быть меньше медианного уровня сигнала на входе приёмника, обеспеченная энергетикой интервала, на величину запаса уровня сигнала на замирания. Величина этого запаса определяется по $H\%$ надёжности связи.

В технических данных для отдельных цифровых РРЛ как отечественного, так и иностранного производства, приводятся нормы реальной чувствительности приёмника P_{pc} в децибелах по отношению к 1 мВт (дБм), при которой обеспечивается норма на вероятность ошибки $T_{\text{ош}} = 10^{-3}$. Поэтому в этих случаях нет необходимости производить расчёт реальной чувствительности по формуле (5.14).

Интеграция проектируемых РРЛ в существующую транспортную сеть связи ОАО «МТС»

На рисунке 5.8 изображена схема транспортной сети связи ОАО «МТС» в окрестностях базовой станции «Сухтелинский». На данной схеме указаны существующие и планируемые каналы связи с их параметрами, а также арендованные каналы.

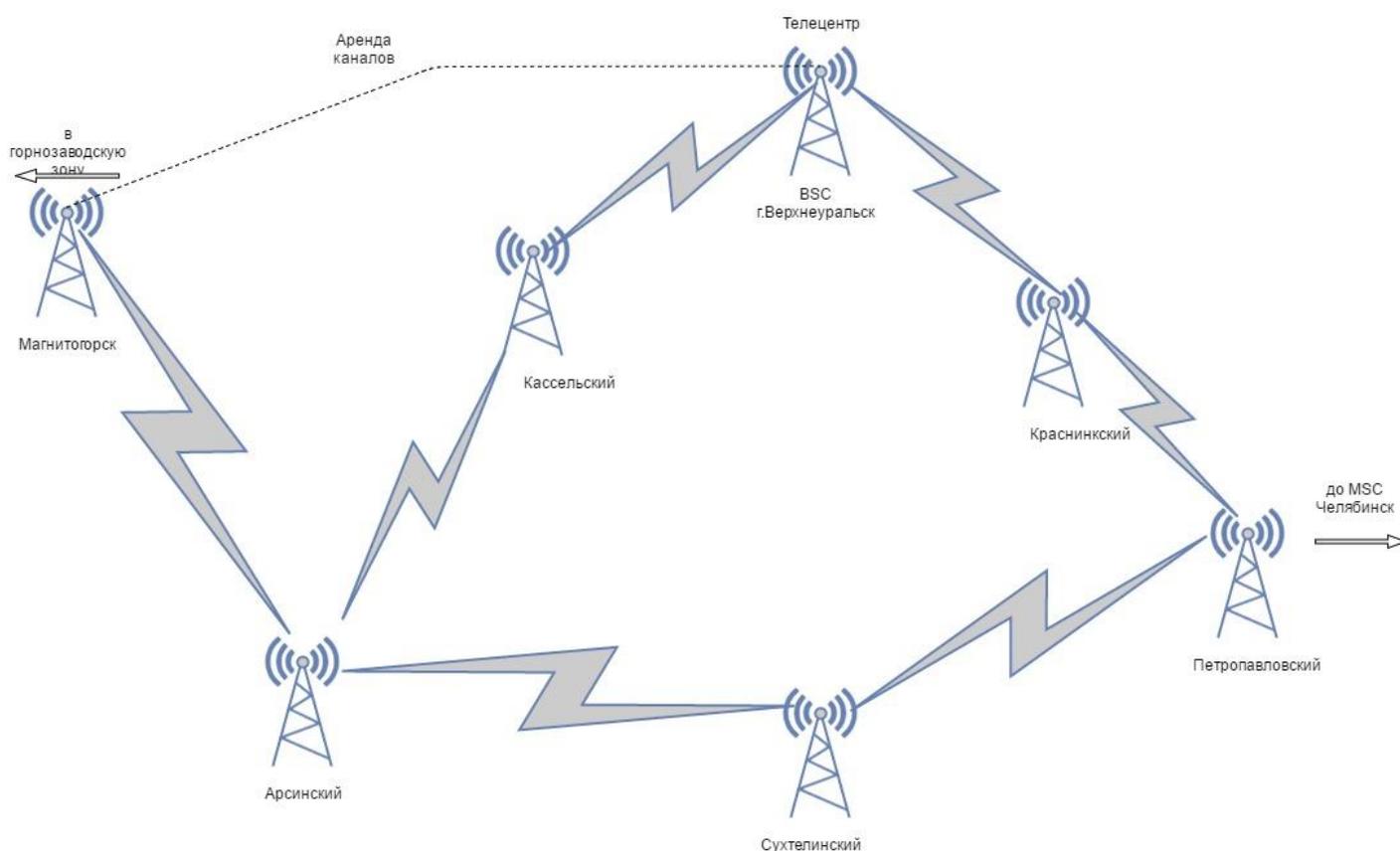


Рисунок 5.8 - Схема сети РРЛ

На вышеприведенной схеме существующие линии связи обозначены сплошными линиями, проектируемые - пунктирными. Для соединения транспортной сети ОАО «МТС» с горнозаводской зоной Челябинской области арендованы каналы между БС «Телецентр» г. Верхнеуральск. В том же месторасположении, что и БС «Телецентр» находится контроллер базовых станций (BSC) компании «МТС».

Как видно из схемы, строительство трех новых радиорелейных линий от БС «Сухтелинский» позволит отказаться от дорогостоящей аренды и организовать связь по собственной транспортной сети через линию «Телецентр-Кассельский- Арсинский-Сухтелинский-Петропавловский». Емкость всех изображенных на схеме каналов РРЛ составляет по 16 потоков Е1. Арендуемые каналы имеют ту же емкость. Следовательно в целом производительность сети не ухудшится.

Также строительство трех новых РРЛ позволит продублировать линию «Телецентр-Краснинский-Сухтелинский», образовав кольцо «Телецентр-Краснинский-Петропавловский-Сухтелинский-Арсинский-Телецентр». Это, во-первых, в два раза увеличит пропускную способность транспортной сети, во-вторых, увеличит надежность сети, то есть способность работать в случае отказа на одной из дублируемых линий.

Все три РРЛ планируется обеспечить с помощью радиорелейных станций NEC Pasolink. Это будут модели Pasolink 7G, Pasolink 13G и Pasolink 18G для разноса РРЛ по частоте и стыковки с другими РРЛ транспортной сети.

Расчет проектируемых радиорелейных линий

РРЛ « Сухтелинский-Арсинский»

Профиль местности на интервале РРЛ изображен на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 - Профиль местности РРЛ «Сухтелинский-Арсинский»

На данном профиле слева изображена БС «Кассельский», справа - БС Сухтелинский».

Рабочая частота данной РРЛ составляет 13 ГГц. Соответственно, длина рабочей волны составляет приблизительно 2,3 см.

Длина данного интервала равна 39000 м. Расстояние до середины максимального препятствия - 11000 м. Просвет в точке отражения от этого препятствия - 50 м.

Величину ослабления радиоволн в свободном пространстве $W_{свi}$ рассчитаем по формуле (5.8).

$$W_{свi} = 122 + 20 \lg R[\text{км}]/\lambda[\text{см}] = 122 + 20 \lg 39/2,3 = 146,58 \text{ дБ.} \quad (5.16)$$

Относительное расстояние до точки отражения, являющейся серединой препятствия

$$K = R_1/R = 11000/39000 = 0,28. \quad (5.17)$$

Радиус минимальной зоны определим из (5.9)

$$\rho_{min} = \sqrt{1/3 \cdot \lambda \cdot R \cdot K(1 - K)} = \sqrt{1/3 \cdot 0,023 \cdot 39000 \cdot 0,28(1 - 0,28)} = 7,76 \text{ м} \quad (5.18)$$

Так как просвет в точке отражения существенно больше данного радиуса, то интервал РРЛ является открытым.

Относительный просвет h в точке отражения найдем следующим образом.

$$h = H/H_0 = 50/7,76 = 6,4 \quad (5.19)$$

Эффективный коэффициент отражения от поверхности Земли в области отражения $\Phi_{эф}$ в соответствии с таблицей 5.1 примем равным 0,3

Ослабление рельефом W_{Pi} определим в соответствии с выражением (5.11).

$$W_{Pi}[\text{дБ}] = 101 \lg(1 + \Phi_{эф}^2 - 2\Phi_{эф} \cdot \cos(\pi/3) \cdot h^2) = 101 \lg(1 + 0,3^2 - 2 \cdot 0,3 \cdot \cos(\pi/3) \cdot 6,4^2) = 0,1 \text{ дБ.} \quad (5.20)$$

Медианное ослабление $W_{МЕДi}$ найдем из выражения (5.7).

$$W_{МЕДi} = W_{СВi} + W_{Pi} = 146,58 + 0,1 = 146,68 \text{ дБ} \quad (5.21)$$

Мощность передатчика составляет 21 дБм, ослабление в фидерах передатчика и приемника равно 0,5 дБ, усиление приемной и передающей антенн составляет по 41,5 дБ. (5.22)

Определим величину медианной мощности сигнала на входе приёмника $P_{ПР.МЕДi}$ из выражения (5.1)

$$P_{np}(t) = P_{ПЕР} - W_{Ф.ПЕР} + G_{А.ПЕР} + G_{А.ПЕР} - W_{Ф.ПР} - W(t)_{МЕД} = 21 - 0,5 + 41,5 + 41,5 - 0,5 - 146,6 = -43,68 \text{ (дБ)}.$$

В технической документации на РРЛ Pasolink приводятся нормы реальной чувствительности приёмника $/V/$ в децибелах по отношению к 1 мВт (дБм), при которой обеспечивается норма на вероятность ошибки $T_{ош} = 10^{-3}$. Данный показатель (BER) равен минус 81 дБм.

Определим запас высокочастотного уровня сигнала на интервале по формуле (5.6).

$$q_i = P_{ПР.МЕДi} - P_{PЧ} = -43,68 + 81 = 37,32 \text{ дБ} \quad (5.23)$$

По величине запаса q_i определим потери надёжности по замираниям на интервалах по графикам зависимости $T_i \% \text{ — } f(W_3 = q)$ (рисунок 5.2)

Интерполировав графики зависимостей, можно утверждать, что для q_i порядка 45 дБ $T_i \%$ будет составлять менее 0,1 %.

Таким образом, рассчитанная радиорелейная линия в полной мере обеспечивает связь на данном интервале с заданным качеством и высоким уровнем надёжности.

РРЛ «Сухтелинский-Кассельский»

Профиль местности на интервале РРЛ изображен на рисунке 5.10.

На данном профиле слева изображена БС «Сухтелинский», справа - БС «Кассельский».

Рабочая частота данной РРЛ составляет 7 ГГц. Соответственно, длина рабочей волны составляет приблизительно 4,3 см.

Длина данного интервала равна 36730 м. Расстояние до середины максимального препятствия - 14000 м. Просвет в точке отражения от этого препятствия - 120 м.



Рисунок 5.10 - Профиль местности РРЛ «Сухтелинский-Кассельский»

Величину ослабления радиоволн в свободном пространстве *West* рассчитаем по формуле (5.8).

$$W_{\text{СВi}} = 122 + 20 \lg R[\text{км}] / \lambda[\text{см}] = 122 + 20 \lg 36,73 / 4,3 = 140,6 \text{ дБ.} \quad (5.24)$$

Относительное расстояние до точки отражения, являющейся серединой препятствия

$$K = R_1 / R = 14000 / 36730 = 0,38. \quad (5.25)$$

Радиус минимальной зоны определим из (5.9)

$$\begin{aligned} \rho_{\text{min}} &= \sqrt{1/3 \cdot \lambda \cdot R \cdot K(1 - K)} \\ &= \sqrt{1/3 \cdot 0,043 \cdot 36730 \cdot 0,38(1 - 0,38)} = 11,1 \text{ м} \end{aligned}$$

Так как просвет в точке отражения существенно больше данного радиуса, то интервал РРЛ является открытым.

Относительный просвет h в точке отражения найдем следующим образом:

$$h = H/H_0 = 120/11,1 = 10,8 \quad (5.27)$$

Эффективный коэффициент отражения от поверхности Земли в области отражения $\Phi_{эф}$ в соответствии с таблицей 5.1 примем равным 0,3

Ослабление рельефом определим в соответствии с выражением (5.11).

$$W_{Pi} [\text{дБ}] = 101 \lg(1 + \Phi_{эф}^2 - 2\Phi_{эф} \cdot \cos(\pi/3) \cdot h^2) = 101 \lg(1 + 0,3^2 - 2 \cdot 0,3 \cdot \cos(\pi/3) \cdot 10,8^2) = -2,5 \text{ дБ.} \quad (5.20)$$

Медианное ослабление $W_{МЕДi}$ найдем из выражения (5.7)

$$W_{МЕДi} = W_{СВi} + W_{Pi} = 140,6 - 2,5 = 138,1 \text{ дБ} \quad (5.29)$$

Мощность передатчика составляет 25 дБм, ослабление в фидерах передатчика и приемника равно 0,5 дБ, усиление приемной и передающей антенн составляет по 40,5 дБ.

Определим величину медианной мощности сигнала на входе приёмника $P_{пр.медл}$ из выражения (5.1)

$$P_{np}(t) = P_{ПЕР} - W_{Ф.ПЕР} + G_{А.ПЕР} + G_{А.ПЕР} - W_{Ф.ПР} - W(t)_{МЕД} = 25 - 0,5 + 40,5 + 40,5 - 0,5 - 138,1 = -33,1 \text{ (дБ)}. \quad (5.30)$$

В технической документации на РРЛ Pasolink приводятся нормы реальной чувствительности приёмника $P_{рч}$ в децибелах по отношению к 1 мВт (дБм), при которой обеспечивается норма на вероятность ошибки $T_{ош}=10^{-3}$. Данный показатель (BER) равен минус 81 дБм.

Определим запас высокочастотного уровня сигнала q_t на интервале по формуле (5.6)

$$q_i = P_{пр.медл} - P_{рч} = -33,1 + 81 = 47,9 \text{ дБ}. \quad (5.31)$$

По величине запаса q_i определим потери надёжности по замираниям на интервалах по графикам зависимости $T_i \% = f(W_3 = q_i)$ (рисунок 5.2)

Интерполировав графики зависимостей, можно утверждать, что для q_i -порядка 45 дБ $T_i \%$ будет составлять менее 0,1 %.

Таким образом, рассчитанная радиорелейная линия в полной мере обеспечивает связь на данном интервале с заданным качеством и высоким уровнем надёжности.

5. Электроснабжение базовой станции

Как уже упоминалось в разделе 3, базовая станция «Сухтелинский» будет снабжаться электроэнергией от проходящей в непосредственной близости линии электропередач.

Потребителями электроэнергии являются технологическое оборудование, кондиционер для съема тепловыделений в аппаратной, освещение, аппаратура охранно-пожарной сигнализации и электроприборы.

Основные электропотребители размещаются в аппаратной БС.

Расчетная единовременная мощность оборудования БС не превышает 10 кВт.

Коэффициент мощности основных приемников БС должен быть не менее 0,9. Коэффициент мощности необходимо учитывать при проектировании электросетей. Низкий коэффициент мощности ведёт к потерям электроэнергии в электрической сети. Чтобы увеличить коэффициент мощности, используют компенсирующие устройства. Неверно рассчитанный коэффициент мощности может привести к избыточному потреблению электроэнергии и снижению КПД электрооборудования, питающегося от данной сети.

Монтаж и заземление электрооборудования и проводок выполняются в соответствии с требованиями нормативных документов, требований изготовителей оборудования.

Электроснабжение БС запроектировано от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В по одному вводу. В соответствии с имеющимися возможностями электроснабжение БС осуществляется по схеме, соответствующей потребителям III категории надежности электроснабжения по классификации ПУЭ. Реальная надежность электроснабжения БС, соответствующая требованиям для потребителей II категории, обеспечивается наличием в составе оборудования БС источников бесперебойного питания.

В качестве вводно-распределительного устройства будет применен вводно-распределительный щит (ВРЩ) со счетчиком прямого включения СЭТ4-1М, розетками и автоматическими выключателями, который обеспечивает прием, распределение и защиту кабелей электропитания. Для обеспечения бесперебойного питания технологического оборудования предусмотрены источники бесперебойного питания АСТУРА Flex 48330-50 в комплекте с необслуживаемыми аккумуляторными батареями. Время автономной работы оборудования БС при пропадании напряжения от внешнего источника не менее 4-х часов.

Внутренние электропроводки в аппаратной БС выполняются кабелями NYM с прокладкой в пластиковых электротехнических коробах. Сечение коробов выбрано в зависимости от количества кабелей.

Цветовая маркировка электропроводки должна быть выполнена в соответствии с требованиями п. 2.1.31 ПУЭ.

Электроосвещение

В соответствии с РД 45.162-2001 в аппаратной БС предусмотрено рабочее и аварийное освещение.

Для рабочего освещения на потолке аппаратной устанавливаются два светильника, каждый на 2 люминесцентные лампы. Освещенность помещения - не менее 200 люкс.

Выключатели рабочего освещения устанавливаются около двери БС на высоте 1500 мм от уровня пола.

Заземление и молниезащита

В соответствии с требованиями ПУЭ должно быть предусмотрено защитное и рабочее заземление электроустановок БС. В целях безопасности обслуживающего персонала все металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции, должны быть надежно заземлены. Для этого предусматривается шина медная (PGND), к которой проводом ПВЗ 1x25 подключаются технологическое оборудование, кабельные лотки и шина РЕ шита ВРЩ.

Для обеспечения заземления и молниезащиты АФУ используется проектируемый заземлитель системы молниезащиты, основными элементами которого являются уголки 50x50x5 L=5000 мм, сталь С245. Уголки забиваются в землю на глубину 5,7 м. К заземлителю системы молниезащиты при помощи сварки присоединяется проектируемый контур системы молниезащиты, представляющий из себя полосу 4x40 и башмаки башни полосой 4x40.

Для обеспечения заземления оборудования БС используется проектируемый заземлитель системы защитного заземления, основными элементами которого являются уголки 50x50x5 L=3000 мм, сталь С245. Уголки забиваются в землю на глубину 3,7 м.

После забивки уголков до проектной глубины их верхние части соединяются между собой полосой 4x40 на сварке на глубине 0,5 м от уровня земли.

К заземлителю системы защитного заземления отдельными полосами 4x40 при помощи сварки присоединяется рама контейнера.

В соответствии с "Инструкцией по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" СО 153-34.21.122-2003 проектом предусматривается молниезащита БС, которая обеспечивает защиту от прямых ударов молнии и от наведения и заноса высокого потенциала по кабелям (антенным фидерам).

К контуру заземления и молниезащиты АФУ на сварке крепятся шины заземления, представляющие собой стальные пластины с приваренными болтами. Кроме того шины заземления устанавливаются рядом с вводом в аппаратной БС. Контур соединяется с трубостойками секторных антенн.

Аналогично заземляется трубостойка антенны РРС.

Защита от наведения и заноса высокого потенциала по кабелям (антенным фидерам) выполняется заземляющими комплектами из комплекта поставки оборудования. Заземляющие комплекты устанавливаются при подходе к антеннам, перед вводом в аппаратную, а также в середине кабелей (фидеров) по высоте.

Светоограждение

Светоограждение проектируемой башни выполняется в соответствии с РЭГА-РФ-94 "Руководство по эксплуатации аэродромов Российской Федерации" и РД45Л 62-2001 "Ведомственные нормы технологического проектирования. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования".

Для обеспечения требуемой надежности электроснабжения системы светоограждения проектом предусмотрено использование устройства питания заградительных огней типа УЗО в комплекте с безуходной аккумуляторной батареей.

На башне предусматривается установка шести сигнальных фонарей в два яруса, первый на отметке ~40 м и второй на отметке ~70 м.

Кабель питания прокладывается по башне, вдоль трассы антенных фидеров. Разводка электропитания к фонарям осуществляется через ответвительные коробки с наборными зажимами.

Организация эксплуатации

Граница эксплуатационной ответственности между потребителями и энергоснабжающей организацией устанавливается по взаимной договоренности сторон на основании "Акта по разграничению балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности электроустановок и сооружений".

Потребитель должен обеспечить исправность своих электроустановок.

Потребителю не разрешается подключать электрическую нагрузку сверх разрешенной в технических условиях, а также увеличивать номинальные значения токов плавких предохранителей и других защитных устройств, определенных проектом. Не разрешается изменять электрические схемы и осуществлять замену аппаратов на другие с завышенными номинальными токами.

Потребителю не разрешается включать в розеточную сеть электроприборы с нарушенной изоляцией.

Все электрооборудование должно удовлетворять требованиям ГОСТ и быть промышленного изготовления.

Для обеспечения техники безопасности при эксплуатации электроустановок к обслуживанию допускается специально обученный и подготовленный в соответствии с "Межотраслевыми правилами по охране труда", персонал.

Энергосбережение

В проекте применено энергоэффективное оборудование, соответствующее требованиям государственных стандартов и других нормативных документов.

Отопление и кондиционирование

Для снятия теплоизбытков, выделяющихся от работающей аппаратуры, в аппаратной применяется сплит-система Mitsubishi MSC-12NV. Допустимая температура воздуха, при которой возможно использование кондиционера, от минус 40 °С до плюс 55 °С.

В составе кондиционера имеется электронагреватель мощностью 1,0 кВт, который используется в холодный период.

Кондиционер устанавливается на стене штатными крепежными приспособлениями, входящими в комплект поставки оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После того, как базовая станция будет построена, ее необходимо запустить в тестовом режиме. При первом включении БС должна быть проведена проверка контроля функционирования радиоэлектронных средств.

Оператору необходимо получить временное разрешение на использование данных радиоэлектронных средств с целью проведения пусконаладочных работ и оценки электромагнитной совместимости.

После ввода в эксплуатацию базовой станции, с целью уточнения расчетных значений уровней электромагнитного поля, следует выполнить измерения уровня электромагнитного поля, создаваемого всеми радиотехническими средствами данного объекта.

Рассмотренная в проекте базовая станция является одним важным этапов развития сетей компании «МТС» в Челябинской области. В настоящее время каждый четвертый житель Большого Урала является абонентом МТС.

Услуги сети "МТС" в Уральском регионе предоставляются в 982 населенных пунктах 10 регионов РФ, которые объединены в единое безроуминговое пространство. Качественный радиосигнал обеспечивают более 2000 базовых станций. С каждым годом растёт голосовой суммарный трафик, к примеру, за прошедший год он составил 10 млрд мин.

Общая протяжённость волоконно-оптических, радиорелейных и других линий связи Уральского филиала ОАО "МТС" превышает 20 тысяч километров. Из них протяжённость ВОЛС составляет 2300 километров.

Основной актив, накопленный компанией "МТС" за время работы на Урале - 4 миллиона абонентов. Накопленный опыт и профессионализм команды являются залогом дальнейшего интенсивного развития Уральского филиала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беленький В.Г. Расчёт зоны покрытия базовых станций в системах связи с подвижными объектами. Методические указания/ СибГУТИ - Новосибирск, 2003.
2. Военные системы радиорелейной и тропосферной связи/ под ред. А. И. Родимова. - Л.: ВАС, 1984.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М.: Эко-Трендз, 1997.
4. Мобильная связь. Поколения и стандарты мобильной связи. Поколение 2G. - <http://my-mc.info/generations/2g/>
5. Мобильная связь. Поколения и стандарты мобильной связи. Поколения связи. - <http://my-mc.info/generations/>
6. Мобильная связь. Поколения и стандарты мобильной связи. Сотовая связь. - <http://my-mc.info/cellular-communication/>
7. Мобильная связь. Поколения и стандарты мобильной связи. GSM. - <http://my-mc.info/standards/gsm/>
8. Носов В.И., Носкова Н.В. Методы частотно-территориального планирования в сетях радиосвязи. Монография/ СибГУТИ - Новосибирск, 2006.
9. Преддипломная практика и дипломное проектирование: Методические указания для студентов специальности 210402.65 «Средства связи с подвижными объектами» /составители: Н.Т. Никифоров, В.С.Спицын. - Челябинск: Изд-во. ЮУрГУ, 2006. - 92 с.
10. Разработка обоснования инвестиций. - <http://www.c-srv.ru/?nv=m,20>
11. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. - М.: Радио и связь, 2000.
12. Садомовский, А. С. Расчет радиорелейных линий (РРЛ) связи: методические указания по курсовому проектированию для студентов специальностей 21030265 и 21020165 / А. С. Садомовский, В. А. Гульшин. - Ульяновск : УлГТУ, 2005.-28 с.

13. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.
14. Сети подвижной связи: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Сети подвижной связи» для студентов специальностей 21040665 «Сети связи и системы коммутации» и 21040465 «Многоканальные телекоммуникационные системы»/ сост. М. Н. Служивый. - Ульяновск: УлГТУ, 2009. - 24 с.
15. Сети сотовой подвижной связи в стандарте GSM.
<http://www.osp.ru/nets/1996/06/141736/>
16. Соты и базовые станции. - <http://www.gsmnetwork.ru/2008/09/soty-i-bazovye-stancii/>
17. Стандарты сотовой связи в России.
<http://www.legal-mobile.ru/2008/01/06/post-93/>
18. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. - 56 с.
19. Теория электрической связи/ под ред. Д. Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 1999.
20. Техничко-экономические обоснования строительства (реконструкции) предприятий, зданий и сооружений. -<http://homart.ru/tehniko-ekonomicheskie-obosnovaniya-stroitelstva-rekonstrukcii-predpriyatij-zdaniij-i-sooruzhenij/>
21. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. - М.: Эко-Трендз, 2006. - 376 с.
22. Финк, Л. М. Теория передачи дискретных сообщений./Л. М. Финк. - М.: Советское радио, 1963.