

МЕТОДИКА МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТИ ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА TETRA

Н.В. Бабаев^{1*}, О.А. Симонина¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: n.babaev2016@yandex.ru

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Бабаев Н.В., Симонина О.А. Методика модернизации системы транкинговой связи стандарта TETRA // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 2. С. 36–43.

Аннотация: В статье предложена методика модернизации участка Октябрьской железной дороги ст. Чудово – ст. Гряды, оснащенного системой транкинговой связи стандарта TETRA. Методика базируется на разработанной математической модели, верифицированной на основе натурных измерений. Целью натурных измерений служил поиск слабых зон покрытия и визуализация реальных значений уровня сигнала на карте покрытия. Модель включает в себя выражения для расчета покрытия сетей TETRA на основе модели Окамура-Хата с поправкой на специфику организации железнодорожной связи. На основе разработанных рекомендаций предложено модернизировать участок ст. Чудово – ст. Гряды путем установки новой базовой станции.

Ключевые слова: TETRA, железная дорога, транкинговая связь, измерение.

Введение

Жизненный цикл сети связи можно разбить на несколько этапов: проектирование, развертывание, оптимизация, модернизация. При этом оптимизация направлена на повышение качества обслуживания и проводится через некоторое время после запуска сети, так могут изменяться условия эксплуатации, наборы услуг и требования к ним. Особенно важен этап оптимизации для сетей специальной связи, так как к ним применяются более жесткие требования, чем к коммерческой связи, что связано с обеспечением функционирования объектов повышенной опасности. Следующим этапом, проводимым по результатам оптимизации, является модернизация, которую необходимо реализовывать без простоя сети в целях обеспечения надежности связи.

Примером сети специальной связи является сеть ОАО «РЖД», реализованная на стандарте беспроводной связи TETRA. Железная дорога является объектом повышенной опасности, поэтому требования к качеству связи на ней крайне жесткие – согласно ГОСТ Р54959 минимально допустимый уровень сигнала должен быть не ниже –85 дБм [6]. При этом условия распространения радиоволн меняются со временем, что связано в том числе с изменениями застройки территорий местонахождения базовых станций. При этом необходим по-

стоянный контроль за выполнением требований частотно-территориального планирования (ЧТП) и электромагнитной совместимости (ЭМС), так как сеть TETRA работает в лицензируемом диапазоне радиоспектра (таблица 1) [2, 3, 4]. Поэтому для обеспечения параметров ЭМС и ЧТП необходима коррекция параметров базовых станций, а также, при необходимости, модернизация оборудования

ТАБЛИЦА 1. Частотные диапазоны TETRA (Европа)

Направление передачи	Частотный диапазон, МГц					
	Uplink	380-390	410-420	450-460	870-888	412-417*
Downlink	390-400	420-430	460-470	915-933	422-427*	467,5-469*

*Принято в РФ, Решение ГКРЧ от 08 сентября 2011 г. № 11-12-03-1.

Транкинговые системы – это системы подвижной связи, предназначенные для построения коммуникационных сетей на предприятиях, оперирующих разнесенными в пространстве ресурсами. Характерной чертой этих систем является наличие диспетчерского (управляющего) центра, распределяющего вызовы и каналный ресурс, что позволяет производить специализированные вызовы: вызов с диспетчерского пульта всех пользователей группы, установление соединения между несколькими подвижными станциями и т.п. [1]. Системные ресурсы в таких системах состоят из ка-

налов, являющихся общим ресурсом всех пользователей данной транкинговой сети. В момент вызова любой свободный канал из общей квоты может быть назначен для установления соединения между подвижными станциями. После завершения сеанса связи канал будет немедленно возвращен обратно. В отличие от традиционной диспетчерской сети в случае занятости всех каналов вызов не будет отклонен, а встанет в очередь на ожидание свободного канала (рисунок 1).

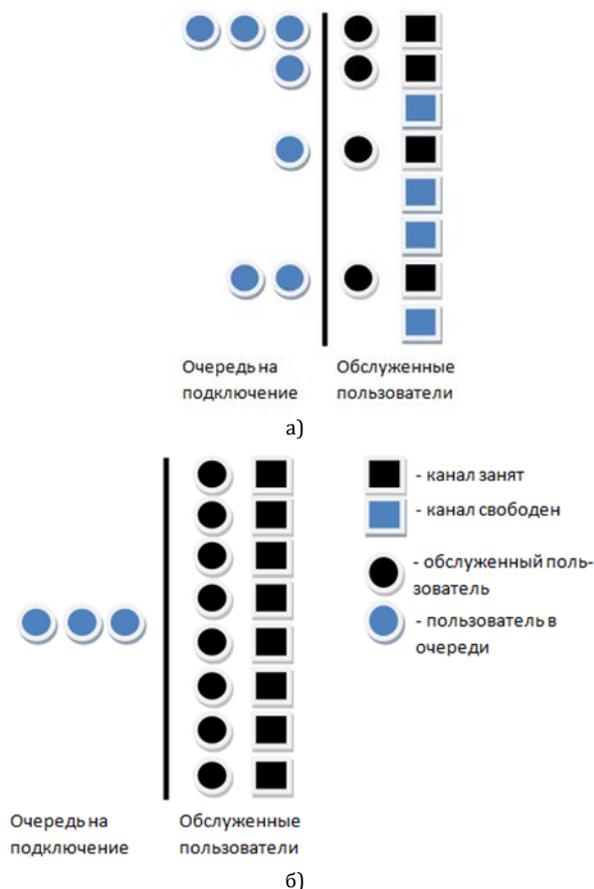


Рис. 1. Различие в обслуживании пользователей:
а) традиционная диспетчерская сеть; б) транкинговая сеть

Благодаря модульному построению системы TETRA является гибким решением для обеспечения специальной связи, так как сеть может быть реализована с различной протяженностью. При этом функции центра управления и коммутации распределяются по всей сети, что обеспечивает надежность при потере связи с отдельными ее элементами и быстродействие системы.

Первоначальный частотно-территориальный план позволяет рассчитать размер одной соты в зависимости от типа используемого оборудования, мощностей излучения, направленности антенных систем и условий распространения волн. Полученные данные наносятся на географическую карту местности, в которой планируется развертывание сети. Далее проводится компьютерный анализ условий распространения радиоволн, что позволяет получить грубую оценку зоны обслужи-

вания сети. Подобные измерения производятся специализированной аппаратурой, однако данный метод требует довольно больших вложений и довольно сложен организационно. На наш взгляд, специфика функционирования сетей стандарта TETRA вдоль транспортных магистралей позволяет использовать более простые, хотя и менее точные алгоритмы. Для проверки данной гипотезы сравним показатели покрытия сети на основе измерений, проведенных на участке Октябрьской железной дороги между станциями Чудово и Гряды, и расчетные значения, полученные согласно предлагаемой математической модели.

Измерения параметров связи на участке железной дороги

Для проведения измерений карты покрытия системы стандарта TETRA на участке железной дороги ст. Чудово – ст. Гряды был определен состав оборудования для измерения. Натурные измерения проводились с использованием оборудования компании Rohde & Schwarz – анализатора радиосетей TSMW, так как его характеристики полностью соответствуют требованиям к измерениям системы TETRA (см. таблицу 1). В составе измерительного комплекса также использовались: опция сканера для измерения сетей TETRA R&S TSMW-K26; программный комплекс R&S ROMES4; источник питания; GPS-антенна; внешняя антенна; электронный ключ eToken для ПО R&S ROMES4 (рисунок 2).



Рис. 2. Схема измерительного комплекса сети TETRA

Результат измерений приведен на карте покрытия (рисунок 3). Красным цветом отмечены участки, уровень сигнала на которых не соответствует требованиям ГОСТ P54959 о технических требованиях к поездной радиосвязи, согласно которым минимально допустимый уровень сигнала должен быть не ниже -85 дБм. Как видно из рисунка 3, длина этого участка составляет около 6 км.

Таким образом, железнодорожная связь, реализуемая с помощью системы транкинговой связи стандарта TETRA, требует модернизации на участке ст. Чудово – ст. Гряды ввиду невыполнения требований к радиосвязи на железной дороге по 20-процентному перекрытию зон покрытия согласно ГОСТ P54959.



Рис. 3. Карта местности с нанесенной картой покрытия

Разработка математической модели частотно-территориального планирования

Для разработки математической модели расчета теоретического радиуса покрытия соты рассмотрим подробнее основные аспекты, учитываемые при проектировании станций связи: определение местоположения приемопередающего оборудования, его типа и конфигурации. Определение емкости сети не требуется, так как при модернизации сохраняется количество абонентов и объем предоставляемых им услуг [5].

Выбор оборудования

Для уточнения конфигурации оборудования, установленного на базовую станцию, произведем расчет потерь фидерной трассы для базовых станций. Отметим, что внутрисистемные помехи сетей TETRA, расположенных вдоль дороги, меньше, так как базовые станции с одинаковым частотным каналом расположены только с двух сторон.

Для расчета будем использовать базовые станции БС компании Teltronic серии Nebula, характеристики которой приведены в таблице 2. Teltronic Nebula могут разворачиваться как снаружи помещений (outdoor), так и внутри (indoor). Также стоит отметить, что тройное разнесение позволит расширить зону покрытия, уменьшив количество базовых станций, необходимых для заданного региона.

В качестве мобильной станции МС используется портативная радиостанция серии SC20, также раз-

работанная компанией Teltronic (таблица 3). Мобильная станция поддерживает работу в диапазонах 380-430 МГц (SC 2020) и 403-470 МГц (SC 2024), включает в себя режим работы DMO с классом излучения 3; частоты соответствуют частотному диапазону, приведенному в таблице 1.

ТАБЛИЦА 2. Основные характеристики базовой станции Teltronic Nebula

Характеристики	Значения
Частотный диапазон, МГц	350-370, 380-400, 410-430, 450-470
Количество несущих	до 8
Мощность передатчика	32 Вт (с усилителем), 25 (после дуплексора)
Чувствительность приемника	-115 дБм
Нестабильность частоты	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Напряжение электропитания	115/230 В переменного тока -24 В постоянного тока
Максимальная потребляемая мощность базовой станции на одну несущую	250 Вт

В качестве соединительного используется фидерный кабель Cellflex LCF 12-05J 1/2". Для уменьшения затухания в кабеле по всей длине трассы предлагается коаксиальный кабель 7/8, на концах которого устанавливаются переходники на коаксиальный кабель 1/2 для коммутации с оборудо-

ванием (таблица 4). В нашем случае это переходник AL5DM-PS фирмы Andrew (2 шт.) с показателем сопротивления 50 Ом, поддерживающий диапазон 0–5200 МГц и вносящий потери 0,05 дБ. Также следует учитывать потери 3 дБ, вносимые на шести разъемах.

ТАБЛИЦА 3. Основные характеристики терминала SC 2024

Характеристики	Значения
Частотный диапазон, МГц	403-470
Класс мобильной станции	3
Мощность	2,7 Вт
Чувствительность приемника	-116 дБм статическая -107 дБм динамическая
Источник питания	Li-Pol 7.4 В, 1160 мА/ч (стандартная емкость) 1880 мА/ч (повышенная емкость)
Рабочая температура, °С	-20...+60
GPS	есть
Габариты В/Ш/Т	139/61/32,5 мм

ТАБЛИЦА 4. Характеристики кабеля

Параметр	Тип кабеля	
	12-05J ½"	7/8'50JA
Сопротивление	50 ± 1 Ом	50 ± 1 Ом
Диаметр центрального проводника	4,8 мм	9 мм
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

Учтем потери в пассивных элементах АФС (Антенно-фидерная система), а именно комбайнерах (CDU, от англ. Combiner Division Unit). Комбайнер компании ООО «РАДИАЛ» TETRA 2U – двухканальный комбайнер для диапазона частот 400–490 МГц, удовлетворяющий частотному диапазону, выделенному под систему TETRA на железной дороге в Российской Федерации, – вносит потери 2 дБ. Четырехканальный комбайнер TETRA 4U вносит потери 4 дБ.

Расчет потерь

Произведем расчет потерь в антенно-фидерном тракте (АФТ) приемника и передатчика [7]:

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

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 (комбайнеры, сплиттеры). Результат расчета затухания для различных длин фидерной трассы приведен в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5. Затухание 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

Произведем расчет на примере участка железной дороги ст. Чудово – ст. Гряды, включающего в себя базовые станции с идентификаторами BS2543 и BS2545. В состав оборудования входит рассмотренная ранее базовая станция Teltronic Nebula, излучающая антенна фирмы Kathrein с коэффициентом усиления 8,5 дБ, установленная на высоте 42 м на мачтовой металлоконструкции. Исходные данные для расчета приведены в таблицах 6 и 7.

ТАБЛИЦА 6. Исходные данные для расчета базовой станции TETRA

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, дБм		-107
		-85*
Высота мобильной станции, м	4	

*Исходные данные для расчета взяты исходя из требований ПАО «РЖД»

ТАБЛИЦА 7. Исходные данные для расчета (потери)

Потери, дБ	Базовая станция	Мобильная станция
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 модели Окамура-Хата [1], которая имеет следующий вид [1]:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_{\text{БС}}) - a(h_{\text{МС}}) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{\text{БС}})) \lg(R), \quad (2)$$

где $a(h_{MC})$ – поправочный коэффициент, используемый при высоте антенны мобильной станции, отличной от 1,5 м, для городской застройки. Так как рассматриваемый участок железной дороги проходит по сельской местности, то согласно модели Окамуры-Хата, получим:

$$L_C = L - 4,78(\lg(f))^2 + 18,33 \lg(f) - 40,94, \quad (3)$$

где L – распространение в городских условиях из (2). Результат расчета представлен на рисунке 4.

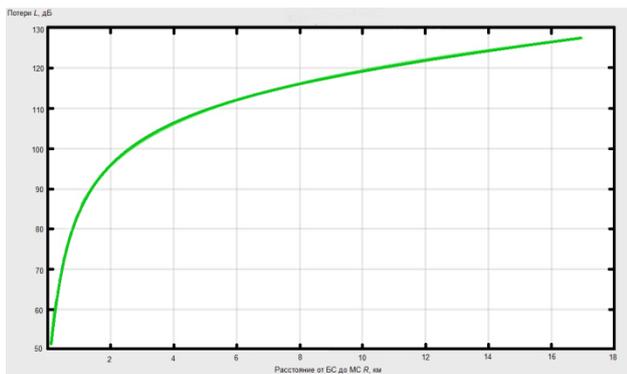


Рис. 4. Зависимость потерь при распространении радиоволн от расстояния между базовой станцией и мобильным терминалом

Расчет мощности принимаемого сигнала произведен по формуле Гарольда Фрииса [1]:

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

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 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Проведем нормирование формулы (4) к децибелам, тогда:

$$P_{RX}(\text{дБм}) = P_{TX}(\text{дБм}) + G_{TX}(\text{дБ}) + G_{RX}(\text{дБ}) + 20 \lg(\lambda) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(R) \quad (5)$$

Данная формула описывает распространение радиоволн в идеальных условиях, то есть такая модель не учитывает затухание мощности сигналов от географических особенностей местности и типов застройки, то есть необходимо уточнение модели. В качестве показателя внесенных в систему потерь примем рассчитанные по модели Окамура-Хата, тогда:

$$P_{RX}(\text{дБм}) = P_{TX}(\text{дБм}) + G_{TX}(\text{дБ}) + G_{RX}(\text{дБ}) + 20 \lg(\lambda) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(R) - \frac{2}{3} L_C, \quad (6)$$

где L_C – потери при распространении сигнала в сельской местности согласно формуле (3). Значение $\frac{2}{3} L_C$ учитывает компенсацию константы, зави-

сящей от единиц измерения частоты и расстояния.

Используя формулу (6) произведем расчет зависимости средней мощности сигнала от расстояния для базовой станции BS2543. Как видно из графика на рисунке 4, максимальное расстояние обеспечения связи составило 14,5 км при заданной чувствительности приемника -107 дБм. Учтем, что в соответствии с ГОСТ Р54959 минимально допустимый уровень сигнала должен быть не ниже -85 дБм, тогда расстояние, при котором обеспечивается связь с вероятностью 95 %, равно 7 км (рисунок 5) [6]. Уровень допустимых потерь для базовой станции BS2545 составляет 98,21 дБм.

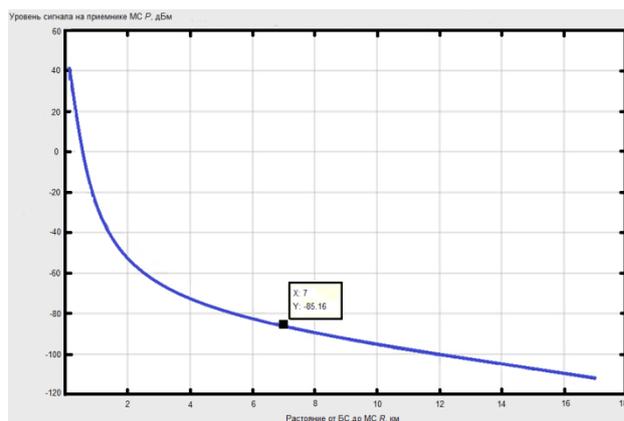


Рис. 5. Зависимость средней мощности сигнала от расстояния между базовой станцией и мобильным терминалом для базовой станции 2543

Аналогично рассчитаем зависимости средней мощности сигнала от расстояния (рисунок 6). Тогда максимальное расстояние при чувствительности портативной радиостанции SC20 -107 дБм составит 21 км, а расстояние, на котором обеспечивается связь с вероятностью 95 %, равно 0,3 км.

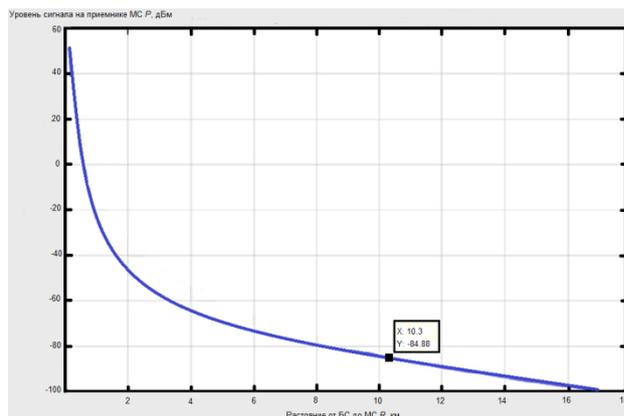


Рис. 6. Зависимость средней мощности сигнала от расстояния между базовой станцией и мобильным терминалом для базовой станции BS2545

На рисунке 7 приведены радиусы покрытия базовых станций BS2543 и BS2545 на карте местности. Расстояние, на котором уровень сигнала менее -85 дБм, равно 6,1 км.

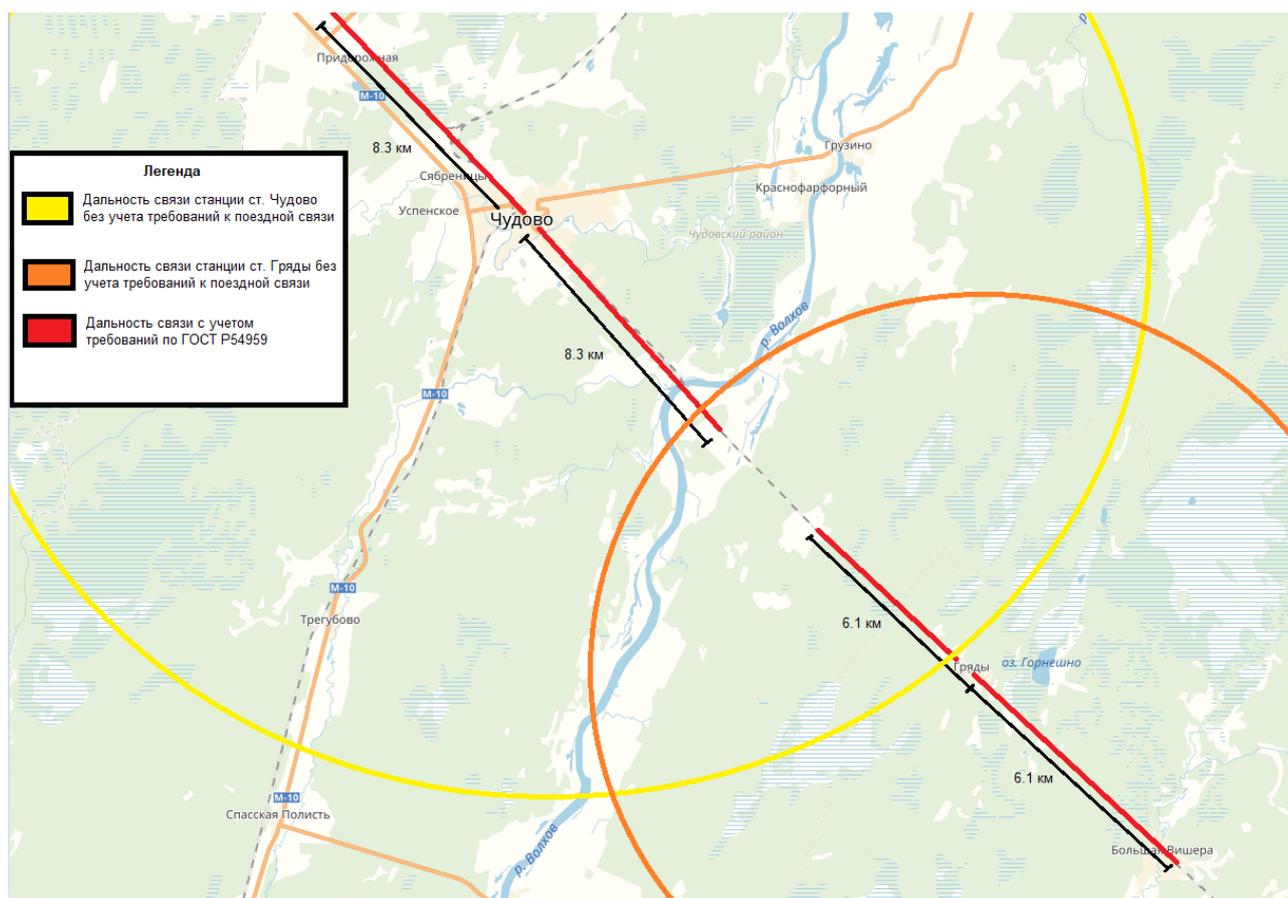


Рис. 7. Карта местности с нанесенной расчетной картой покрытия

Сравнивая результат измерений и расчета, легко заметить, что теоретическая модель достаточно точно описывает реальную картину распространения сигнала в условиях эксплуатации сетей TETRA как сетей специальной связи вдоль железной дороги. Следовательно, полученная математическая модель может служить опорой для предварительного расчета ЧТП как при проектировании новых сетей TETRA, так и в случае модернизации старых.

Рекомендации к модернизации сети TETRA на участке ст. Чудово – ст. Гряды

Для проведения модернизации сети поездной радиосвязи, реализованной на стандарте TETRA, предложен ряд рекомендаций к модернизации.

Первая группа рекомендаций относится к увеличению покрытия за счет модернизации антенной системы. Во-первых, оператором сети должна рассматриваться возможность изменения высоты подвеса антенны, то есть смещение фазового центра антенны на более высокий. Это позволит изменить диаграмму направленности антенны, и, следовательно, увеличит радиус покрытия базовой станции. Также возможна замена устаревшей антенной системы на современную с большим коэффициентом усиления, что также позволит увеличить радиус покрытия базовой станции. Кор-

ректировка азимутов антенной системы, то есть поворот антенны по азимуту, позволит повернуть главный лепесток диаграммы направленности антенны по направлению железной дороги.

Вторая группа рекомендаций носит более масштабный характер и ориентирована на замену базовых станций. В случаях, когда базовые станции значительно разнесены друг относительно друга, необходима оценка возможности установки дополнительной базовой станции в целях соответствия требованиям по перекрытию базовых станций стандарта TETRA [6].

Применим рекомендации к рассматриваемому участку ст. Чудово – ст. Гряды. Изменение высоты подвеса антенны не целесообразно, так как в условиях сельской местности смещение антенны по мачтовому сооружению не приведет к существенному увеличению покрытия. Изменение азимутального угла антенны на данном участке не требуется, так как антенная система сонаправлена с железнодорожными путями. При этом базовые станции уже оснащены современными антеннами фирмы Kathrein с максимально возможным коэффициентом усиления антенны для данного класса базовых станций. Учтем, что расстояние между базовыми станциями, на котором не выполняются требования по качеству связи согласно ГОСТ R 54959, составляет 6 км, что сопоставимо с покры-

тием, обеспечиваемым одной базовой станцией. Следовательно, необходимо рассмотреть установку новой базовой станции. Согласно карте покрытия и исследованию населенности района, таким местом рекомендуется выбрать железнодорожную станцию Волхов-Мост, имеющую необходимую инфраструктуру для установки телекоммуникационного оборудования.

Для новой базовой станции BS2544 произведем выбор конфигурации оборудования, высоты подвеса антенны, длин фидерной трассы для расчета радиуса покрытия. По направлению от ст. Чудово к ст. Гряды есть перепад высоты местности на 35 мет-

ров [8], следовательно, нужно внести корректировку местоположения антенны на железнодорожную ст. 130-ый километр и выбрать высоту подвеса антенны не ниже 60 метров с учетом запаса на высоту лесополосы и перепада высот (рисунок 8). Угол поворота антенн по азимуту направлен в сторону путей железной дороги, что определяет направление антенны на 310 градусов по направлению к ст. Чудово и на 140 градусов по направлению на ст. Гряды (рисунок 9). Состав оборудования идентичен для всех базовых станций, т.е. при расчетах новой базовой станции будем использовать данные таблиц 2-7.



Рис. 8. Карта высот ст. Чудово – ст. Гряды

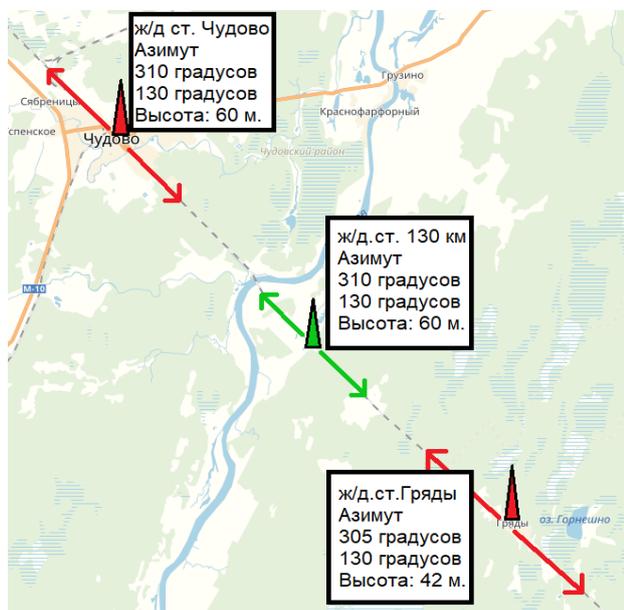


Рис. 9. Направление антенн новой базовой станции

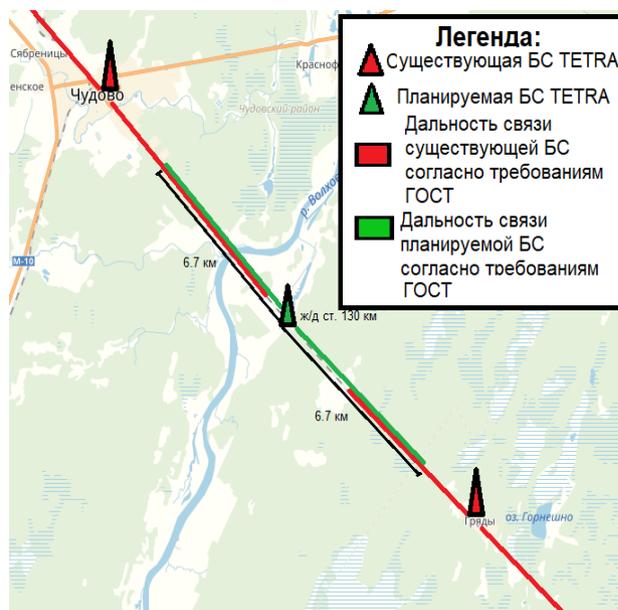


Рис. 10. Расчетная карта покрытия участка РЖД с установкой новой базовой станции

Согласно расчетам по предложенной модели, радиус покрытия новой станции составит 6,7 км. Нанесем данный результат на карту, отображенную на рисунке 10 (радиус покрытия станции BS2544 отмечен зеленым цветом). Таким образом, установка данной станции решит проблему по 20-процентному перекрытию соседними базовыми станциями.

Заключение

Предложенная методика позволила найти решение проблемы покрытия для железнодорожной связи на участке ст. Чудово – ст. Гряды и, следовательно, обеспечила необходимое качество голосовых услуг TETRA. После проведения модернизации данный участок будет соответствовать требованиям ГОСТ Р54959 по минимально возможному

уровню сигнала -85 дБм, отношению сигнал-шум и 20-процентному перекрытию зоны покрытия. Таким образом, можно заявить о целесообразности использования данной методики для практического применения на реальных объектах. При этом отметим, что предложенный вариант по развешиванию новой базовой станции является экономически ресурсоемким, но все другие варианты

не приведут к выполнению требований по показателям качества сети железнодорожной связи.

В дальнейшем необходимо внести в модель корректировку, позволяющую учитывать климатические изменения и разработать методику расчета надежности сети железнодорожной связи с учетом особенностей технологии TETRA.

Список используемых источников

1. Кшиштоф В. Системы подвижной радиосвязи. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 536 с.
2. ETSI EN 300 392-1 v1.4.1. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design.
3. ETSI EN 300 392-2 v2.3.2. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface.
4. ETSI EN 100 392-18-3 v1.4.1. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D) and Direct Mode Operation (DMO); Part 18: Air interface optimized application.
5. Бузов А.Л. и др. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2: Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем. М.: КРАСАНД, 2012. 552 с.
6. ГОСТ 54959–2012. Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2013. 26 с.
7. Расчет затухания в антенно-фидерном тракте. [Электронный ресурс] URL: https://vuzlit.ru/998108/raschet_zatuhaniya_antenna_fidernom_trakte
8. Карта для определения высоты местности и профиля высот с учетом кривизны земли. [Электронный ресурс] <http://22dx.ru/online/karta-vy-sot/>

* * *

METHODOLOGY OF UPGRADING THE TETRA COMMUNICATION SYSTEM

N. Babaev¹, O. Simonina¹

¹The Bonch-Bruевич State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Babaev N., Simonina O. Methodology of Upgrading the TETRA Communication System // Proceedings of Telecommunication Universities. 2018. Vol. 4. Iss. 2. PP. 36–43.

Abstract: *The article proposes a method of modernization of the section of the October railway station Chudovo – station Gryadi, equipped with a trunking system TETRA standard. The technique is based on the developed mathematical model verified on the basis of full-scale measurements. The purpose of full-scale measurements was to find weak coverage areas and visualize the real values of the signal level on the coverage map. The model includes expressions for the calculation of TETRA network coverage based on the Okamura-Khat model adjusted for the specifics of train communication. On the basis of the developed recommendations, it was proposed to modernize the section of the station Chudovo – station Gryadi by installing a new base station.*

Keywords: TETRA, railway, trunking, measurement.