



5. Савченко М.П. Стационарный режим и флуктуации в автогенераторе на транзисторно-емкостном двухполоснике с отрицательным сопротивлением. Известия высших учебных заведений России // Радиоэлектроника. 2009. Вып. 5. С. 21–31.

6. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах / под ред. А.К. Нарышкина. М., 1977.

Об авторах

Михаил Петрович Савченко — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, e-mail: savchenkomp@mail.ru

Ольга Владимировна Старовойтова — ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта.

44

Authors

Mikhail Savchenko — PhD, associate professor, I. Kant Baltic Federal University, e-mail: savchenkomp@mail.ru

Olga Starovoitova — assistant professor, I. Kant Baltic Federal University.

УДК 536.587

В. А. Утц

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОСИГНАЛА СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Приведен расчет уровня потерь радиосигнала сотовой связи в условиях города с плотной многоэтажной застройкой на основе статистических моделей. Показано, что прогнозные оценки потери мощности сигнала на входе абонентских станций позволяют выработать научные направления совершенствования параметров сотовой связи.

Calculation of level of losses of a radio signal of cellular communication in the conditions of a city with dense many-storeyed building on the basis of statistical models is resulted. On the basis of statistical look-ahead estimations of loss of capacity of a signal on an input of user's stations scientific directions of perfection of parameters of cellular communication can be developed.

Ключевые слова: базовая станция, расчет потерь, статистические модели, распространение радиосигнала, дифракция радиоволн.

Key words: base station, calculation of losses, statistical models, radio signal distribution, diffraction of radio-waves.

При проектировании сотовых сетей подвижной радиосвязи наиболее сложной проблемой является расчет напряженности поля или зависимости потерь мощности сигнала от расстояния.



На этом этапе используется методика прогноза зон покрытия на основе статистической модели напряженности поля сигнала в точке приема.

В настоящее время существует ряд математических моделей, позволяющих рассчитать усредненное значение принимаемой в городских условиях мощности в зависимости от различных параметров, характеризующих конкретные условия мобильной связи.

Далее произведем расчет потерь сигнала от базовой станции (БС) до абонентской станции (АС) на основе статистических моделей: Кся — Бертони, Окамура — Хаты, Уолфиша — Икегами и Ли.

Статистические модели базируются на результатах экспериментальных исследований напряженности электромагнитного поля, поэтому они часто называются экспериментальными моделями. Исторически первой была модель Окамура — Хаты, полученная в итоге многолетних измерений поля в Токио. Модель основана на аналитической аппроксимации результатов практических измерений. В рамках этой модели потери L для случая квазиплоского города рассчитывается следующим образом:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_B + k(44,9 - 6,55 \lg h_B) \lg R - a(h_M),$$

где h_B — эффективная высота установки антенны БС в диапазоне (30 ÷ 200) м; R — расстояние от БС (базовая станция) до АС (абонентская станция) в диапазоне (1 ÷ 10) км; f — частота излучения БС, МГц; k — поправочный коэффициент, учитывающий протяженность трассы; $a(h_M)$ — поправочный коэффициент, зависящий от высоты мобильной антенны h_M и для большого города при $f > 400$ МГц, определяемый как

$$a(h_M) = 3,2(\lg 11,75 h_M)^2 - 4,97.$$

Исходными для расчета являются следующие параметры.

Системы связи стандарта GSM 900. Частоты передачи и приема в зависимости от канала связи находятся в диапазоне 862–960 МГц, поэтому примем $f = 900$ МГц. Антенны базовых станций в черте города размещены на 18-этажных зданиях высотой около 50 м. Для обеспечения устойчивой связи в прилегающих районах антенна приподнята на 10 м над уровнем крыши. Следовательно, можно считать $h_B = 60$ м. Абонентские подвижные станции преимущественно размещаются на улицах ($h_{MS} = 1,5$ м). Расстояние от БС до АС, R , изменяется от 0,1 ÷ 1,5 км с шагом 0,05 км; $k = 1$ при $R < 20$ км.

Тогда потери L для модели Окамура — Хаты рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} L &= 69,55 + 26,16 \lg 900 - 13,82 \lg h_B + \\ &+ 1 \cdot (44,9 - 6,55 \lg 60) \lg(0,1..1,5) - 3,2(\lg 11,75 \cdot 1,5)^2 - 4,97; \\ L &= 78,6 \div 117,7 \text{ Дб при } R = 0,1 \div 1,5 \text{ км.} \end{aligned}$$

Для сравнения рассчитаем потери по статистической модели Кся — Бертони.



Модель Кся – Бертони позволяет учесть ряд дополнительных параметров и тем самым обеспечить большую точность расчета. Она построена на основе уравнений волновой оптики и рассматривает различные механизмы распространения радиоволн в условиях городской застройки: распространение в свободном пространстве, дифракцию на краях крыш зданий, отражение от стен зданий. Когда антенна БС расположена выше среднего уровня крыш зданий (рис. 1), с БС на АС приходят два луча: один – в результате дифракции на кромке крыши здания, другой – после переотражения от стены. Величина средних потерь в этом случае:

$$L = -10 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{4\pi \cdot R} \right]^2 - 10 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 \cdot r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \cdot \lg \left[2,35^2 \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{1,8} \right] \text{ Дб},$$

где λ – длина волны, м ($\lambda = c/f$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света), R – расстояние между БС и АС, $R = 0,1 \div 1,5$ км с шагом 0,05 км, так как стоит задача максимально сблизить БС; $\Delta h_b = h_{BC} - h_o = 10$ м – разность высот антенны БС и среднего уровня крыш соответственно, м; $\theta = \tan^{-1}(\Delta h_M/x)$, где $\Delta h_M = h_o - h_{AC} = 48,5$ м – разность высот среднего уровня крыш и антенны АС соответственно в м; x – расстояние в м по горизонтали между АС и кромкой крыши, на которой дифрагирует волна. Обычно $x = \omega/2$, где ω – средняя ширина улиц, $\omega = 15$ м; d – средний интервал между кварталами, $d = 40$ м;

$$r = \sqrt{\Delta h_m^2 + x^2}.$$

Модель Кся – Бертони позволяет оценить средний уровень потерь и в тех случаях, когда антенна БС расположена на уровне крыш или ниже уровня крыш.

Данная модель предлагает простой и удобный способ получения предварительных оценок уровня средних потерь в канале связи.

Итак, в городе с 18-этажной застройкой (высота этажа около 3 м), улицами шириной 15 м и интервалом между кварталами 40 м, $h_o = 50$ м, $h_{AC} = 1,5$ м, $\Delta h_M = 48,5$ м, $R = 0,1 \div 1,5$ км, $f = 900$ МГц.

Затухание сигнала вычисляется по следующей формуле:

$$L = -10 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{4\pi \cdot R} \right]^2 - 10 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 \cdot r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \cdot \lg \left[2,35^2 \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{1,8} \right] \text{ Дб};$$

$$L = -10 \cdot \lg \left[\frac{0,33}{4\pi \cdot (0,1 \div 1,5)} \right]^2 - 10 \cdot \lg \left[\frac{0,33}{2\pi^2 \cdot 49,2} \left(\frac{1}{80,6} - \frac{1}{2\pi + 80,6} \right)^2 \right] -$$

$$- 10 \cdot \lg \left[2,35^2 \left(\frac{10}{(0,1 \div 1,5)} \sqrt{\frac{40}{0,33}} \right)^{1,8} \right] = 61,1 \div 96,4 \text{ Дб}$$

при $R = 0,1 \div 1,5$ км.

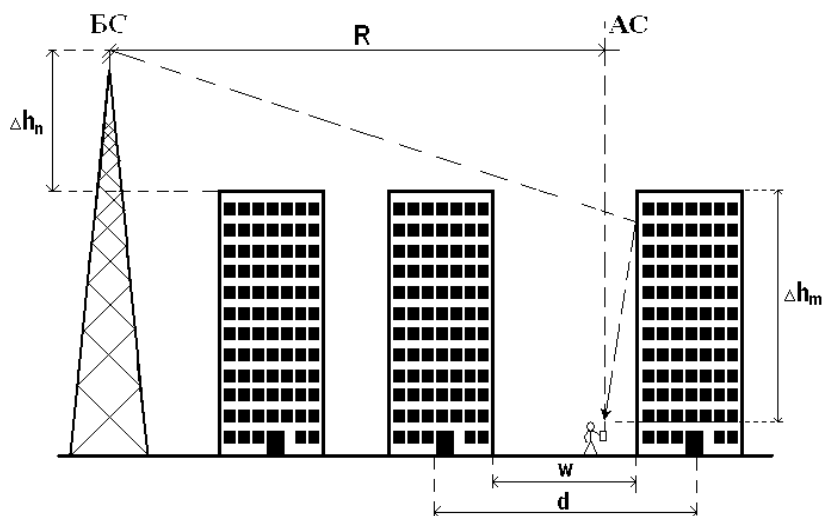


Рис. 1. Антенна, расположенная выше уровня крыш

Недостатком модели являются ограничения по дальности (несколько сотен метров) и по условиям применения.

Модель Уолфиша – Икегами использует ряд положений двух предыдущих моделей и определяет медианные потери по соотношению

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3,$$

где $L_1 = 32,4 + 20 \lg(Rf)$ – потери при распространении в свободном пространстве; $L_2 = -16,9 - 10 \lg(\omega) + 10 \lg(f(h_{d1} - h_m)) + L_p$ – потери за счет отражений от зданий; $\omega = 10 \div 15$ м – ширина улицы; L_p – потери, обусловленные ориентацией улиц относительно направления прихода сигнала,

$$L_p = \begin{cases} 10 + 0,354\varphi, & \text{если } 0 \leq \varphi \leq 35^\circ, \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35^\circ), & \text{если } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ, \\ 4 + 0,014(\varphi - 55^\circ), & \text{если } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ, \end{cases}$$

где φ – ориентация улицы относительно направления прихода волны; $L_3 = L_C + K_a + K_d \lg R + K_f \lg f - 9 \lg d$ – потери при дифракции, вызванные наличием множества зданий на трассе;

$$L_C = \begin{cases} 18 \lg(1 + (h_1 - h_{d1})), & \text{если } h_1 > h_{d1}, \\ 0, & \text{если } h_1 \leq h_{d1}, \end{cases}$$

где h_{d1} – высота близлежащих к БС зданий; d – расстояние между зданиями. Потери по модели Уолфиша – Икегами следующие: $L_0 = 128,01 \div 172,8$ Дб при $R = 0,1 \div 1,5$ км.

Недостатком модели является то, что в ней фигурирует только средняя высота зданий, и в зависимости от реальных высот потери будут отличаться от прогнозируемых.

Для подобных расчетов большой практический интерес представляет также статистическая модель Ли, состоящая из двух частей. Первая часть используется для предсказания потерь при распространении ра-



диоволн над относительно плоской поверхностью, без принятия во внимание территориальных особенностей. Во второй части за основу берется результат, полученный в первой, и выполняется более точное предсказание. Если прямая видимость между приемником и передатчиком существует, то учитывается влияние отраженных радиоволн. Если условие прямой видимости не удовлетворяется, то моделируется дифракция радиоволн на препятствиях вдоль пути распространения сигнала. Основная часть потерь при распространении может быть выражена формулой

$$P_r = P_{r0} (r/r_0)^{-\gamma} (f/f_0)^{-n} \alpha_0,$$

где P_r — мощность сигнала в ваттах на расстоянии r от передатчика; f — частота сигнала; P_{r0} — мощность сигнала в точке пересечения линии распространения с препятствием на расстоянии r_0 от передатчика; параметр γ учитывает степень кривизны поверхности; n показывает степень частотной зависимости; α_0 — поправочный коэффициент, зависящий от высоты установки антенн, мощности передатчика, коэффициентов усиления передающей и приемной антенн.

Модель Ли может быть применена для более общего случая, когда радиоволны распространяются в различных условиях. В этом случае должны быть известны коэффициенты кривизны поверхностей γ и границы областей с такими коэффициентами кривизны. Модель позволяет также определить мощность принимаемого сигнала в Дб:

$$P = A - B \lg R - n \lg(f/900) + 10 \lg \alpha,$$

где параметры A и B зависят от характеристик окружающей среды и были определены статистически по измерениям в ряде городов. Для крупных городов $A = 55 \div 80$, $B = 30 \div 43$. Множитель n принимает следующие значения: $n = 2$ для пригородов и для диапазона $f < 450$ МГц, $n = 3$ для городов и для $f > 450$ МГц. Параметр α вычисляется следующим образом:

$$\alpha = \frac{h_B^2 h_M^m P_{npd} G_{npd} G_{nrm}}{3660},$$

где P_{npd} — мощность передатчика БС, Вт; $G_{npd} G_{nrm}$ — коэффициенты усиления антенн; h_B и h_M — высоты антенн базовой и мобильной станции; $m = 1$ при $h_M < 3$ м и $m = 2$ при $h_M > 10$ м.

На рисунке 2 представлены кривые зависимости потерь L от расстояния R для моделей Кся — Бертони, Окамура — Хаты, Уолфиша — Икегами, Ли. При этом пунктиром показана кривая среднестатистических значений, полученных от расчетов по представленным моделям.

По результатам исследований потерь радиосигнала сотовой связи на различных статистических моделях можно сделать вывод, что для макросот с радиусом в несколько километров и более приемлемые результаты расчета потерь дают статистические модели, тогда как для микро- и пикосот хорошие результаты получаются при использовании детерминистских моделей с обязательным привлечением цифровых карт местности. Необходимо отметить, что цифровые карты местности повышают точность расчета и для статистических моделей.

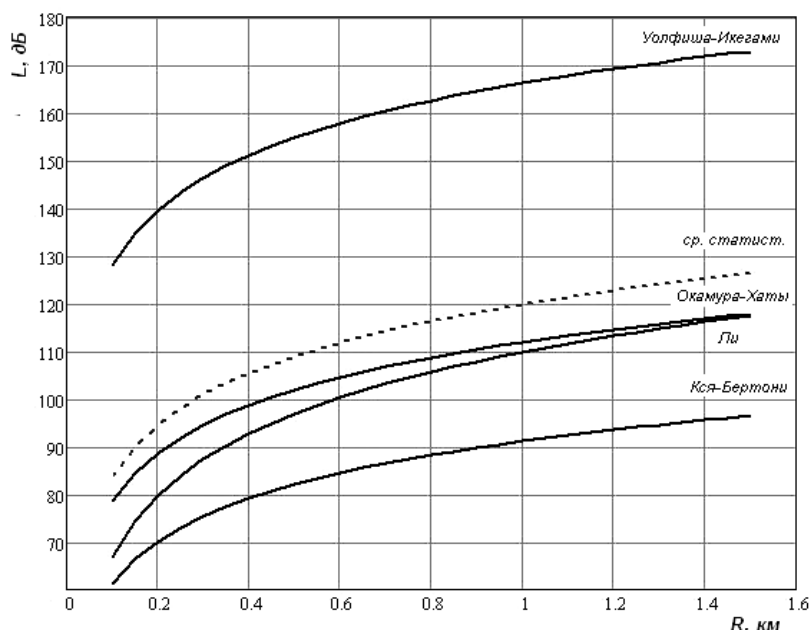


Рис. 2. Кривые зависимости потерь L от расстояния R для моделей Кся – Бертони, Окамура – Хаты, Уолфиша – Икегами, Ли

Список литературы

1. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. СПб., 2000.
2. Милютин Е.Р., Василенко Г.О., Сиверс М.А. и др. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. СПб., 2003.
3. Панченко В.Е, Ерохин Г.А., Гайнутдинов Т.А. и др. Сочетание статистических и детерминистских методов расчета радиополя в городских условиях // Электросвязь. 1998. №4.
4. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services IEEE // Trans. Veh. Technol. 1980. Vol. VT-29, № 3. P. 317–325.
5. Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // Review of the Electr. Commun. Lab. 1968. Vol. 16, №9–10.

Об авторе

Вячеслав Альбертович Утц – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, e-mail: vyacheslav.utts@hotmail.ru

Author

Vyacheslav Utts – PhD student, I. Kant Baltic Federal University, e-mail: vyacheslav.utts@hotmail.ru