

МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА WI-FI

© 2017 И. А. Баутин, А. Г. Юрочкин

Воронежский институт высоких технологий
Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации

Рассмотрены популярные модели распространения и затухания сигнала Wi-Fi. Проведено экспериментальное сравнение ряда моделей в различных условиях. Сделаны выводы о их применимости.

Ключевые слова: модель, беспроводная связь, распространение радиоволн.

Введение. Актуальность исследования моделей распространения Wi-Fi-сигнала, используемых в программах и программных комплексах для планирования локальных беспроводных сетей, обусловлена их широким применением, и, как следствие, желанием повысить точность результатов моделирования.

Оптимизация расстановки точек доступа Wi-Fi входит в число мероприятий по планированию развертывания беспроводной локальной сети.

1. Модели распространения Wi-Fi-сигнала.

На настоящий момент разработаны эмпирические и теоретические модели, описывающие характеристики распространения сигналов. По эмпирическим моделям можно отметить 2 совокупности:

1. Статистические модели – в них требуется лишь в общем описание типа здания.

2. В одно- или многолучевых моделях – проводится оценка уровня принимаемых сигналов, и они базируются на том, что учитываются потери по всем препятствиям на пути движения сигналов.

Модели, позволяют выразить значение потери мощности сигналов в произвольных очках. При этом требуется определить потери мощности для идеальных условий – когда отсутствуют препятствия, отражения, и без учета существования каких-либо возможных траекторий, по которым идет сигнал, используется формула Фрииса [1]:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2, \quad (1)$$

где

d – дает значение расстояния в метрах, которое будет между передатчиком и приемником.

P_T – дает значение мощности передающей антенны при значении расстояния d , в дБм.

P_R – дает значение мощности, принимаемой антенной в дБм.

G_T – дает значение коэффициента усиления антенны в передатчике, G_R – дает значение коэффициента усиления в антенне приемника, λ – показывает длину волны в метрах.

Формула (1), если ее выразить в децибелах, когда коэффициенты усиления, равны единице:

$$\begin{aligned} L &= 10 \log \left(\frac{P_R}{P_T} \right) = 10 \log \left(\frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) = \\ &= 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Из (2) проведем вычисление потери мощности сигнала, относящегося к свободному пространству [1]:

$$L_{FS} = 32,45 + 20 \log(d) + 20 \log(f), \quad (3)$$

при условии, что расстояние измеряется в километрах, а частота f в мегагерцах.

В рамках статистической модели One slope [2, (1)] идет описание зависимости увеличения потерь мощности сигнала с ростом расстояния, при учете того, что усреднен вклад препятствий:

Баутин Иван Александрович – ВИВТ АНОО ВО, магистр, nik_al_2genh@yandex.ru.

Юрочкин Александр Геннадьевич – Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, д. т. н., профессор, yurrochhikn@yandex.ru.

$$L(d) = L_{FS} + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right), \quad (4)$$

здесь, $d_0 = 1$ м.

L_{FS} – значение потерь в свободном пространстве, относящихся к расстоянию d_0 . n – является коэффициентом, который зависит от вида помещения, числа препятствий и того, какой их материал.

В статистической модели Dual slope [1] учитываются отличия потерь мощности сигналов по дальним и ближним расстояниям. В ней существует разделение расстояния между приемным и передающим устройством на 2 зоны за счет точки разрыва d_{BR} – ближняя и дальняя:

$$L_1(d) = 10n_1 \log \left(\frac{d}{d_{BR}} \right) + L_{BR}, \quad d < d_{BR} \quad (5)$$

$$L_2(d) = 10n_2 \log \left(\frac{d}{d_{BR}} \right) + L_{BR}, \quad d \geq d_{BR} \quad (6)$$

здесь, $n_{1,2}$ – являются коэффициентами уменьшения значения мощности для промежутков до и после d_{BR} . Во многих случаях принимают, что он равен 2 и 6, соответственно.

L_{BR} – определяет значение потерь мощности сигнала, относящихся к точке разрыва.

Статистическая модель Log-distance [3] является аналогичной модели One slope, но при этом добавляется к потери мощности сигнала случайная величина X_σ :

$$L(d) = L_{FS} + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (7),$$

здесь, X_σ – является нормальной случайной величиной в dB, имеющей стандартное отклонение σ dB.

Статистическую модель, которая была рекомендована Международным союзом электросвязи (ITU-R 1238) [4] разработали для того, чтобы проводить расчеты внутри зданий и помещений:

$$L = 20 \log f + N \log d + P_f(n) - 28, \quad (8)$$

здесь, d в метрах, а f в мегагерцах.

N – является коэффициентом потерь мощности сигнала при увеличении расстояния.

n – равно числу препятствий (стен), которое будет между приемным и передающим устройством.

$P_f(n)$ – является параметром потерь мощности сигнала, когда он проходит через препятствия. Его определяют эмпирическим образом, и он зависит от числа пройденных препятствий [4].

Однолучевые модели Motley-Keenan [5] и COST 231 Multi-wall [2, (2)] строятся на

основе усовершенствованной модели One slope:

$$L(d) = L_M + 10n \log(d) + k_w L_w, \quad (9)$$

$$L = L_{FS} + 10n \log(d) + \sum k_{wi} L_{wi} + L_F n \left(\frac{(n+2)}{(n+1) - b} \right), \quad (10)$$

здесь, L_M – является значением измеренной потери мощности сигнала для расстояния 1 м.

k_{wi} – число пройденных препятствий (стен) типа i .

L_{wi} – значение потери мощности сигнала, когда он проходит через препятствие (стену) типа i .

L_F – значение потери мощности сигнала при прохождении через пол. n – число пройденных сигналом полов. b – эмпирический параметр.

2. Сравнение моделей распространения Wi-Fi-сигнала с экспериментальными данными.

Для сравнения нами были выбраны две статистические и две эмпирические модели распространения Wi-Fi-сигнала: One slope, ITU-R 1238, Motley-Keenan, COST 231 Multiwall.

Экспериментальные данные были получены в ходе экспериментальных измерений.

Схема помещений, в которых проводились замеры, приведена на рисунке 1.

На схеме отмечено расположение точки доступа и мест проведения замеров уровня мощности сигнала. В качестве передатчика была использована доступная точка и ноутбук в качестве приемника.

Сравнение выбранных моделей необходимо проводить в одинаковых условиях (количество стен и их пропускная способность) [5-8]. В качестве препятствия в первом сравнении была одна тонкая стена.

Начальное значение абсциссы у всех графиков на рисунке 2 равно 1 м, это связано со спецификой расчета выбранных моделей. Одинаковое значение абсцисс некоторых точек объясняется тем, что расстояние от приемника до передатчика в этих точках совпадает, но препятствия на пути сигнала от передатчика до приемника разные, вследствие чего [9-11] значения потери мощности сигнала в этих точках тоже разные. Модель One slope [2, (1)] наиболее точно описывает характер распространения сигнала в данной ситуации. Модель COST231 Multi-wall [2, (2)] показывает самый «пессимистичный прогноз».

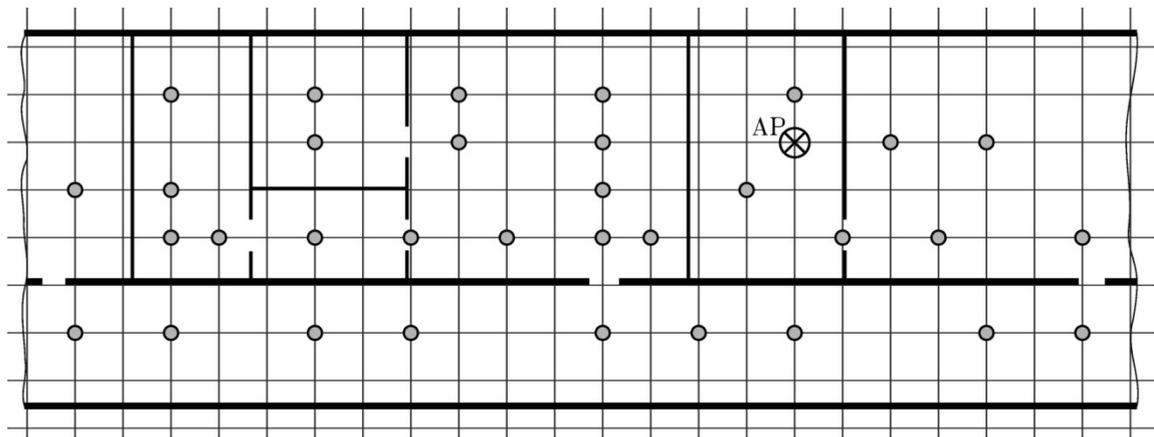


Рис. 1. Схема расположения мест замеров

Модели ITU-R 1238 [4] и Motley-Keenan [5] с небольшим запасом описывают наивысший уровень потери сигнала в условиях препятствия в виде одной тонкой стены.

Второе сравнение проводилось в условиях препятствия в виде двух стен – толстой и тонкой. В новых условиях результаты расчета моделей незначительно изменились относительно первого сравнения. На рисунке 3 можно заметить более интенсивный рост графика модели Motley-Keenan [5], в то время как остальные модели ведут себя по-прежнему. Для данных условий справедливы выводы, сделанные в предыдущем сравнении.

В последнем сравнении участвует только модель One slope, так как она не зависит

от препятствий. Основная цель этого сравнения – доказать, что данная модель показывает характер распространения сигнала на относительно большом расстоянии и разном количестве препятствий [12-15]. Сравнение модели One slope [2, (1)] с экспериментальными данными показано на рисунке 4.

Как можно наблюдать на рисунке, график модели практически совпадает с кривой, аппроксимирующей экспериментальные значения. Уравнение кривой приведено на рисунке. Такое совпадение подтверждает гипотезу о том, что модель One slope достаточно точно характеризует распространение сигнала Wi-Fi.

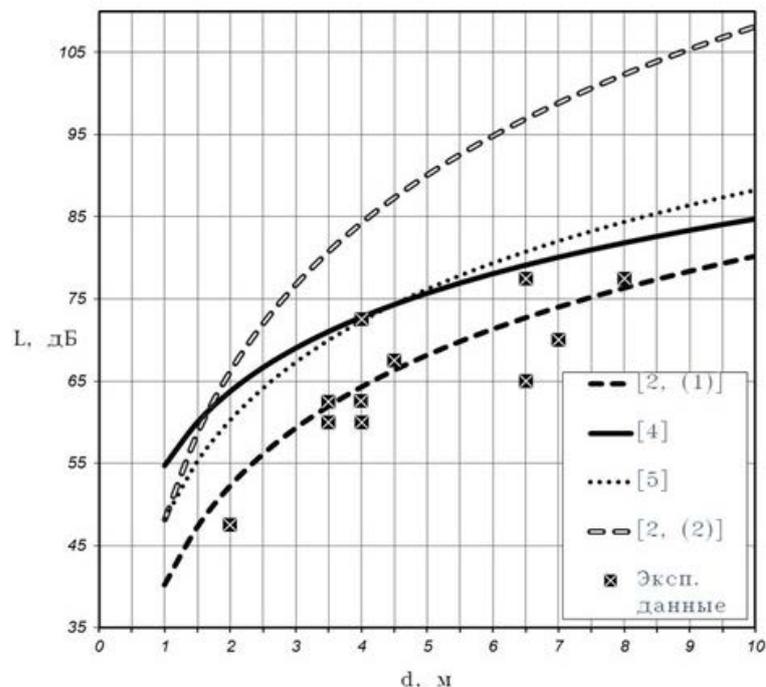


Рис. 2. Графики моделей в условиях первого сравнения

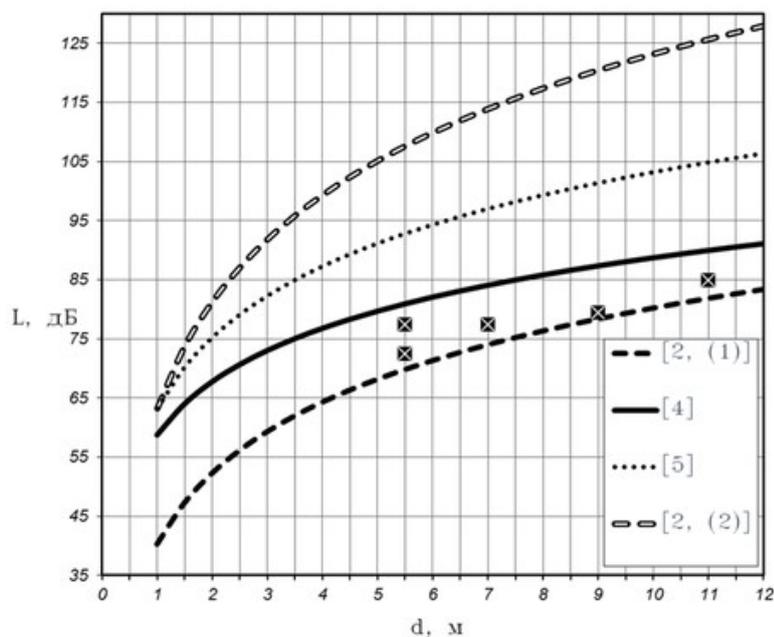


Рис. 3. Графики моделей в условиях второго сравнения

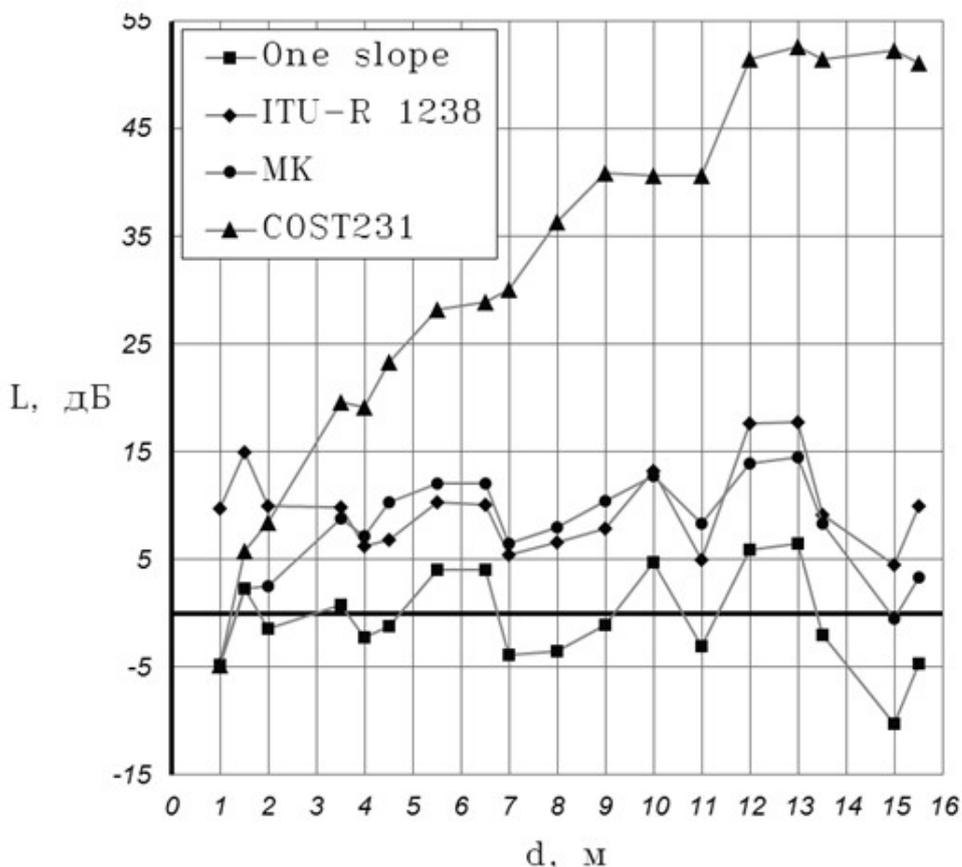


Рис. 4. Сравнения графика модели One slope с экспериментальными данными

Проведенное сравнение показало, что выбранные модели ведут себя ожидаемо и предсказуемо в заданных условиях – модели ITU-R 1238 и Motley-Keenan отлично подходят для планирования при развертывании беспроводных сетей, а COST231 Multi-wall показывает слишком «пессимистичный про-

гноз» и нуждается в корректировке. Про модель One slope было сказано выше.

Для более детальной оценки моделей рассмотрим график отклонения расчетных значений моделей от экспериментальных, приведенный на рисунке 5.

По графику видно, что все модели, кроме COST231 Multi-wall [2, (2)] имеют одинаковый характер отклонений, причем у модели ITU-R 1238 [4] на данном участке все отклонения положительные, так как расчетные значения больше экспериментальных.

$$L = L_{FS} + 10n \log(d) + \sum k_{Wi} L_{Wi} A_{Wi}(k_{Wi}) + L_{Fn} \left(\frac{(n+2)}{(n+1) - b} \right), \quad (11)$$

3. Вывод. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности подбора модели и ее коэффициентов для конкретных условий таким образом, чтобы можно было получить максимально близкий к экспериментальным данным результат.

Видно, что модель COST231 Multi-wall можно откорректировать введением коэффициента A_{Wi} , который снижал бы значение потери мощности сигнала для каждого типа стен с увеличением их количества:

При планировании локальной беспроводной сети в различных условиях наилучшим будет выбор из моделей ITU-R 1238 и Motley-Keenan.

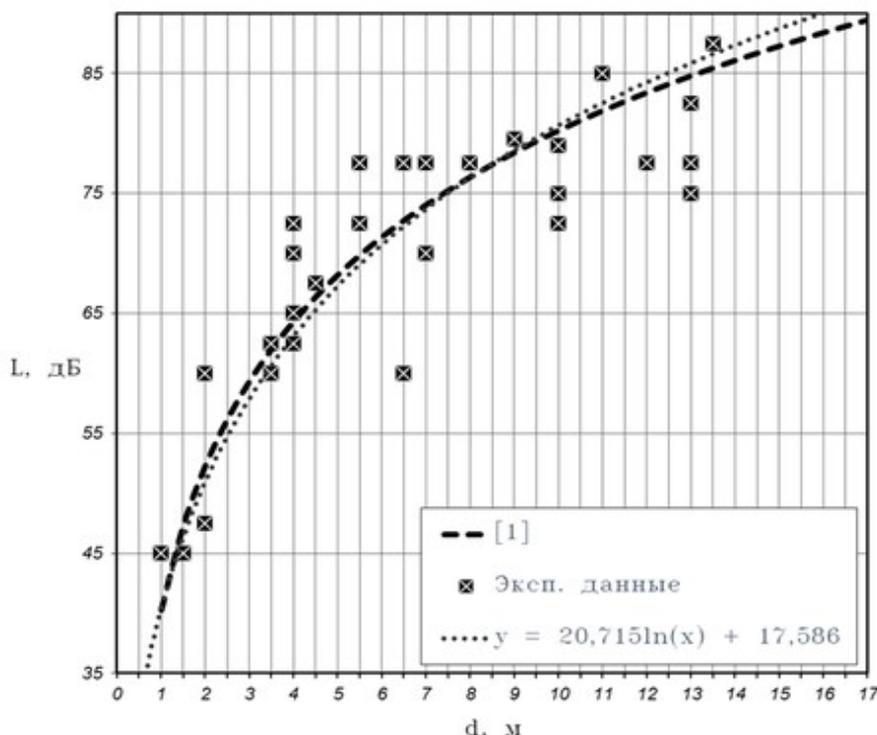


Рис. 5. Графики отклонения расчетных значений моделей от экспериментальных данных

ЛИТЕРАТУРА

1. Saunders S. R. Antennas and propagation for wireless communication systems. – England: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
2. Lahteenmaki J. Indoor Propagation Models // COST Action 231: Digital mobile radio towards future generation systems: Final report. – 1999. – P. 175-179.
3. Rappaport T. Wireless Communications: Principles and Practice. – USA: Prentice Hall, 2002.
4. ITU-R P.1238-7 Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and the radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz. Geneva: ITU-R Recommendations, 2001.

5. Motley A., Keenan J. Indoor Propagation Models // COST Action 231: Digital mobile radio towards future generation systems: Final report. – 1999. – P. 175-179.
6. Ермолова В. В. Архитектура системы обмена сообщений в немаршрутизируемой сети / В. В. Ермолова, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 7. – С. 79-81.
7. Львович И. Я. Факторы угрозы экономической безопасности государства / И. Я. Львович, А. А. Воронов, Ю. П. Преображенский // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 1. – С. 36-39.
8. Воронов А. А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности /

А. А. Воронов, И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 8-11.

9. Львович И. Я. Основы информатики / И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. В. Ермолова. – Воронеж, 2014, Издательство: Воронежский институт высоких технологий (Воронеж), 339 с.

10. Паневин Р. Ю. Структурные и функциональные требования к программному комплексу представления знаний / Р. Ю. Паневин, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2008. – № 3. – С. 061-064.

11. Душкин А. В. Декомпозиционная модель угроз безопасности информационно-телекоммуникационным системам / А. В. Душкин, О. Н. Чопоров // Информация и безопасность. – 2007. – Т. 10. – № 1. – С. 141-146.

12. Пахомова А. С. Целенаправленные угрозы компьютерного шпионажа: признаки, принципы и технологии реализации / А. С. Пахомова, О. Н. Чопоров, К. А. Разин-

кин // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 211-214.

13. Львович Я. Е. Проблемы построения корпоративных информационных систем на основе web-сервисов / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, Н. В. Волкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 6. – С. 8-10.

14. Калашников А. О. Атаки на информационно-технологическую инфраструктуру критически важных объектов: оценка и регулирование рисков: монография / А. О. Калашников, Е. В. Ермилов, О. Н. Чопоров, К. А. Разинкин, Н. И. Баранников; под ред. чл.-корр. РАН Д. А. Новикова. – Воронеж, 2013, Издательство: ООО «Издательство «Научная книга» (Воронеж). – 159 с.

15. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.

THE MODELS OF RADIO SIGNAL PROPAGATION OF WI-FI

© 2017 I. A. Bautin, A. G. Yurochkin

*Voronezh Institute of High Technologies
Russian Academy of national economy and public administration
the President of the Russian Federation*

The popular models of the distribution and attenuation of Wi-Fi signal are considered. Experimental comparison of some models in different conditions is carried out. The conclusions about their applicability are given.

Keywords: model, wireless communication, radio wave propagation.