

УДК 621.371

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ DVB-T В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

А.Ф. Ломакин, С.И. Школьный

Результаты расчетов напряженности поля DVB-T по модели Лонгли–Райса сопоставлены с измерениями, выполненными на местности. Прогноз и серия натурных измерений напряженности поля выполнены для различных типов трасс распространения волн в условиях сильно пересеченной местности и плотной городской застройки. Обсуждаются результаты сравнений модельных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: DVB-T, распространение радиоволн, модель Лонгли–Райса.

Введение

В процессе внедрения цифрового эфирного телевидения стандарта DVB-T в городах Приморского края поставлена задача обеспечения полного покрытия зоны обслуживания с заданными показателями качества (95% по времени и 95% на местности) при условии допустимого значения уровня помехи на телевизионные приемники при портативном приеме. Важным этапом при проектировании любой сети эфирного вещания является расчет гарантированной зоны обслуживания, в связи с этим адекватное моделирование распространения радиоволн в городской среде в настоящее время является достаточно актуальной задачей. С точки зрения распространения радиоволн современный город представляет собой сложную неоднородную электродинамическую структуру, в которой рельеф подстилающей поверхности оказывает определяющее влияние на формирование поля в точке приема. Для расчета зон покрытия раз-

работано множество моделей, различающихся по своим методам, способам параметризации характеристик окружающей среды, точности, скорости и применимости для различных условий. На текущий момент зона покрытия телевизионного передатчика рассчитывается в подавляющем большинстве случаев на основе статистических методов, которые длительное время являются основными и по-прежнему актуальны. В диапазоне частот телевизионных каналов (I–IV диапазоны) для расчета напряженности поля применяются модели Хаты, Окамуры, Парсона, Сакагами–Кубои, Булингтона, COST-231, ITU-R.1546 и др. Однако эти модели малоприспособлены для условий Владивостока с его хаотичной застройкой, сложным рельефом и наличием участков распространения радиоволн над водной поверхностью. Среди статистических моделей, на взгляд авторов, для условий Владивостока более подходит модель Лонгли–Райса, учитывающая неоднородности рельефа и некоторые недостатки отмеченных выше моделей. К особенностям данной модели стоит отнести относительно малую чувствительность к частоте сигнала, позволяющую вести расчет для достаточно широкополосного сигнала, каким является сигнал DVB-T, сводящийся к расчету для центральной частоты.

Цель данной работы – предварительная оценка границ применимости модели Лонгли–Райса при расчете зон покрытия цифрового телевизионного передатчика для различных трасс распространения сигнала.

Моделирование поля DVB-T

В настоящее время в Приморском крае завершается строительство сети DVB-T. На завершающем этапе требуется ее оптимизация на самом сложном участке – в г. Владивосток и на прилегающих к нему территориях. Город расположен на полуострове Муравьева-Амурского и с трех сторон окружен морем. Рельеф центральной части города определяют несколько сопков высотой до 250 м и залив Золотой рог, который глубоко вдается в полуостров и как бы разрезает город на две части. Городская телебашня расположена на сопке Орлиное гнездо высотой 192 м и имеет собственную высоту 195 м. Из-за географического положения и сложного рельефа во Владивостоке наблюдается дефицит пригодной для строительства земли. По плотности застройки центральной части город может сравниться с мегаполисами.

Как уже отмечалось, традиционно применяемые в России статистические методы прогнозирования распространения радиоволн [1, 2] малоприспособлены для условий Владивостока. Хотя в них и включены некоторые инструменты, позволяющие учесть особенности рельефа, такие модели обеспечивают достоверный прогноз только при достаточно однородной подстилающей поверхности. С другой стороны, относительно простые и точные методы, основанные на приближении геометрической оптики [3], также не могут быть использованы, так как они требуют подробной трехмерной карты города с высоким разрешением. Кроме этого, при проведении подобных расчетов для достаточно крупной территории предъявляются высокие требования к ресурсам компьютера, а сами расчеты занимают много времени.

Анализ литературных источников по использованию различных моделей прогнозирования распространения цифрового сигнала показал, что для расчетов зоны покрытия телевизионного передатчика на территориях со сложным рельефом и плотной городской застройкой более всего подходит модель Лонгли–Райса [4]. Данная модель не слишком известна в России, однако широко используется за рубежом. Хорошая достоверность модели Лонгли–Райса подтверждена практическими исследованиями [5]. Модель позволяет производить вычисление медианного значения ослабления для сложных трасс в диапазоне частот от 20 МГц до 10 ГГц и предназначена для определения медианных значений ослаблений для длинных трасс в условиях пересеченной местности. Модель включает в себя два варианта расчета: «точка–точка» и «точка–область». Первый предполагает наличие цифровой карты местности и предназначен для более точных расчетов, в то время как в варианте «точка–область» оценка производится по общим параметрам подстилающей поверхности. В данном исследовании расчеты проводились в режиме «точка–точка».

Для проведения расчетов был использован вариант реализации модели Лонгли–Райса в программном комплексе Terrain Analysis Package (TAP™, версия 6) фирмы Softwright [6] и цифровая карта территории с разрешением 3". Последовательно проводились расчеты и анализировались зоны покрытия территории г. Владивосток для мощностей передатчика 200 Вт, 500 Вт, 1 кВт, 2 кВт, 5 кВт. Расчеты выполнены при следующих параметрах сети DVB-T и окружающей среды:

- частота вещания – 37 телевизионный канал (598–606 МГц);
- высота подвеса передающей антенны 180 м;
- передающая антенна – панели Kathrein с усилением 14,1 дБи;
- поверхностная рефракция 301;
- удельная электропроводность почвы 0,005;
- относительная диэлектрическая проницаемость почвы 15;
- тип климата – континентальный умеренный.

Расчеты проводились для условий портативного наружного приема (заданные показатели качества приема – 95% по месту, 95% по времени). Высота приемной антенны в расчетах принималась равной 2 м.

Анализ результатов моделирования показал, что оптимальная мощность телевизионного передатчика для Владивостока составляет 2 кВт, при этом необходимый расчетный уровень сигнала в 63 дБмкВ/м [7] отмечается на удалении от точки вещания до 15 км, что обеспечивает необходимую зону обслуживания. Установлено, что внутри зоны покрытия существует несколько участков тени, обусловленных дифракционными потерями, вызванными сложным рельефом города. На этих участках прием ухудшен, а в некоторых случаях и невозможен. Такими «зонами тени» являются густонаселенные районы города. Кроме этого, практически вся пригородная зона города попадает в зону с недостаточным уровнем сигнала. При увеличении мощности передатчика до 5 кВт картина не меняется.

Таким образом, результаты модельных расчетов показывают, что при планировании цифрового телевидения DVB-T в режиме портативного приема нет возможности покрыть территорию г. Владивостока вещанием с одного передатчика.

Оценка результатов моделирования

Сопоставление экспериментальных данных и результатов моделирования проводилось на основе статистических расчетов среднего расхождения и среднеквадратичного отклонения между измеренными и рассчитанными значениями потерь в точке расположения приемной антенны. Натурные измерения напряженности электромагнитного поля, создаваемого цифровым телевизионным передатчиком мощностью 2 кВт, проводились с использованием анализатора спектра ETL Rohde&Schwarz и профессиональной измерительной антенны HE300 с коэффициентом усиления 10 дБи. Измерения производились на высоте 2 м над уровнем земли, что соответствует условиям портативного наружного приема. По результатам модельных расчетов были выделены пять характерных зон радиотени, в которых и проводились измерения в строгом соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи [7].

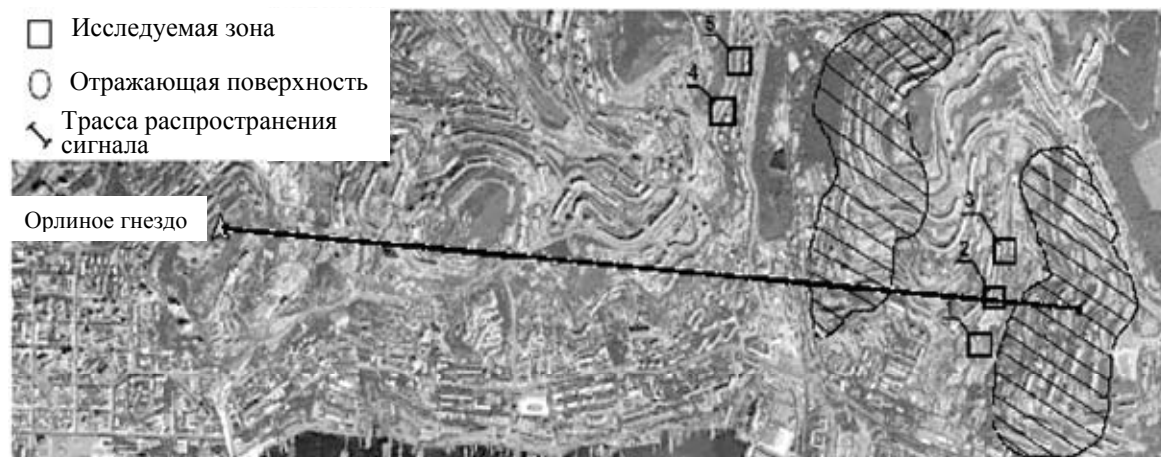


Рис. 1. Пространственное расположение зон радиотени и отражающих поверхностей

На рис. 1 представлено пространственное расположение характерных зон радиотени. Выделено 50 экспериментальных областей, из которых 17 относятся к открытому типу трассы, а 33 – к областям радиотени. Измерения уровня сигнала DVB-T проводились в каждой области не менее чем в 15 пространственных точках, общее число измерений составило 873. Измерения выполнялись по стандартной процедуре – в четырех точках приема, расположенных на расстоянии 40 длин волн исследуемого ТВ канала (в данном случае – 602 МГц, длина волны 50 см). Измерения уровня сигнала по четырем точкам осреднялись. Полученная медиана относилась к конкретной пространственной точке области, а рассчитанные медианы вновь осреднялись по областям. В пределах конкретной области все измерения проводились в течение одного дня.

На рис. 2 представлены предварительные результаты сравнения экспериментальных данных и данных, полученных в результате расчетов по модели Лонгли–Райса.

Видно, что модель позволяет получить достаточно точный прогноз напряженности поля DVB-T для открытых трасс (правая часть рис. 2), а в случае закрытых и полужакрытых трасс расчетные значения оказались сильно заниженными. Так, при проведении измерений было обнаружено, что в некоторых районах города уровень отраженного сигнала превышает 63 дБмкВ/м на уровне 2 м от земли, что позволяет вести уверенный прием сигнала на внешнюю портативную антенну. В то же время расчетные значения прямого сигнала для этих точек, полученные по модели Лонгли–Райса, составляют 25–30 дБмкВ/м. Известно, что технология DVB-T позволяет вести прием не только прямого сигнала, но и отраженного от объектов рельефа и зданий. Теоретические исследования [8] и натурные измерения [9] показывают, что при углах падения, близких к нормали, наблюдается зеркальное отражение электромагнитной волны от железобетонных поверхностей с коэффициентом отражения близким к 1. На практике при расчетах зоны

покрытия эфирных сетей для целей проектирования и оптимизации не учитывается возможность приема отраженного сигнала. В условиях сложного рельефа, в сочетании с плотной городской застройкой, данный фактор может оказывать влияние на размер зоны обслуживания.

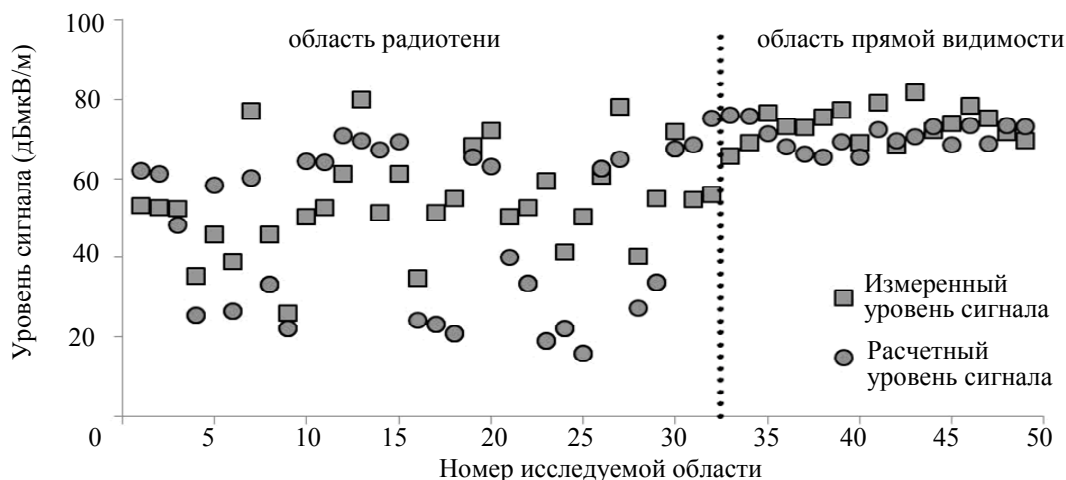


Рис. 2. Измеренные и расчетные значения напряженности поля DVB-T

В ходе исследования была сделана попытка численно оценить напряженность поля в зонах радиотени в предположении, что сигнал зеркально отражается от препятствий, расположенных перпендикулярно к направлению распространения. Плотная застройка Владивостока со зданиями, выполненными преимущественно из железобетонных конструкций, позволяет говорить о высокой степени достоверности такого предположения. Коэффициент отражения от железобетона принят авторами равным 0,91. Ослабление отраженного сигнала (рис. 3) рассчитывается как сумма ослабления прямого сигнала (линия 1) от телебашни «Орлиное гнездо» до отражающей поверхности (точка 2), потерь на отражение и ослабления сигнала (линия 3) от отражающей поверхности до исследуемой точки (точка 4).

Расчет ослабления на первом участке трассы производился по модели Лонгли–Райса в нескольких точках, полученные значения напряженности усреднялись. Особенностью второго участка трассы распространения сигнала являлась его небольшая протяженность (не превышает значений 1 км). Применение достаточно сложной модели Лонгли–Райса на этом отрезке пути нерационально, так как между отражающей поверхностью и оцениваемой точкой нет препятствий, попадающих в существенную зону распространения радиоволн. Известные формулы Введенского [10] и Окамура–Хата на расстояниях менее 1 км от точки излучения дают высокую погрешность. В настоящей работе использовалась достаточно простая формула, заимствованная из [11]:

$$E_{\text{дБмкВ/м}} = 64,5 + 20 \lg(H \cdot h) - 40 \lg R - \sqrt{\frac{H}{h}} \cdot 10 \lg\left(1 + \frac{R}{R_m}\right) - 5 \lg f, \quad (1)$$

где H и h – высота подъема передающей антенны и высота подвеса приемной антенны соответственно, м; f – частота, МГц; R – дальность от вещательного центра до точки приема, в которой осуществляется измерение напряженности поля E , км; $R_m = 4,12(\sqrt{H} + \sqrt{h})$ – дальность радиовидимости. Приведенная зависимость выражает собой аппроксимацию кривых, представленных в рекомендациях R.1546 [2] и может использоваться для коротких трасс. Результаты расчетов приведены в таблице.

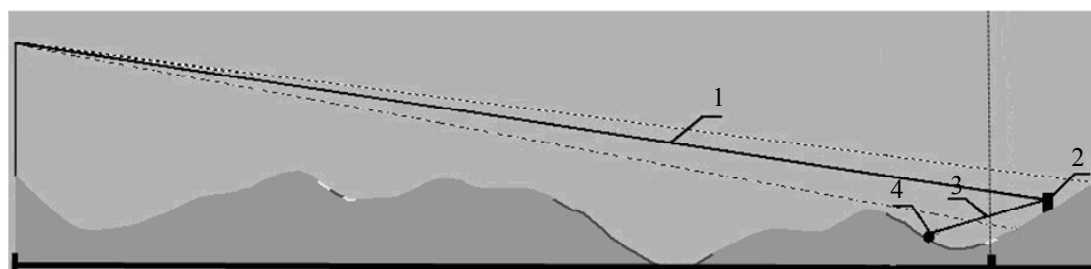


Рис. 3. Реальный профиль трассы распространения сигнала в зоне радиотени:
 1 – участок трассы передатчик-отражающая поверхность, рассчитанный по модели Лонгли–Райса;
 2 – точка отражения; 3 – участок трассы отражающая поверхность-точка приема, рассчитанный по формуле (1); 4 – точка приема

Номер зоны	Среднее расчетное значение напряженности поля на отражающем объекте $E_{отр}$, дБмкВ/м	Расчетное значение отраженного сигнала $E_{пр}$, дБмкВ/м	Среднее измеренное значение отраженного сигнала, дБмкВ/м	Различие между расчетным и измеренным значениями
1	75,9	53,4	52,6	-0,8
2	81,3	56,7	59,5	2,8
3	80,1	52,0	50,3	-1,7
4	79,0	48,4	51,3	2,9
5	83,3	52,4	55,1	2,7

Таблица. Сравнение медианных расчетных и измеренных значений напряженности поля DVB-T в зонах радиотени

Различия между расчетными и измеренными уровнями сигнала DVB-T невелики и в среднем не превышают 3 дБмкВ/м, что соизмеримо с точностью измерений. Среднеквадратичное отклонение между измеренными и рассчитанными значениями потерь по всем зонам не превышает 5,5 дБмкВ/м. Полученные предварительные результаты позволяют говорить о практической важности оценки уровня отраженного сигнала в рамках существующих параметрических моделей. Даже простой способ учета отраженного сигнала при прогнозировании поля DVB-T позволяет повысить точность модельных расчетов. Конечно, разработка параметрической модели, учитывающей отраженный сигнал, является сложной задачей, требующей большого количества экспериментальных данных и дополнительных исследований.

Заключение

Прогнозирование распространения радиоволн при помощи параметрической модели Лонгли–Райса показало, что плотная застройка и сложный рельеф приводят к появлению зон радиотени даже на небольших расстояниях от передающей антенны, что существенно затрудняет оптимизацию сети DVB-T. Измеренные и расчетные значения напряженности электромагнитного поля хорошо согласуются для открытых трасс, при этом прогноз напряженности поля несколько завышен, примерно на 3 дБмкВ/м по отношению к измеренным уровням сигнала. В случае закрытых и полузакрытых трасс расчетные значения оказались сильно заниженными. При экспериментальном исследовании проблемных зон распространения сигнала DVB-T на территории Владивостока установлено наличие многочисленных участков, где отраженный сигнал распространяется на значительные расстояния с хорошими качественными характеристиками, достаточными для уверенного приема на портативную антенну. Полученные предварительные результаты могут быть объяснены существенным упрощением модели Лонгли–Райса при учете некоторых особенностей распространения сигнала на реальных трассах. В то же время даже простые способы учета отраженных сигналов в модели показывают довольно хорошее соответствие расчетных и измеренных данных. Очевидно, что учет возможности приема отраженного сигнала мог бы позволить отказаться от части дополнительных передатчиков и ретрансляторов при проектировании сети либо уменьшить их мощность.

Литература

1. Okumura Y. Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service // Review Elec. Commun. Lab. – 1968. – V. 16. – С. 825–843.
2. Рекомендация МСЭ R.1546-3 (Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 25.08.2012).
3. Карпов А.А. Модель городского многолучевого радиоканала с предварительной обработкой данных о городской застройке // Журнал радиоэлектроники. – 2008. – № 8. – С. 63–68.
4. Hufford G., Longley A., Kissick W. Guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode, NTIA. – Tech. Rep. 1982. – P. 82–100.
5. Perez-Fontan F., Hernando-Rabanos J.M. Comparison of irregular terrain propagation models for use in digital terrain data based radiocommunication system planning tools // IEEE Transactions on Broadcasting. – 1995. – V. 41. – № 2. – P. 63–68.
6. Notes on Longley-Rice Propagation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.softwright.com/faq/engineering/prop_longley_rice.html, свободный. Яз. англ. (дата обращения 25.08.2012).
7. Рекомендация МСЭ-R ВТ.1368-8. Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ.

8. Dalke R.A., Holloway C.L., McKenna P., Johansson M., Ali A.S. Effects of reinforced concrete structures on RF communications // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 2000. – V. 42. – № 4. – P. 486–496.
9. Kakar F., Sani K.A., Elahi F. Essential factors influencing building penetration loss // 11th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT). – Hangzhou, China, 2008. – 10–12 November. – P. 1–4.
10. Введенский Б.А. Распространение ультракоротких радиоволн. – М.: Наука, 1973. – 408 с.
11. Песков С.Н. Аналитические методы расчета напряженности поля, создаваемой передатчиком // Теле-Спутник, 2008. – № 10. – С. 94–97.

Ломакин Александр Федорович – Дальневосточный федеральный университет, кандидат географических наук, доцент, lomakin11@land.ru

Школьный Станислав Игоревич – Дальневосточный федеральный университет, аспирант, nimagt@gmail.com