

А.В. Попов, В.Е. Унучков

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СТАНДАРТА GSM-R В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности выбора расположения базовых станций в системах поездной радиосвязи стандарта GSM-R в условиях сильно пересеченной местности. Показана целесообразность учета окружающего рельефа и оценки областей, существенных для распространения сигналов для оптимизации числа базовых станций и устранения «мёртвых зон» на обслуживаемых перегонах. На примере участка Чернышевск – Ксеньевская Забайкальской железной дороги оценивается возможность выбора местоположения и числа базовых станций при проектировании поездной радиосвязи стандарта GSM-R в зависимости от окружающего рельефа местности на различных перегонах.

Ключевые слова: поездная радиосвязь, цифровые системы мобильной связи, сотовая связь GSM-R, распространение сигналов, область существенная для распространения, базовая станция, рельеф местности.

A. V. Popov, V. E. Unuchkov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

OPTIMIZATION OF THE PLACEMENT OF GSM-R BASE STATIONS IN DIFFICULT TERRAIN CONDITIONS

Abstract. The article deals with the features of choosing the location of base stations in the systems of mobile radio communication of the GSM-R standard in highly rough terrain. The expediency of taking into account the surrounding terrain and evaluating areas that are essential for the distribution of signals to optimize the number of base stations and eliminate "dead zones" on the served stretches is shown. On the example of the Chernyshevsk – Ksenevskaya section of the TRANS-Baikal railway, the possibility of choosing the location and number of base stations when designing a GSM-R train radio communication system is evaluated, depending on the surrounding terrain on various stages.

Keywords: train radio communication, digital mobile communication systems, GSM-R cellular communication, signal distribution, area essential for distribution, base station, local terrain.

Введение

Развитие железнодорожной радиосвязи сегодня осуществляется по двум направлениям: внедрение цифровых систем радиосвязи и передачи данных стандарта DMR в частотном диапазоне 160 МГц и стандарта GSM-R в диапазоне 900 МГц. Системой GSM-R оборудованы участки Туапсе - Альпика-Сервис Северо-Кавказской железной дороги, Санкт-Петербург – Буловская Октябрьской магистрали и Московское центральное кольцо. Проведённые там приёмочные испытания системы GSM-R подтвердили эффективность её применения для поездной радиосвязи и передачи данных в автоматизированные системы управления [5].

Система радиосвязи GSM-R удовлетворяет потребности железнодорожного транспорта в обмене информацией с подвижными объектами и создает условия для реализации систем управления движением при обеспечении комплексной безопасности. Она является безопасной платформой для голосовой связи и передачи данных между оперативным персоналом железнодорожных компаний, а также предоставляет такие функциональные возможности, как групповые вызовы, трансляция голоса, соединение с абонентом с учетом его местопо-

жения, освобождение линии для срочных вызовов. Это значительно улучшает качество коммуникаций и создаёт предпосылки её внедрения на проектируемом участке.

Разработка проекта оптимизации поездной связи стандарта GSM-R

Объектом проектирования сети поездной связи стандарта GSM-R стал перегон Ульякан – Урюм участка Чернышевск-Ксеньевская Забайкальской железной дороги. Участок расположен в холмистой местности, покрытой лиственнично-сосновыми лесами, что затрудняет организацию связи дециметрового (ДМВ) диапазона, радиоволны которой практически не огибают препятствия. Связь между станциями обеспечивается аналоговой радиосвязью метрового диапазона. Существующее состояние поездной радиосвязи на рассматриваемом участке железной магистрали позволяет констатировать, что большинство радиостанций выработали срок службы и потребуют замены в ближайшее время. Поэтому для обеспечения безопасности движения необходим переход на цифровой стандарт радиосвязи. Возможным решением данной проблемы может стать переход на цифровой стандарт сотовой радиосвязи GSM-R.

Проектируемая сеть поездной радиосвязи стандарта GSM-R должна обеспечивать полное перекрытие зон на станциях и перегонах и состоять из зон покрытия вдоль железнодорожных путей, предпочтительно с направленными антеннами по направлению пути [3]. Следовательно, при проектировании поездной радиосвязи стандарта GSM-R на данном участке вдоль железнодорожных путей необходимо установить базовые станции, способные обеспечить уверенный приём радиосигнала от базовой станции (БС) к мобильной (МС) и обратно. Для увеличения энергетика канала связи и уменьшения «мертвых зон» стационарные антенны базовых станций должны быть установлены на такую высоту, которая обеспечит некоторое превышение над средним уровнем рельефа. За исходную нами принята минимально допустимая высота – 35 м, применимая для коротких трасс, при отсутствии значительных препятствий [9].

Оценка зон охвата радиосвязи была рассчитана по модели Окамура-Хата, которая позволяет прогнозировать усредненные потери при распространении радиосигнала в открытом пространстве, сельской местности и в городе. Модель подходит как для двухточечной, так и для радиовещательной связи и охватывает высоту антенны мобильной станции 1-10 м, высоту антенны базовой станции 30-200 м и расстояния линии связи от 1-10 км [7,8].

Средний уровень сигнала на входе приемной антенны определяется по формуле (1).

$$L_d = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_t) - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_r)) \lg(d) \quad (1)$$

где h_t – высота антенны базовой станции, м;

h_r – высота антенны мобильной станции, м;

d – расстояние от передатчика до точки приема, км;

L_d – допустимый уровень потерь на трассе распространения сигнала, дБ;

f – частота принимаемого сигнала, 878 МГц.

Излучаемую мощность сигнала определили по формуле (2)

$$P_{изл} = P_{БС} + G_t - F_\phi \quad (2)$$

где $P_{БС}$ – мощность передатчика, дБм;

G_t – коэффициент усиления антенны дБ;

F_ϕ – затухание фидера и других цепей между передатчиком и антенной, дБ.

По формуле (3) рассчитали затухание фидера F_ϕ

$$F_\phi = 0,038 * h_t + 3 \quad (3)$$

где 0,038 – удельное затухание на 1 м кабеля;

h_t – высота установки стационарной антенны, м;

3 – дополнительные затухания в разъемах и соединениях, дБ.

Необходимую мощность сигнала на приемной антенне определили по формуле (4)

$$P_a = P_{пр} + G_r - F_k - F_3 \quad (4)$$

где $P_{пр}$ – чувствительность приемника, дБм;

G_r – коэффициент усиления приемной антенны, дБ;

F_k – потери в кабеле, дБ/м;

F_3 – запас на замирание, дБ.

Допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала L_d , необходимый в дальнейших расчетах, – по формуле (5).

$$L_d = P - P_a \quad (5)$$

Расчет был произведен на протяженности всего перегона на примере передачи радиосигнала от базовой радиостанции (BTS) к мобильной (MS), технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1– Основные характеристики BTS и MS

Мобильная станция		Базовая станция	
Показатели	Значения	Показатели	Значения
$P_{пр}$, дБм	-107	P_{BTS} , дБм	50
G_r , дБ	0	G_t , дБ	13
F_k , дБ	0	F_ϕ , дБ	4,33
F_z , дБ	12	-	-
h_r , м	1,5	h_t , м	35

Таким образом, допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала L_d составил 154,67 дБ:

$$L_d = 50 + 14 - 4,33 + 107 - 12 = 154,67 \text{ дБ.}$$

Тогда,

$$\lg(d) = \frac{L_d - 69,55 - 26,16\lg(f) + 13,82\lg(h_t) + A(h_r)}{44,9 - 6,55\lg(h_t)}$$

Зная допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала L_d , определили максимальную дальность передачи между BTS и MS в худших условиях распространения радиосигнала – 7 км и максимально возможное расстояние между соседними базовыми станциями, с учетом перекрытия в 3 км, – 11 км. Схема расстановки оборудования для данных условий изображена на рисунке 1.

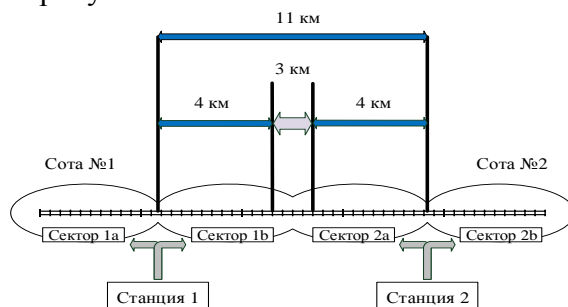


Рисунок 1 – План расстановки оборудования

Расчёт зоны охвата по модели Хата показал, что для обеспечения уверенной радиосвязи стандарта GSM-R на участке Ульякан – Урюм протяженностью 16,5 км, понадобится 2 базовых станций.

Для проверки полученных результатов расчеты по модели Окамура – Хата, сравнили с данными программы Linktest, с помощью которой были построены эллипсоиды перекрытий для определения качества связи на выбранном участке.

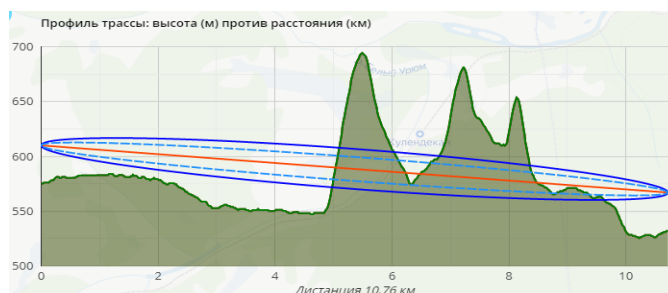


Рисунок 2 – Эллипсоид перекрытий участка Ульякан-Урюм, построенный по модели Окамура - Хата.

По данным программы Linktest видно, что связь на участке при заданных условиях невозможна, так как зоне распространения сигнала мешает рельеф местности, что видно на рисунке 2. Следовательно, для обеспечения уверенной связи необходимо либо поднять базовые станции на большую высоту либо сократить расстояние между ними.

Опираясь на опыт строительства Сочинской магистрали, сократим дистанцию между BTS на максимально возможное расстояние в 3 км, которое обеспечивает уверенный уровень радиосигнала в условиях горной местности. В этом случае на данном участке потребуется установить 7 BTS.

Для оптимизации затрат на установку базового оборудования проектируемый перегон разбили на несколько дистанций с максимально возможным расстоянием между BTS и построили эллипсоиды перекрытий, как показано на рисунке 3. При этом получили уверенный радиосигнал на протяжении всего участка.

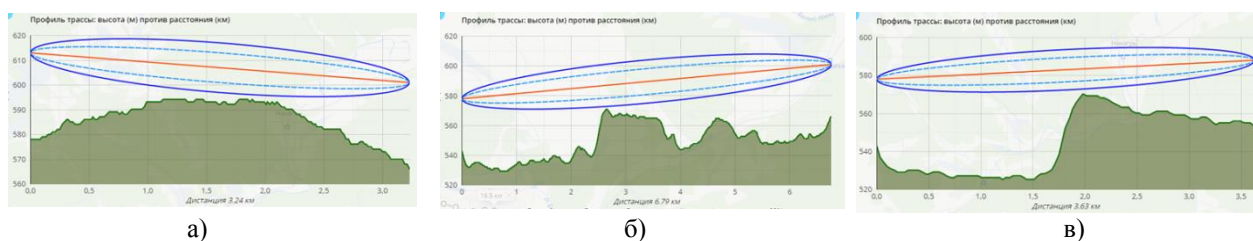


Рисунок 3 – Эллипсоиды перекрытий для обеспечения уверенной связи на участке Ульякан-Урюм.

В этом случае для оснащения участка потребовалось установить всего 4 BTS.

Обобщая полученные данные можно констатировать следующее:

- по результатам расчетов, полученных по модели Окамура-Хата, для оснащения поездной радиосвязью стандарта GSM-R железнодорожной магистрали Чернышевск - Ксеньевская, протяженностью 213 км, потребуется установить 21 BTS;
- если устанавливать базовые станции на расстоянии в 3 км, опираясь на сочинский опыт строительства, понадобится 72 BTS;
- по данным программы Linktest для оснащения участка потребуется установить 54 BTS, при этом среднее расстояние между ними составит 3,6 км. Такое расстояние типично для связи в условиях сложного рельефа и близко к среднему расстоянию на участке Туапсе – Альпика-Сервис Северо-Кавказской железной дороги.

Заключение

Резюмируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- 1 Данные полученные по модели Окамура-Хата не возможно применить на проектируемом участке пути, так как не учитывается реальный рельеф местности, что может привести к отсутствию сигнала и повлиять на безопасность движения поездов.
- 2 Применение Сочинской модели строительства потребует значительных капитальных вложений. Поэтому наиболее целесообразным считаем расчёт, полученный по программе Linktest, который позволит оптимизировать капитальные затраты на приобретение и монтаж оборудования за счёт сокращения количества базовых станций на 30%.

Библиографический список

1. От слов к данным // Гудок – № 8 (26857) 21.01.2020 – 5 полоса | Технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gudok.ru/>
2. Свичинский, Е. GSM-R – единый стандарт связи / Е.Свичинский // Беспроводные технологии – № 3,2013 – С.32-38 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wireless-e.ru>
3. Требование заказчика к цифровой системе технологической радиосвязи стандарта GSM-R ОАО «Российские железные дороги» на участке Туапсе-Сочи-Адлер-Альпика Сервис-Веселое (Сочи-2014). Прил. к конкурсной документации – М., 2011. – 54 с.

4. Унучков В.Е. – Перспективы развития систем подвижной связи железнодорожного транспорта. – Иркутск: ИрГУПС.
5. Цифровая дорога выходит на связь // Гудок – вып.№88 (262277) от 31.05.2017 – 5 полоса/ Инновации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gudok.ru/newspaper>
6. Частота надежности // Гудок – вып. от 31.10.2008 – 5 полоса/ Инфраструктура /Перспективы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gudok.ru/>
7. Шалагинов, А. Системы железнодорожной связи GSM-R – веление времени. Как сделать правильный выбор? / А. Шалагинов // Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ/ сентябрь, 2012 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.comnews.ru/>
8. Шнепс-Шнеппе, М.А. Мобильная сеть GSM-R – основа цифровой железной дороги/ М.А. Шнепс-Шнеппе, В.П. Куприяновский // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 7, no.7,2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>.
9. Эксперты Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу: Рекомендации по внедрению цифровой технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте стандарта GSM-R / I издание, утв. совещанием комиссии ОСЖД 10. 11. 2005 г. – Варшава: 2005 – 48с.
10. Y. Okamura, Et. Ohmori. «Напряженность поля и ее изменчивость в сухопутной подвижной службе ОБЧ и УВЧ» // Ред. Com. Lab., Гл. 16, сентябрь-октябрь 1968 г. – С. 825-873.
11. М. Hata, «Эмпирическая формула для потерь при распространении в сухопутных подвижных службах радиосвязи» // IEEE Trans. Veh. Technol., vol.VT-29, Aug. 1980. – С.317-325.

REFERENCES

1. From words to data // Gudok - issue No. 8 (26857) 01/21/2020 - 5 strip | Technologies [Electronic resource] - Access mode: <https://www.gudok.ru/>
2. Svichinsky, E. GSM-R - a unified communication standard / E. Svichinsky // Wireless technologies - No. 3,2013 - S.32-38 [Electronic resource] - Access mode: <https://wireless-e>.
3. Customer requirement for a digital technological radio communication system of the GSM-R standard of Russian Railways OJSC on the Tuapse-Sochi-Adler-Alpika Ser-vis-Vesyoloye section (Sochi-2014). Adj. to the tender documentation - M., 2011. - 54 p.
4. Unuchkov V.E. - Prospects for the development of railway mobile communication systems. - Irkutsk: IrGUPS.
5. The digital road gets in touch // Gudok - issue No. 88 (262277) from 05/31/2017 - 5 lane / Innovation [Electronic resource] - Access mode: <https://www.gudok.ru/newspaper>
6. The frequency of reliability // Gudok - issue 10/31/2008 [Electronic resource] - Access mode: <https://www.gudok.ru/>
7. Shalaginov, A. Railway communication systems GSM-R - the imperative of the time. How to make the right choice? / A. Shalaginov // News of digital transformation, telecommunications, broadcasting and IT / September, 2012 [Electronic resource] - Access mode: <http://www.comnews.ru/>
8. Shneps-Shneppe, M.A. The GSM-R mobile network is the basis of the digital railroad / M.A. Shneps-Shneppe, V.P. Kupriyanovsky // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 7, no.7,2019 [Electronic resource] - Access mode: <https://cyberleninka.ru>.
9. Experts of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock: Recommendations on the implementation of digital technological radio communications in railway transport of the GSM-R / I standard, approved. OSJD Commission meeting 10. 11. 2005 - Warsaw: 2005 - 48s.

10. Y. Okamura, Et. Ohmori. «Field Strength and its variability in VHF and UHF land mobile Service» // Rev. Elec. Com. Lab., Vol. 16, September-October 1968. – Pp.825-873.
11. M. Hata, «Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services» // IEEE Trans. Veh. Technol., vol.VT-29, Aug. 1980. – Pp.317-325, Aug. 1980.

Информация об авторах

Попов Антон Владимирович – студент группы СОД.4-15-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pavanton97@mail.ru

Унучков Владимир Евгеньевич – доцент, канд. физ.- мат. наук Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vlad.unuchkov@yandex.ru;

Authors

Popov Anton Vladimirovich - student of the SOD.4-15-1 group, faculty of “Transport Support Systems”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pavanton97@mail.ru

Unuchkov Vladimir Evgenievich - Associate Professor, Ph.D. phys.- mat. Sciences of Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, e-mail: vlad.unuchkov@yandex.ru;

Для цитирования

Попов А.В. Оптимизация размещения базовых станций стандарта GSM-R в условиях сложного рельефа местности. [Электронный ресурс] / А.В. Попов, В.Е. Унучков, // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №3(9). – Режим доступа: – <http://mnv.irkgups.ru/toma/39-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.0.2020).

For citation

Popov A.V. Optimization of the placement of GSM-R base stations in difficult terrain conditions. / Popov A.V., Unuchkov V. // Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 3(9): <http://mnv.irkgups.ru/toma/39-20>. [Accessed 10/07/20].