

1. Расчет потерь в антенно-фидерном тракте

Потери в антенно-фидерном тракте (АФТ) приемника и передатчика складываются из следующих величин:

- Затухание в кабеле
- Затухание в разъемах
- Затухание в пассивных элементах АФТ (комбайнеры, сплиттеры)

И определяется по следующей формуле:

$$W_{\text{АФТ}} = W_c L + W_{cc} N + W_{\text{passive}} \quad (1)$$

где W_c – затухание сигнала в кабеле на рабочей частоте, дБ/м; L - длина кабеля, м; W_{cc} - потери в разъемах, дБ; N – количество разъемов, шт; W_{passive} – потери на пассивных элементах АФТ.

В качестве кабеля, взят фидерный кабель Cellflex LCF 12-05J ½”, со следующими характеристиками [20]:

Таблица: Характеристики кабеля [20,21]

Параметр	12-05J ½”	7/8’50JA
Сопротивление	50 ± 1 Ом	50 ± 1 Ом
Диаметр центрального проводника	4.8 мм	9мм
Диаметр диэлектрика	11.3 мм	21.4 мм
Диаметр внешнего проводника	13.8 мм	24.9 мм
Диаметр внешней оболочки	15.8 мм	28 мм
Рабочая температура	-50...+85 °С	-40...+85 °С
Затухание на частоте 450 МГц	0.05 дБ/м	0.026 дБ/м

В целях уменьшения затухания в кабеле, по всей длине трассы будет использован коаксиальный кабель 7/8, на концах которого будут стоять переходники на коаксиальный кабель ½ для коммутации с оборудованием.

Переходник выбран AL5DM-PS фирмы Andrew, с показателем сопротивления 50 Ом, поддерживающим диапазон 0 – 5200 МГц, и вносящий потери 0.05 дБ.[22] Также следует учитывать потери на разъемах, равные 0.5. Количество разъемов – 6 (по 2 на входе на переходник, и по одному на входы в оборудование) , также количество переходников равным двум.

Результат расчета затухания для различных длин фидерной трассы, занесен в таблицу.

Таблица: Затухания на фидерной трассе

Длина трассы, м	Длина фидера 7/8, м	Затухание на трассе, дБ
32	30	3.98
42	40	4.24
60	58	4.71
80	78	5.22
100	98	5.74

Также следует учитывать потери в пассивных элементах АФС, а именно комбайнеры (CDU, Combiner Division Unit). Комбайнер компании ООО «РАДИАЛ» TETRA 2U – 2-ух канальный комбайнер для диапазона частот 400-490 МГц, удовлетворяющий частотному диапазону, выделенному под систему TETRA на железной дороге в Российской Федерации, вносит потери 2 дБ. Четырех канальный комбайнер TETRA 4U вносит 4 дБ потерь. [23]

Определим по рисунку 1, потери в комбайнере от частотного разноса.

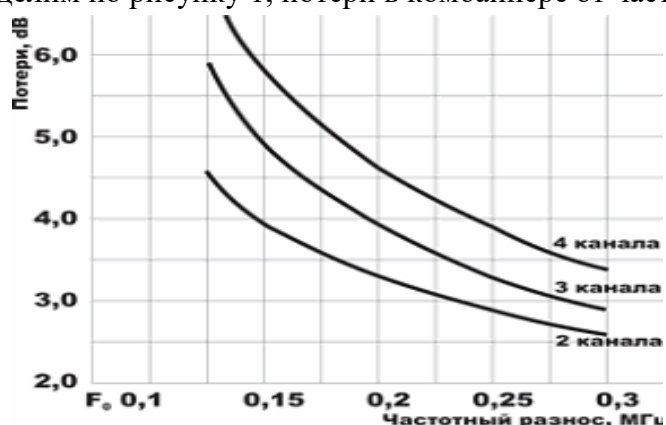


Рисунок 1: Зависимость потерь от частотного разноса

Следовательно, для двух каналов при частотном разносе в 300 кГц, потери составят 2.6 дБ.

2. Расчет радиуса покрытия соты TETRA

Прежде чем приступать к расчету радиуса соты следует провести нормирование мощности приемопередатчика базовой станции и мобильной станции. Формула нормирования будет иметь следующий вид[7]:

$$P_{БС} = 10\lg(P'_{БС}) + 30, \text{ (дБм)} \quad (2.1)$$

где $P_{БС}$ – нормированная мощность приемопередатчика, $P'_{БС}$ – ненормированная мощность приемопередатчика, «30» взято из расчета, что 1 Вт содержит 1000 мВт, в свою очередь $10\lg(1000)=30$ дБм.

Далее ведется расчет излучаемой мощности базовой и мобильной станции[7]:

$$P_{изл} = P_{прд} - B_{Ф} - B_{К} - B_{Д} - B_{С} + G_{А} \quad (2.2)$$

где B_{ϕ} – коэффициент потерь в фидере, B_K – коэффициент потерь в комбайнере, B_D – коэффициент потерь в дуплексере, B_C – коэффициент потерь на соединениях, G_A – коэффициент усиления антенны.

Основное условие обеспечения связи, это превышение уровня мощности сигнала на входе приемной антенны минимума чувствительности приемника[7].

$$P_{a.пр} = P_{пр} - G_{a.пр} + B_{пр} - K_{МШУ} \quad (2.3)$$

где $P_{пр}$ – чувствительность приемника, $G_{a.пр}$ – коэффициент усиления приемной антенны, $B_{пр}$ – коэффициент потерь в цепи между приемником и приемной антенной, $K_{МШУ}$ – коэффициент усиления антенного тракта.

3. Расчет потерь распространения радиоволн и радиуса покрытия системы TETRA.

Расчет будет произведен для базовой станции стандарта TETRA BS2543, находящейся на железнодорожной станции Гряды. В состав оборудования входит базовая станция Teltronic Nebula, характеристики которой описаны в п.2.1, излучающая антенна фирмы Kathrein с коэффициентом усиления 8.5 дБ, установленная на высоте 42м на мачтовой металлоконструкции. Исходные данные для расчета приведены в таблице 7. В качестве мобильного оборудования выбран Teltronic SC20, технические характеристики которого приведены в п. 2.2.

Таблица 1: Исходные данные

Параметр	Значение	
Частота, МГц	Downlink	467
	Uplink	457
Мощность передатчика БС, Вт	25.1	
Чувствительность приемника БС, дБм.	-115	
Коэффициент усиления антенны, дБ	8.5	
Высота подвеса антенны БС, м	42	
Мощность передатчика МС, Вт	2.7 Вт	
Чувствительность приемника МС, дБ	-107	
	-85*	
Высота мобильной станции, м	4	

Таблица 2: Исходные данные по потерям

Потери, дБ:	БС	МС
в фидере	4.24	0

в комбайнере	2.6	0
в дуплексоре	1	1
Особенности местности		
в зданиях	15	
в автомобилях	8	

Расчет потерь мощности сигнала при распространении с учетом плотности застройки территории проведем по описанной в п.3.1 модели Окамура-Хата. Для данной станции целесообразно производить расчет по модели для сельской местности.

Уровень допустимых потерь $L_{\text{доп}} = 125.8$ дБ, исходя из этого определим по графику на рисунке 2, максимальный теоретический радиус покрытия для данной станции.

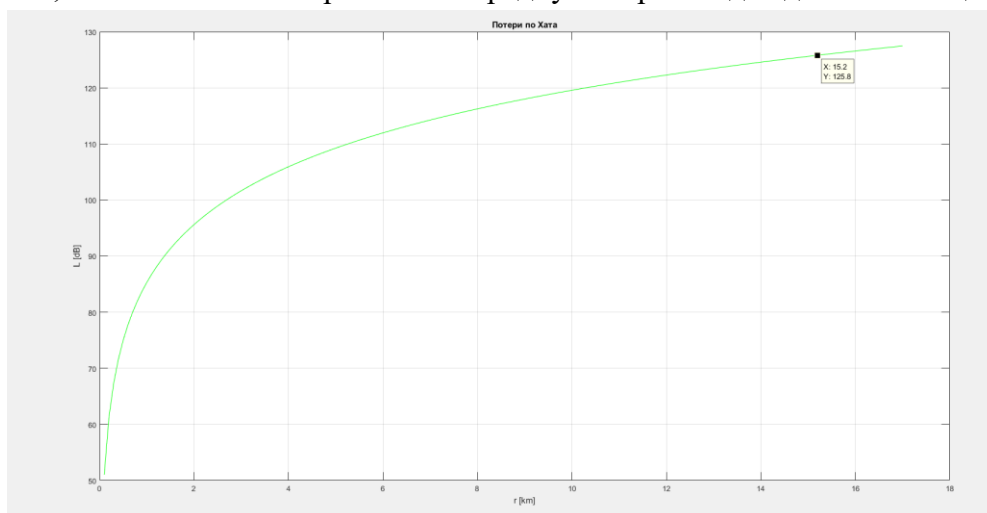


Рисунок 2: Зависимость потерь при распространении радиоволн от расстояния

Максимальное расстояние между базовой станцией и мобильным терминалом, в котором обеспечивается связь с заданной вероятностью обеспечения связи в 0.95, равно 15.2 км.

4. Расчет средней мощности сигнала на приемнике

Расчет мощности принимаемого сигнала будет произведен за счет формулы Гарольда Фрииса.

$$P_{RX} = P_{TX} * \frac{G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2}$$

Где P_{RX} – мощность, полученная от приемной антенны; P_{TX} – мощность, подаваемая на передающую антенну; $G_{TX} G_{RX}$ - коэффициенты усиления приемной и передающей антенны; $\lambda = \frac{c}{f}$ - длина волны (где $c=3*10^8$ м/с).

Формула определения мощности на входе выраженная в децибелах, примет следующий вид.

$$P_{RX}(\text{дБм}) = P_{TX}(\text{дБм}) + G_{TX}(\text{дБ}) + G_{RX}(\text{дБ}) + 20 \lg(\lambda) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(R)$$

Данная формула описывает распространение радиоволн в идеальных условиях, то есть данная модель не учитывает затухание мощности сигналов от географических особенностей местности и типов застройки местности. Следовательно, необходима модернизация данной модели для целей данной диссертации. В качестве показателя внесенных потерь в систему, будем считать потери рассчитанные по модели Окамура-Хата из п.4 работы. После модернизации формула примет следующий вид:

$$P_{RX}(\text{дБм}) = P_{TX}(\text{дБм}) + G_{TX}(\text{дБ}) + G_{RX}(\text{дБ}) + 20 \lg(\lambda) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(R) - L_C$$
 где L_C - потери при распространении сигнала в сельской местности (2.8).

Используя полученную формулу произведем расчет средней мощности сигнала от расстояния:

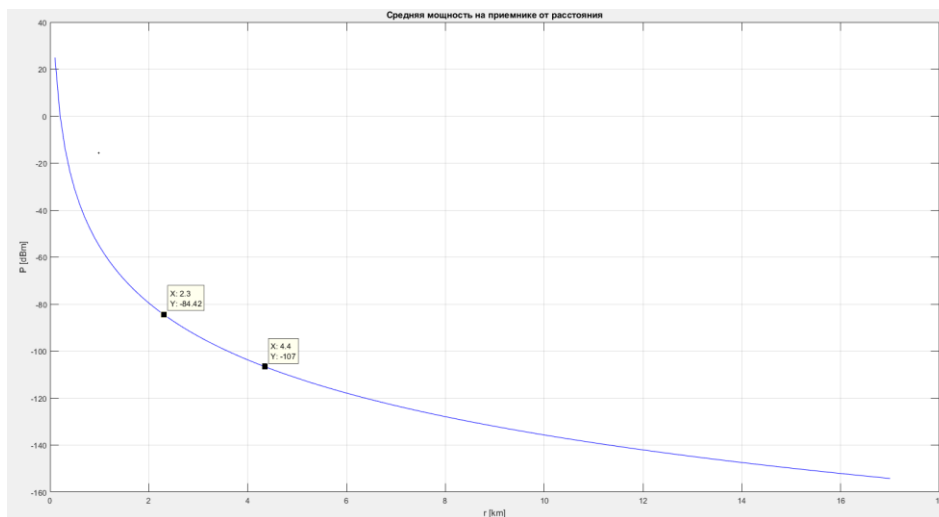


Рисунок 3: Зависимость средней мощности сигнала от расстояния

Исходя из данного графика можно сделать вывод, что максимальное расстояние обеспечения связи при заданной чувствительности приемника в -107 дБм, будет равно 4.4 км.

С учетом ГОСТ Р54959 о технических требованиях к поездной радиосвязи [24], минимально допустимый уровень сигнала должен быть не хуже -85 дБм. В связи с этим, расстояние при котором обеспечивается связь с вероятностью 95%, будет равно 2.3 км.

Карта с нанесенным теоретическим радиусом покрытия изображена на рис.

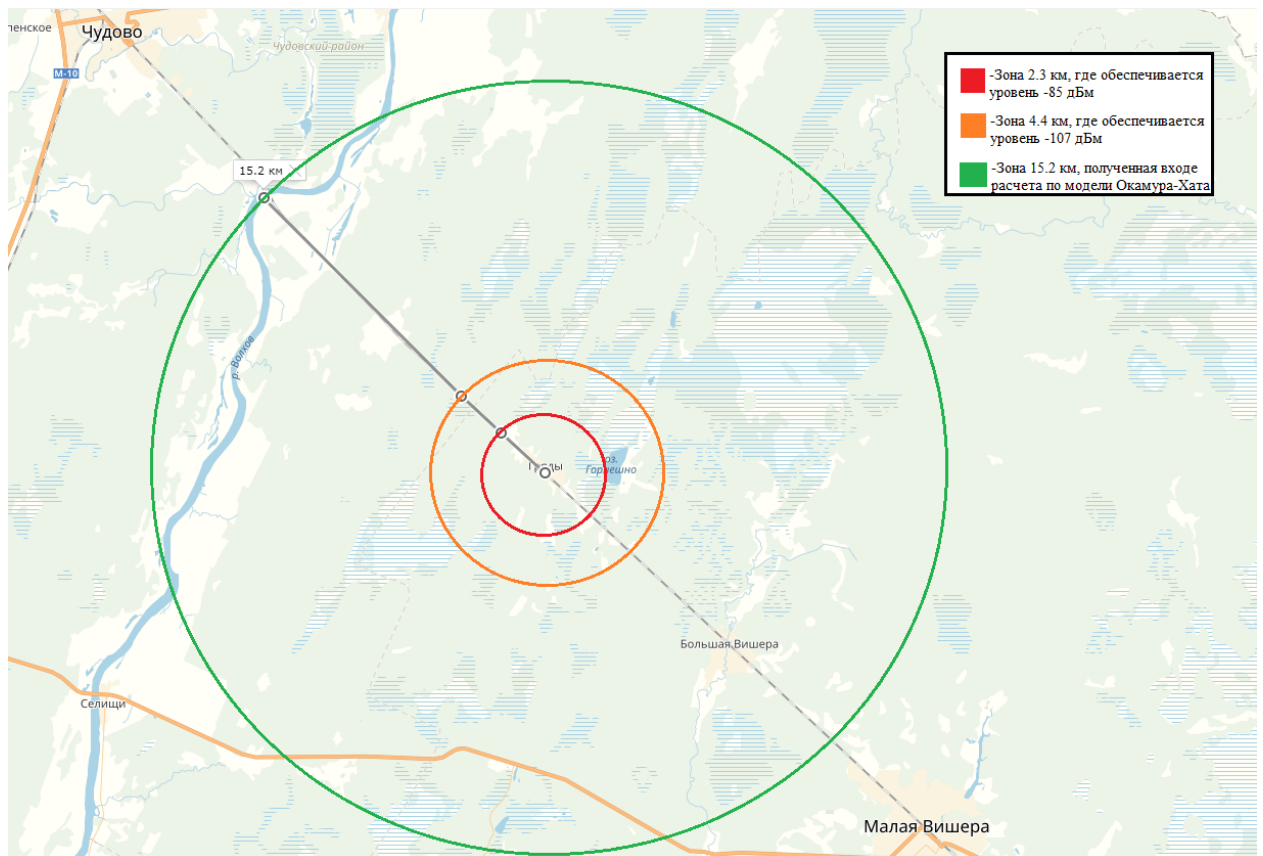


Рисунок 4: Радиус зоны покрытия ж/д ст. Гряды

Однако данное значение может значительно измениться в сравнении с реальными измеренными значениями.

5. Методика проведения расчета для проверки ЭМС

Анализ состоит в проверке возможности нарушения электромагнитной совместимости (ЭМС) для каждой пары средств в рассматриваемой группе. Математически вероятность нарушения ЭМС описывается:

$$p_n = \int_{p_{\text{доп}}}^x w(P) * d(P) \quad (1)$$

где $w(P)$ - плотность распределения вероятности нарушения ЭМС.

Вероятность выполнения условий ЭМС, соответственно будет равно:

$$p_{\text{вып}} = 1 - p_n \quad (2)$$

В качестве приближенного решения на практике ЭМС обычно используют аппроксимацию функции плотности распределения $w(P)$ логонормальным законом, который имеет следующий вид (рисунок 1):

$$w(P) = \frac{1}{P\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\ln P - \bar{P}}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

В качестве обоснования использования логонормального закона можно привести следующие аргументы.

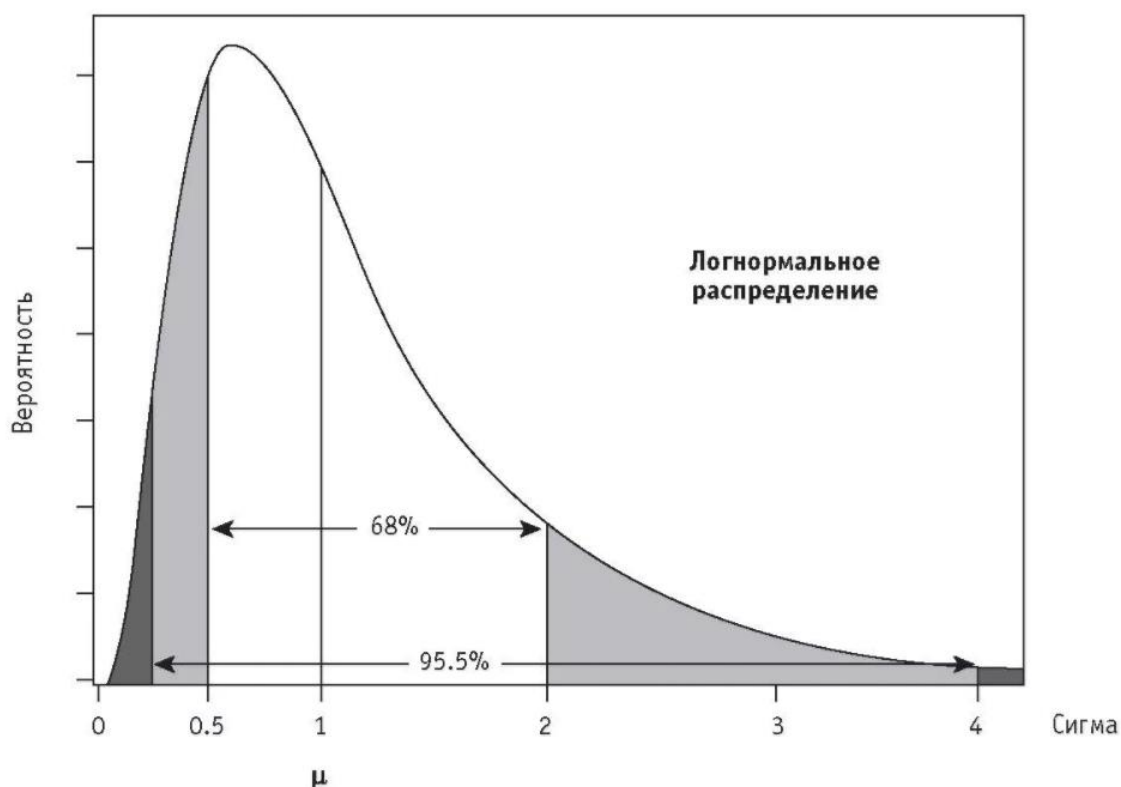


Рисунок 5: Логнормальное распределение

Распространение радиоволн представляет собой сумму значительного числа случайных величин мощностей, причем соизмеримых и, некоррелированных. Исходя из фундаментальных положений теории вероятностей, плотность распределения величины P с удовлетворительной точностью описывается логнормальным законом распределения. Нормальный закон характеризуется двумя следующими параметрами:

- Средним значением \bar{P} ;
- Среднеквадратичным отклонением (СКО) σ .

В теории вероятностей доказано, что среднее значение и СКО суммы некоррелированных случайных величин равны сумме и среднеквадратическому значению слагаемых этой суммы.

Следовательно, при известных значениях средней мощности на входе приемника \bar{P} и среднеквадратичного отклонения σ искомая вероятность нарушения ЭМС определяется значением табулированной функции – интеграла вероятности:

$$p_n = \Phi\left(\frac{\bar{P} - \bar{P}_{\text{доп}}}{\sigma}\right); \quad (4)$$

при выполнении условий ЭМС. Сумма средней мощности на входе приемника и среднеквадратичного отклонения должна быть больше уровня допустимого сигнала на входе:

$$\bar{P} + \xi\sigma \geq \bar{P}_{\text{доп}}. \quad (5)$$

В целях увеличения точности расчета средней мощности на входе приемника абонентского терминала стандарта TETRA, необходимо провести расчет выполнения условия ЭМС по вероятностному подходу. Исходя из чего, необходимо дополнить формулу из п. 2.5 логнормальным законом распределения. После модернизаций, формула приобретет следующий вид:

$$P_{RX} = P_{TX} * \frac{3 G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{2 (4\pi)^2 R^2 L} * w(P) \quad (6)$$

Данная вариация формулы более точно описывает распространение радиоволн в свободном пространстве и различных типах застройки местности в направлении от базовой станции до абонентского терминала.

Посредством выполнения формулы, будет получено множество значений средней мощности на приемнике P , от расстояния R , расчет должен быть выполнен с использованием нескольких итераций. Далее в ходе выполнения критериев (требований) оглашенных во второй главе работы, расчет сведется к множеству допустимых значений входящих в заданный диапазон. Полученное множество допустимых значений является множеством по Парето.

Оптимум по Парето — относительный критерий эффективности функционирования той или иной системы, который конкретизирует состояние оптимальности в следующем принципе: это достижение ситуации, в которой улучшение одного параметра начинает негативно влиять на другой параметр.

Определение оптимального теоретического значения расстояния для базовой станции BS2545

Используя алгоритм описанный в первом пункте третьей главы, проведем моделирование математической модели распространения радиоволн от базовой станции транкинговой связи стандарта TETRA, до мобильного терминала. Моделирование проведено в программном комплексе MATLAB.

Исходные данные для расчета базовой станции BS2545 приведены в Приложении 1.

Проведем расчет коэффициентов изменения средней мощности сигнала на приемнике мобильной станции, посредством генератора псевдослучайных значений по логонормальному закону распределения (рис. 2).

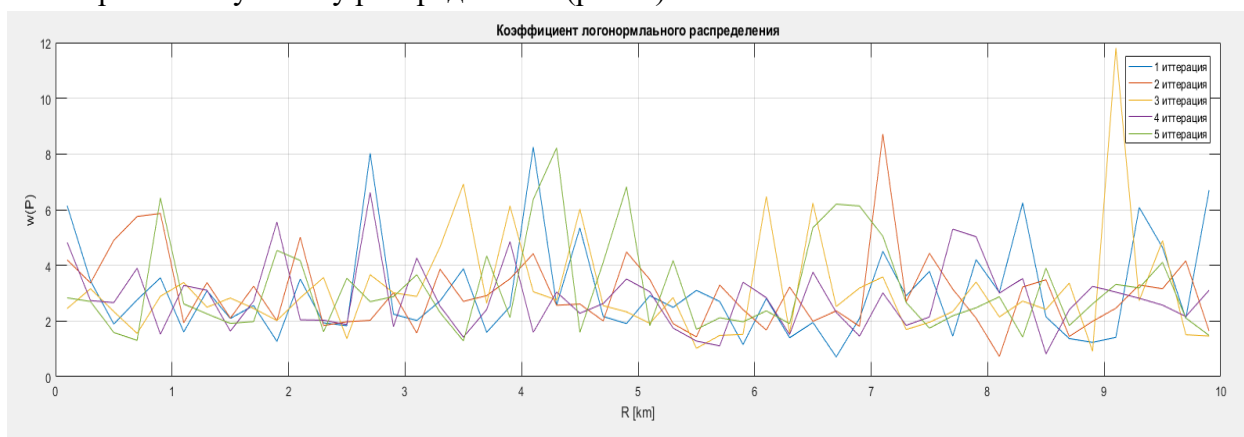


Рисунок 6: Коэффициент логонормального распределения

Из графика видна зависимость, что с увеличением расстояния от базовой станции девиация коэффициента логонормального распределения растет, особенно четко это видно после 5 км, коэффициент начинает расти по экспоненте.

Следовательно, оперируя полученными значениями средней мощности сигнала на приемнике от расстояния R из второй главы работы, и вычисленным коэффициентом логонормального распределения, проведем расчет, максимально приближенного к реальному, средней мощности на приемнике при логонормальном законе. Результат расчета вынесен на рисунок 3.



Рисунок 7: Модель распространения радиоволн при логонормальном распределении

Обозначим значения мощностей превышающих значение чувствительности приемника мобильной станции, как значения с отсутствующим уровнем сигнала («дыркой» в карте покрытия). Данный сигнал не может быть уловлен приемником. Данные значения имеют место быть, в связи с возможным препятствием в данных зонах распространения радиоволн, негативно влияющих погодных условий или же кратковременный выход из строя приемного оборудования.

Возьмем среднее значение по всем итерациям, и построим график рисунок 4.

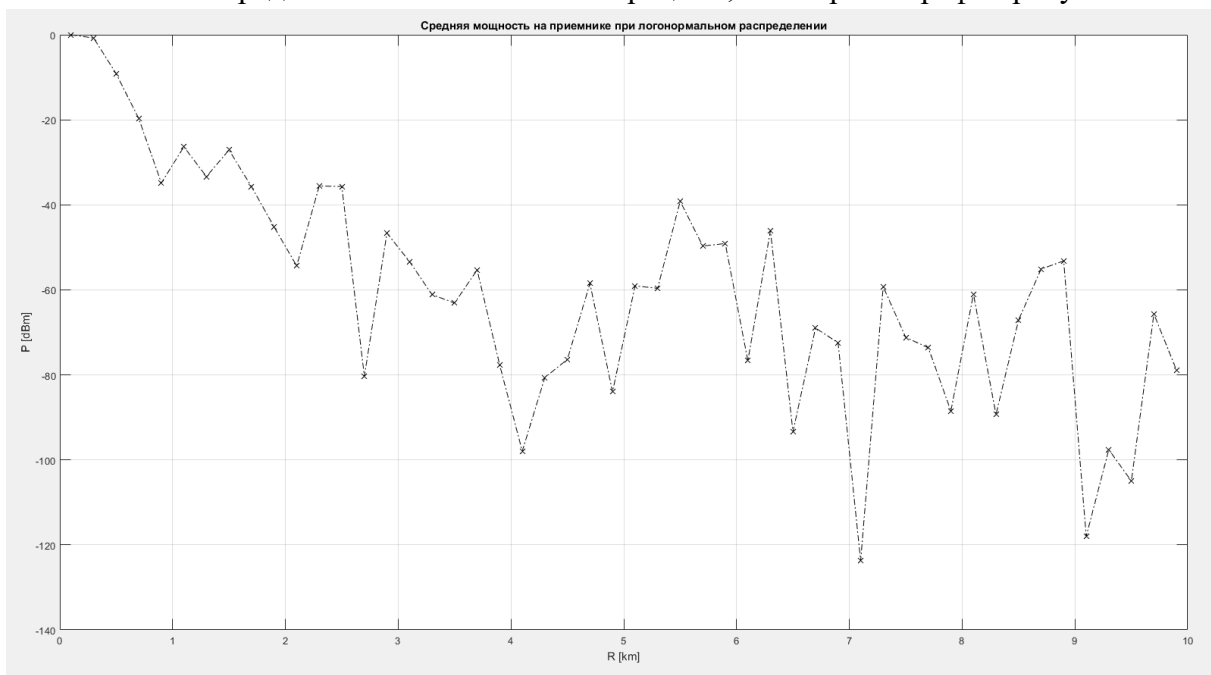


Рисунок 8: Среднее значение средней мощности по всем итерациям.

По методике описанной в 1 пункте, далее следует отфильтровать полученное множество значений средней уровни мощности по требованиям описанным в ГОСТ Р54959, а именно по требованию о минимально возможном уровне сигнала на приеме в -85 дБм (рис. 4).

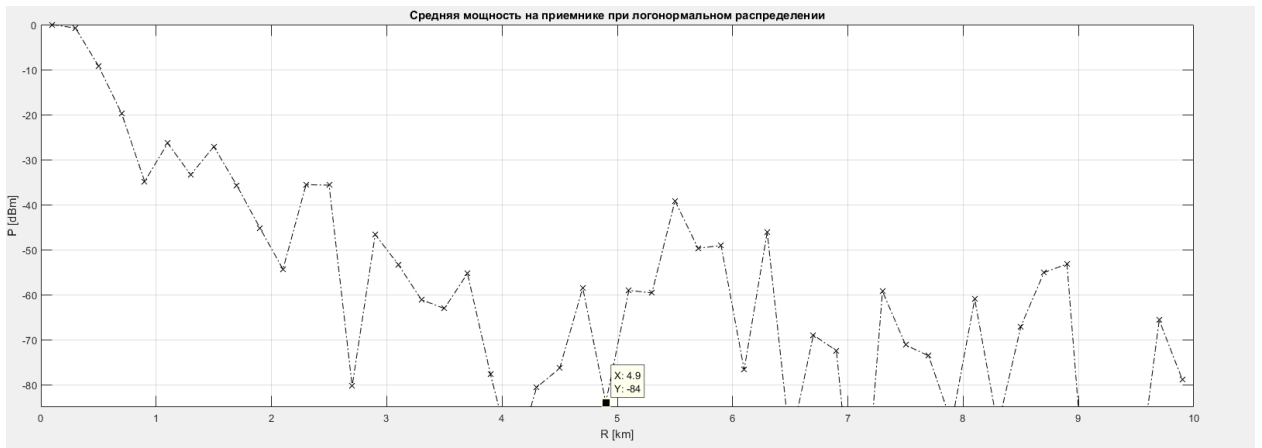


Рисунок 9: Область допустимых значений мощности приятного сигнала.

Из графика видно, что есть значения, уровень сигнала которых ниже уровня чувствительности приемника. Будем считать данные значения как зоны в которой принять данный сигнал не возможно, исходя из крайне малого значения уровня сигнала. Таковых значений на графике 8, из имеющихся 50 точек, следовательно в 16% случаев уровень сигнала ниже требуемого.

Исходя из того, что базовая станция В2545 обеспечивает покрытие при заданной вероятности обеспечения связи в 95% на 10.3 километров, в соответствии с расчетом во второй главе работы, следовательно вносить дополнительные критерии по расстоянию не целесообразно.

Следовательно получаем множество допустимых значений по Парето по мощности от -10 дБм до -85 дБм, и по расстоянию от 0 до 10.3 км. Оптимальным по Парето, в данной ситуации будем считать средний уровень принимаемой мощности, для данной станции, это -60.2 дБм. Исходя из чего область допустимых значений уровня сигнала ограничивается по верхней границей с -10 дБм до -60.2 дБм, рисунок 6.

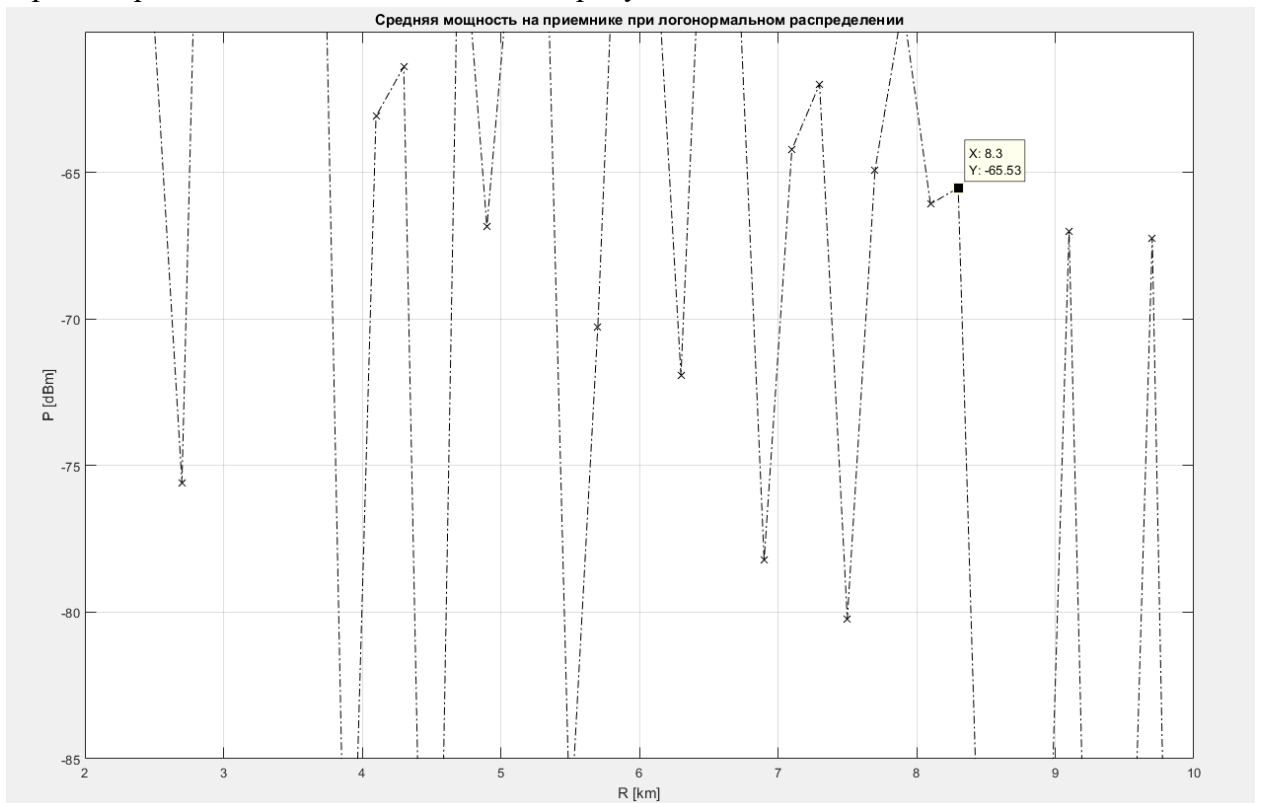


Рисунок 10: Область допустимых значений мощности на входе приемника ограниченную критериями.

Для нахождения оптимального значения вариации уровня сигнала и расстояния, воспользуемся методом минимакса. Задачей является нахождение такой точки на графике, при котором достигается наилучший уровень сигнала, при наибольшем расстоянии от базовой станции.

Данной точкой служит расстояние 8.3 километра с уровнем сигнала 65.53 дБм. Точки правее не подходят по той причине, что они окружены «дырами» покрытия, следовательно, их можно счесть за единичный скачок, тогда когда выбранная точка является последним допустимым значением перед резким спадом уровня сигнала.

Следовательно, максимально приближенное значение радиуса покрытия станции BS2545 равно 8.3 км.

Сравним результат теоретического расчета с данными измерений карты покрытия системы транкинговой связи стандарта TETRA. Натурные измерения проведены с использованием оборудования компании Rohde & Schwarz – анализаторе радиосетей TSMW. Анализатор TSMW выбран исходя из того, что анализатор, обладает всем свойствами, для проведения измерений стандарта TETRA. Состав оборудования для измерений сети TETRA изображен на рисунке 7 и в него входят:

- опция сканера для измерения сетей TETRA R&S TSMW-K26 ;
- программный комплекс R&S ROMES4;
- источник питания;
- GPS-антенна;
- внешняя антенна.



Рисунок 11: Схема подключения оборудования для измерений карты покрытия системы TETRA

Исходя из результата измерений, изображенного на рисунке 8, можно сделать вывод о том, что теоретический результат совпадает с реальным измерением. Что доказывает, что реальный радиус покрытия данной базовой станции, а следовательно и радиус, в котором обеспечиваются услуги сети TETRA с заданной вероятностью установления соединения, равен 8.3 километров.



Рисунок 12: Результат измерений в районе базовой станции BS2545

Для решения задачи модернизации данной сети, необходимо провести аналогичный расчет для базовой станции BS2543.

Определение оптимального теоретического значения расстояния для базовой станции BS2543

Исходные данные для станции BS2545 приведены в Приложении 1. Проведем расчет коэффициентов изменения средней мощности сигнала на приемнике мобильной станции, аналогичный пункту 1.1(рис. 9).



Рисунок 13: Коэффициент логонормального распределения

Из графика видно, что в данном случае девиация мощности куда выше, чем у базовой станции BS2545, это связано с уменьшенной высотой подвеса антенны, и исходя из затуханий в лесополосе возникают данные девиации.

Следовательно, оперируя полученными значениями средней мощности сигнала на приемнике от расстояния R из второй главы работы, и вычисленным коэффициентом логонормального распределения, проведем расчет, максимально приближенного к реальному, средней мощности на приемнике при логонормальном законе. Результат расчета вынесен на рисунок 10.

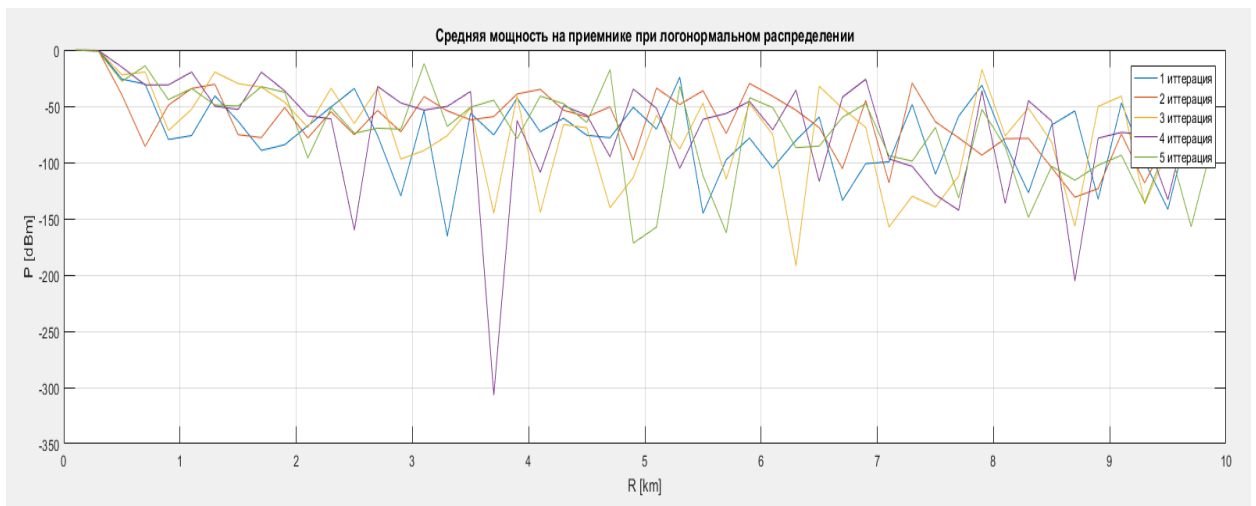


Рисунок 14: Модель распространения радиоволн при логонормальном распределении
 Возьмем среднее значение по всем итерациям, и построим график рисунок 11.

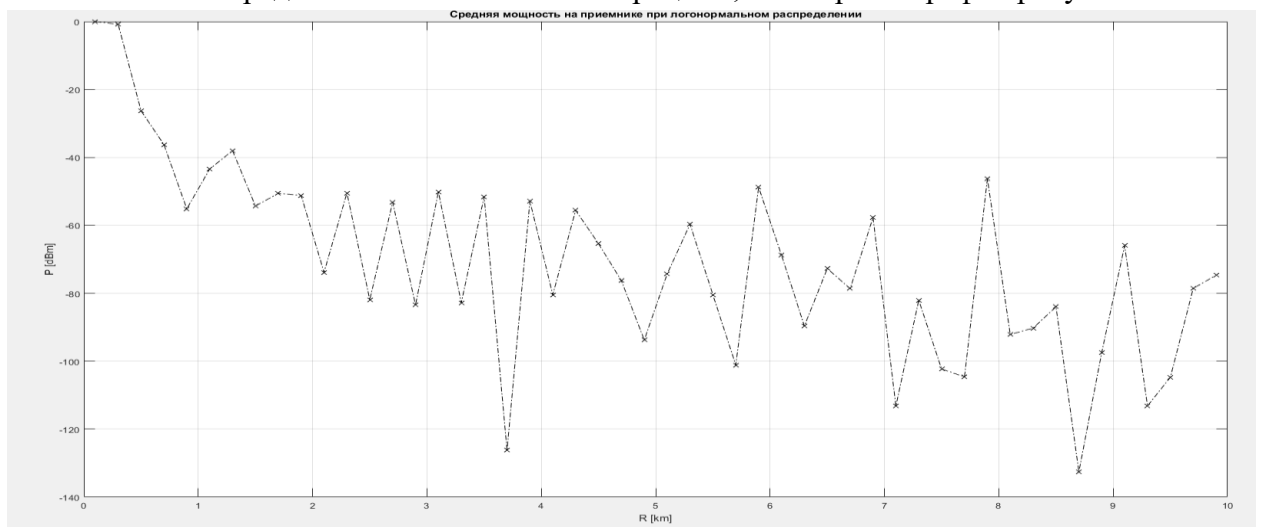


Рисунок 15: Среднее значение средней мощности по всем итерациям.

Следовательно получаем множество допустимых значений по Парето по мощности от -10 дБм до -85 дБм, и по расстоянию от 0 до 10 км. Оптимальным по Парето, в данной ситуации будем считать средний уровень принимаемой мощности, для данной станции, это -70.9 дБм. После фильтрации отчетов по критериям, уровень сигнала с -70.9 дБм до -85 дБм, получаем следующий график, изображенный на рисунке 12. Однако, в отличии от базовой станции BS2545 в данном случае, необходимо ввести ограничение по максимальному радиусу. Пользуясь результатом из второй главы работы, максимальный радиус покрытия для данной станции равен 7 километрам. Данный факт, доказывает и резкая флуктуация сигнала после отметки в 7 километров на рисунке 11.

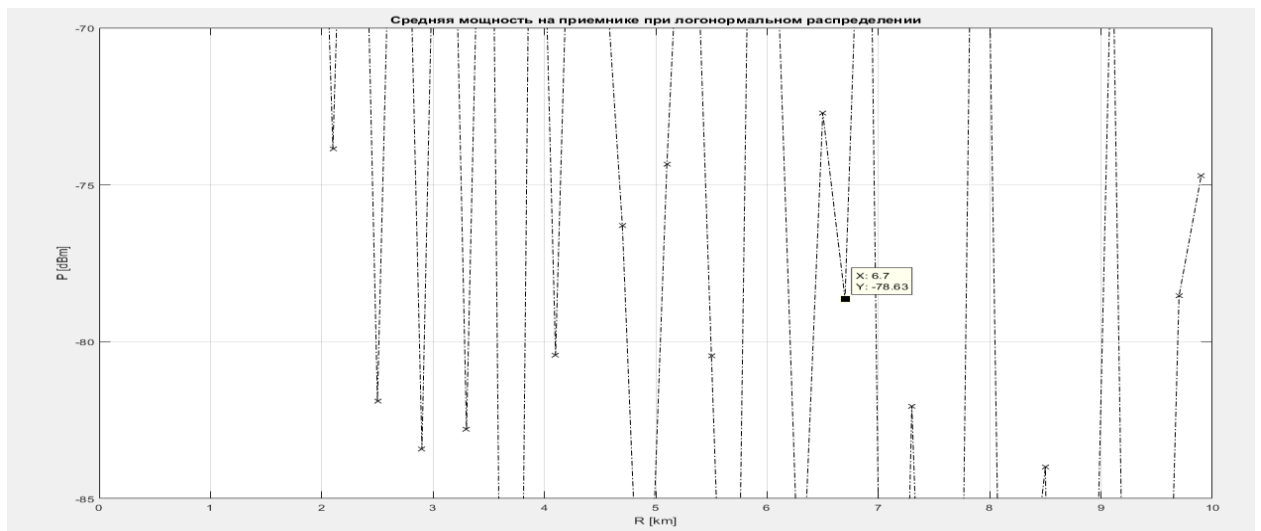


Рисунок 16: Область допустимых значений мощности принятого сигнала.

Для нахождения оптимального значения вариации уровня сигнала и расстояния, воспользуемся методом минимакса. Данной точкой служит расстояние 6.7 километра с уровнем сигнала 78.63 дБм. Точки правее не подходят по той причине, что они окружены «дырами» покрытия, следовательно, их можно счесть за единичный скачок, тогда когда выбранная точка является последним допустимым значением перед резким спадом уровня сигнала.

Следовательно, максимально приближенное значение радиуса покрытия станции BS2545 равно 6.7 км.

Сравним результат теоретического расчета с данными измерений карты покрытия системы транкинговой связи стандарта TETRA. Исходя из результата измерений, изображенного на рисунке 13, можно сделать вывод о том, что теоретический результат совпадает с реальным измерением. Что доказывает, что реальный радиус покрытия данной базовой станции, а следовательно и радиус, в котором обеспечиваются услуги сети TETRA с заданной вероятностью установления соединения, равен 6.7 километров.

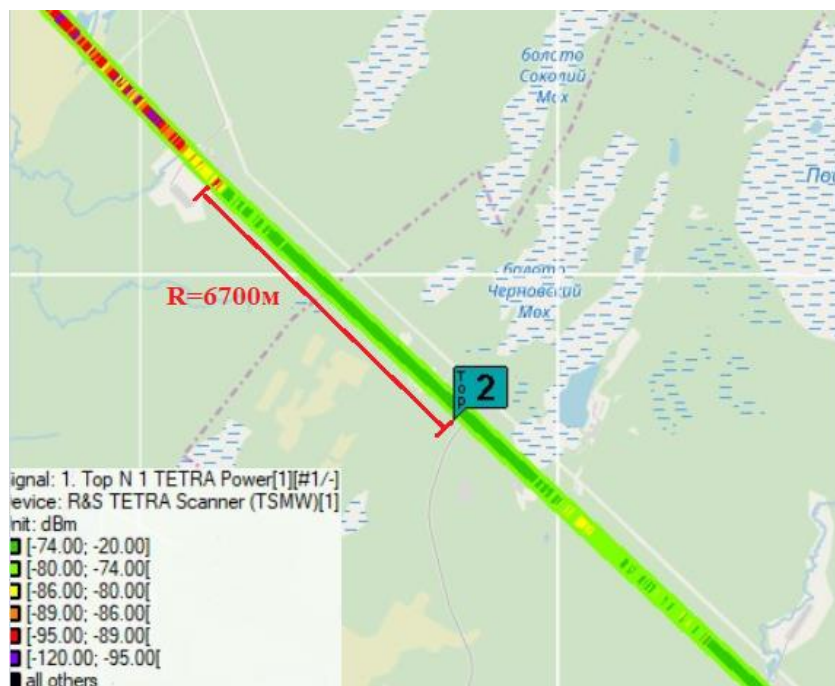


Рисунок 17: Результат измерений в районе базовой станции BS2545

После выполнения данной методики, приходим к выводу, что базовых станций BS2543 и BS2545 недостаточно для обеспечения транкинговой связи стандарта TETRA. По рисунку 14, видно, что расстояние равное 7.5 не соответствует требованиям ГОСТ Р54959.

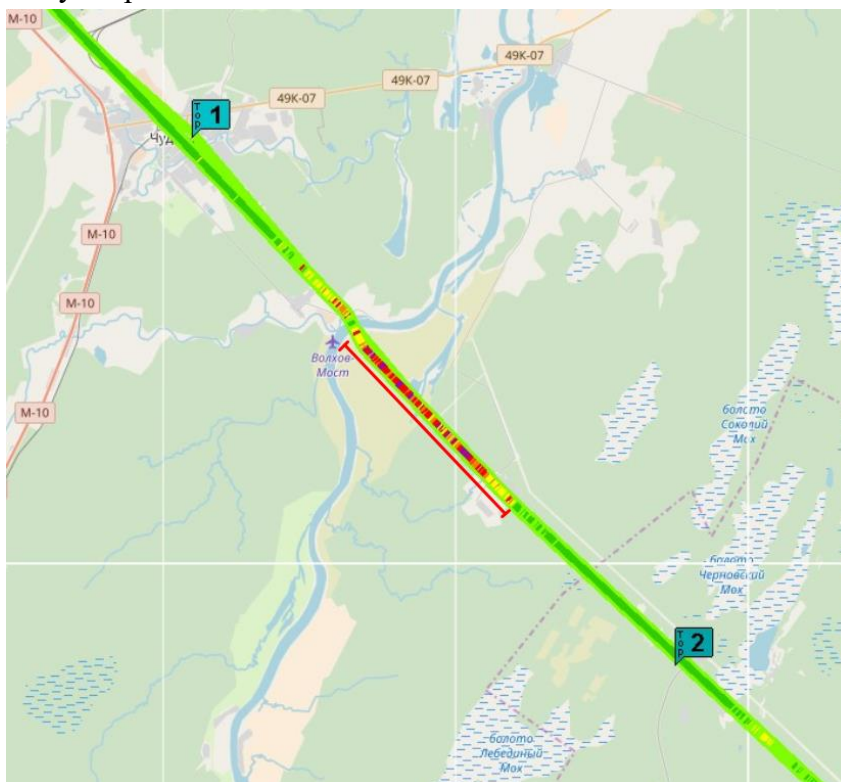


Рисунок 18: Отсутствие покрытия в зоне между базовой станцией BS2545 и BS2543.

Однако прежде чем говорить о задаче модернизации, необходимо провести расчет коэффициента обеспечения связи всей системы в целом.

6. Оценка надежности сети системы транкинговой связи стандарта TETRA.

Для оценки надежности системы транкинговой связи стандарта TETRA необходимо рассматривать коэффициенты обеспечения связи отдельных элементов сети:

1. Аппаратной составляющей (BTS, BCF, BSC, MS, Диспетчерского пульта, а также электропитающего оборудования)
2. Проводного канала связи (в данном случае для передачи данных использована волоконно-оптическая линия связи ВОЛС)
3. По радиопокрытию.

Коэффициент обеспечения связи рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ос} = \frac{MTBF}{MTBF * MTTF} ; \quad (7)$$

где MTBF (Mean Time Between Failures) – Среднее время наработки на отказ, ч; MTTF (Mean Time To Restoration) – Среднее время на восстановление нормальной работы системы, ч. Значения MTBF заданы в спецификации на то или иное оборудование системы. Сведем в таблицу исходные данные для расчета надежности системы TETRA на заданном участке дороги ж/д ст. Чудово – ж/д ст. Гряды.

Таблица: Исходные данные MTBF

Оборудование	MTBF, ч	MTBF, лет
Базовая станция BTS	50000	5.7
Локальный контроллер BCF	50000	5.7
Контроллер системы TETRA BSC	100000	11.4
Стойка электропитания Eltek	350000	40
Мобильный терминал MS	15000	1.7
Источник бесперебойного питания UPS	175200	20

Исходя из того, что параметр МТТФ выбирается для каждого типа оборудования, и в него входит время на:

- Обнаружение неполадки,
- Локализацию,
- Демонтаж неисправного оборудования,
- Монтаж нового оборудования,
- Пусконаладочные работы.

Также при отсутствии необходимого оборудования для замены, ко времени МТТФ также добавляется время на заказ и поставку необходимого оборудования. Сведем данные по значениям МТТФ в таблицу.

Таблица: Исходные данные МТТФ

Оборудование	МТТФ, часов в год	МТТФ, часов за время MTBF
Базовая станция BTS	48	273.6
Локальный контроллер BCF	24	136.8
Контроллер системы TETRA BSC	12	136.8
Стойка электропитания Eltek	48	1920
Мобильный терминал MS	560	952
Источник бесперебойного питания UPS	24	1104

Во время МТТФ для мобильного терминала также учтено время на зарядку оборудования, равное в неделю 10ти часам, что в год образует 520 часов, также учитываем время на возможный ремонт оборудования в год равным 40ч, что в итоге образует 560 часов.

Используя формулу (7) рассчитаем коэффициент обеспечения связи для каждого типа оборудования и линии, данные сведем в таблицу.

Таблица: Коэффициент обеспечения связи

Оборудование	Коэффициент обеспечения связи, K_{oc}
Базовая станция BTS	0.9945
Локальный контроллер BCF	0.9972
Контроллер системы TETRA BSC	0.9986
Стойка электропитания Eltek	0.9945
Мобильный терминал MS	0.9403

Источник бесперебойного питания UPS	0.9945
Линия связи ВОЛС	0.9987
Диспетчерский пульт	0.9997
Медный кабель/Джамп N-male - N-male	0.9945

*где значения K_{oc} ВОЛС и диспетчерского пульта, были даны в спецификации

Далее для расчета коэффициента обеспечения связи на данном участке пути, следует определить диспетчерский округ, к которому он относится. Рассмотрим карту Октябрьской железной дороги на рисунке 15, и выделим на ней Диспетчерские округа.

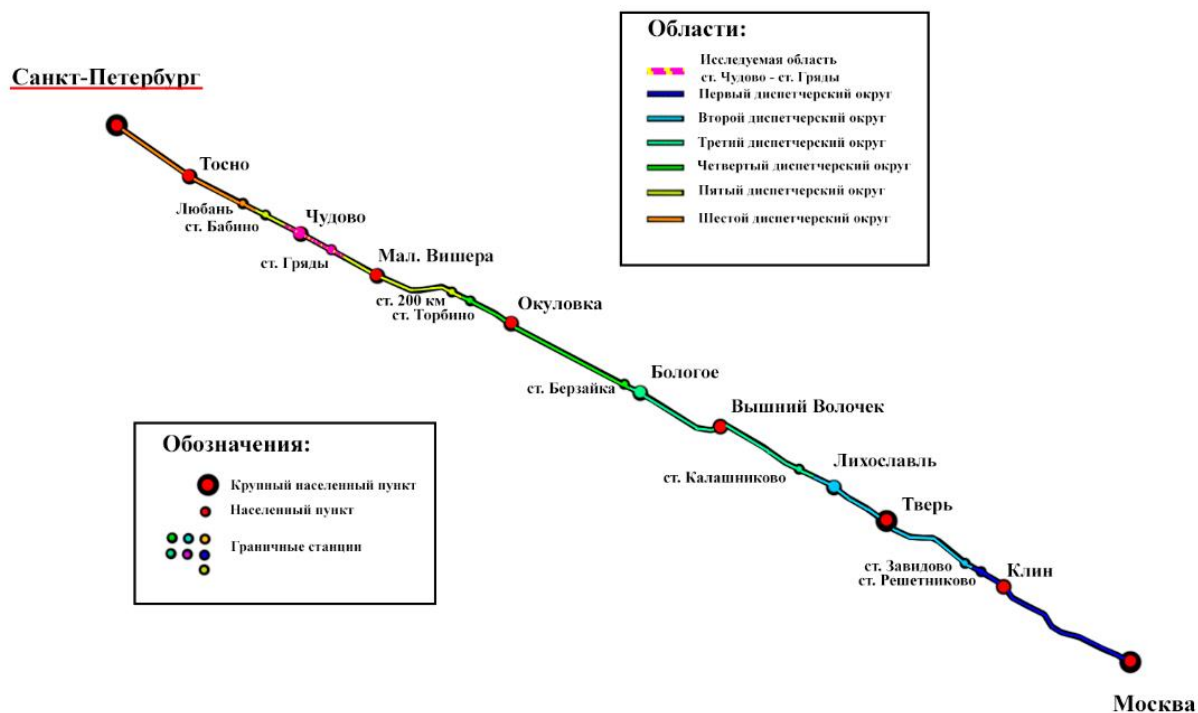


Рисунок 19: Октябрьская железная дорога Москва - Санкт-Петербург.

По рисунку видно, что Октябрьская железная дорога Санкт-Петербург – Москва состоит из шести диспетчерских округов:

1. Первый Диспетчерский округ г. Санкт-Петербург – Любань;
2. Второй Диспетчерский округ ст. Бабино – ст. 200 км;
3. Третий Диспетчерский округ ст. Торбино – ст. Берзайка;
4. Четвертый Диспетчерский округ г. Бологое – ст. Калашниково;
5. Пятый Диспетчерский округ г. Лихославль – ст. Завидово;
6. Шестой Диспетчерский округ ст. Решетниково – г. Москва;

На основании приведенной карты видно, что рассматриваемый участок дороги ст. Чудово – ст. Гряды, находится во втором диспетчерском округу протяженностью 124.5 км, и включающего в себя 7 базовых станций стандарта TETRA. Коэффициент обеспечения связи рассчитаем для всего второго диспетчерского округа.

Прежде чем считать коэффициент обеспечения связи второго диспетчерского округа, следует обговорить конфигурацию каждой линии:

- Мобильный терминал – Диспетчерский пульт (рис.16 (а));
- Мобильный терминал – выход на сети ISDN/PSTN.(рис. 16 (б)).

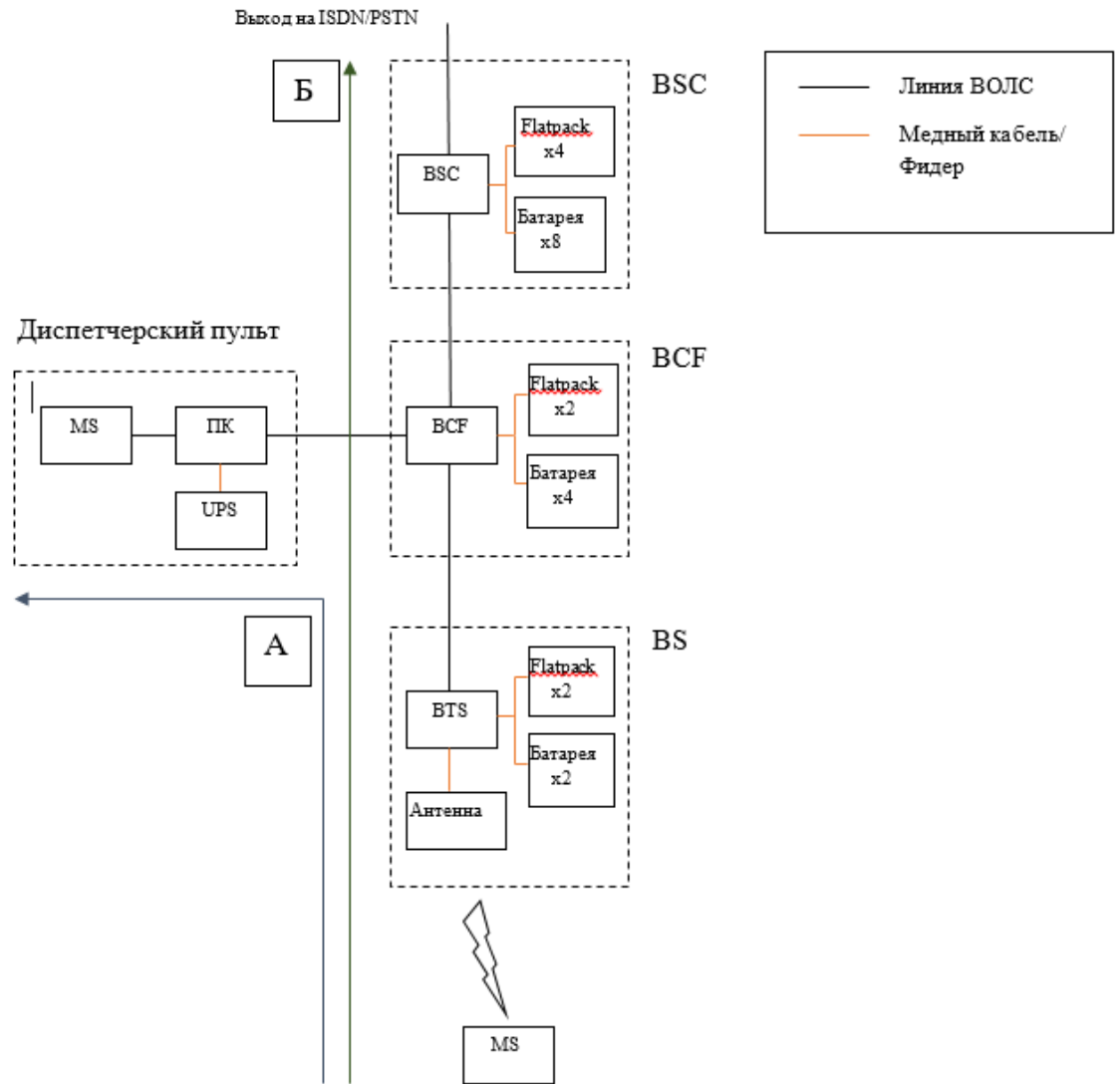


Рисунок 20: Линия от мобильного терминала до А – Диспетчерского пульта, Б – выхода на внешние сети.

Расчет коэффициента обеспечения данной линии, следует вести по методу декомпозиции. Метод декомпозиции заключается в замене фрагмента сетевой структуры одним элементом, надежность которого равна надежности заменяемого фрагмента сети. Структура на рисунке 16, включает в себя комбинацию последовательных и параллельных структур, следовательно блоки с последовательными и параллельными включениями элементов будут рассчитаны отдельно.

Надежность последовательной структуры определяется вероятностью одновременного работоспособного состояния всех элементов:

$$\rho = \prod_{i=1}^n \rho_i, \quad (8)$$

где ρ - вероятность работоспособного состояния i -го элемента; n – число элементов.

Параллельные структуры состоят из множества независимых путей, каждый из которого не зависит друг от друга, и выход из строя одной из ветвей не влияет на остальные элементы структуры. Вероятность работоспособного состояния параллельной структуры определяется вероятностью работоспособного состояния хотя бы одного из элементов:

$$\rho = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \rho_i). \quad (9)$$

К данным блокам относится:

- Блок базовой станции BTS, включающей в себя стойку электропитания, выраженную на схеме комбинацией выпрямителя Flatpack и набором аккумуляторных батарей, базовую станцию Teltronics eNebula и антенну Kathrein.

В соответствии с формулами (8) и (9) получим выражение для расчета коэффициента обеспечения связи блока базовой станции BTS:

$$\rho_{b.BTS} = \rho_{BTS} * \rho_{CC} * \rho_{ant}, \quad (10)$$

где $\rho_{BTS} = \rho_{BS} * (1 - (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC})) * (1 - (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}))$ – вероятность обеспечения связи базовой станции скоммутированной со стойкой питания, ρ_{ant} - вероятность обеспечения связи антенны; ρ_{BS} - вероятность обеспечения связи базовой станции; $\rho_{flatpack}$ - вероятность обеспечения связи выпрямителя; ρ_{batt} - вероятность обеспечения связи аккумуляторной батареи; ρ_{CC} - вероятность обеспечения связи медного кабеля и антенного фидера.

- Блок локального контроллера базовой станции VCF, состоящую из стойки электропитания, укомплектованную по схожему с базовой станцией вариантом, и контроллером базовых станций.

В соответствии с формулами (8) и (9) получим выражение для расчета коэффициента обеспечения связи блока локального контроллера VCF:

$$\rho_{b.VCF} = \rho_{VCF} * (1 - (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC})) * (1 - (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC})); \quad (11)$$

где ρ_{VCF} - вероятность обеспечения связи контроллера базовых станций.

- Блок диспетчерского пульта, составляет персональный компьютер, подключенный к системе бесперебойного питания UPS и подключенную к стационарному терминалу для связи с машинистами и работниками поезда.

В соответствии с формулами (8) и (9) получим выражение для расчета коэффициента обеспечения связи блока диспетчерского пульта:

$$\rho_{b.DP} = \rho_{PC} * \rho_{UPS} * \rho_{MS}; \quad (12)$$

где ρ_{PC} - вероятность обеспечения связи персонального компьютера; ρ_{MS} - вероятность обеспечения связи мобильного терминала; ρ_{UPS} - вероятность обеспечения связи источника бесперебойного питания.

- Блок контроллера сети TETRA BSC, укомплектован схожим с локальным контроллером образом.

В соответствии с формулами (8) и (9) получим выражение для расчета коэффициента обеспечения связи блока контроллера сети TETRA:

$$\rho_{b.BSC} = \rho_{BSC} * (1 - (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC})) * (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{flatpack} * \rho_{CC}) * (1 - (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC})) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}) * (1 - \rho_{batt} * \rho_{CC}); \quad (13)$$

где ρ_{BSC} - вероятность обеспечения связи контроллера сети TETRA.

После рассмотрения каждого блока в отдельности, задача расчета коэффициента сводится к расчету коэффициента обеспечения связи двух отдельных линий.

- Линия от абонента до диспетчерского пульта:

$$\rho_{l.MS_DP} = \rho_{MS} * \rho_{RF} * \rho_{b.BTS} * \rho_{opt} * \rho_{b.VCF} * \rho_{opt} * \rho_{b.DP}; \quad (14)$$

- Линия от абонента до выхода на внешние сети:

$$\rho_{L_{MS}_{out}} = \rho_{MS} * \rho_{RF} * \rho_{b.BTS} * \rho_{opt} * \rho_{b.BCF} * \rho_{opt} * \rho_{b.BSC} * \rho_{opt}; \quad (15)$$

где ρ_{RF} – коэффициент обеспечения связи радиолинии; ρ_{opt} – коэффициент обеспечения связи линии ВОЛС.

Так как расчет берется в масштабах второго диспетчерского округа, содержащего в себе 7 базовых станций, следовательно расчет по (15) будет вестись одновременно по 7 линиям, соединенных друг с другом последовательно. Для упрощения расчета коэффициент обеспечения связи по покрытию ρ_{RF} для каждой станции будет заменен на коэффициент обеспечения связи по покрытию ρ_{RF_2} для всего округа.

$$\rho_{L_{MS}_{DP}_{nDO}} = \rho_{RF_n} * \prod_{i=1}^7 \rho_{L_{MS}_{DP}_i}; \quad (16)$$

где $\rho_{L_{MS}_{DP}_i}$ – коэффициент обеспечения связи i -ой базовой станции, входящей в состав Второго Диспетчерского округа; n – номер диспетчерского округа.