

## ОЦЕНКА ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛОВ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ НА КОРОТКИХ ТРАССАХ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ



Г.Василенко  
vgleb@comm-serv.ru

Постоянный рост числа абонентов сетей подвижной связи (СПС) и ограниченность частотного ресурса заставляют операторов увеличивать число базовых станций (БС) на единицу площади, т. е. уплотнять сети. При этом площадь зоны обслуживания одной БС уменьшается и одновременно растет процент территорий прямой видимости (ПВ) между БС и абонентскими станциями (АС). Другим словами, соотношение площадей «освещенной» и «неосвещенной» территорий увеличивается. В результате значительно возрастает потребность в точном прогнозе ослабления сигнала при прямой видимости. Часто используемый для построения радиопокрытия СПС ОВЧ- и УВЧ-диапазонов стандарт (рекомендации) Международного Союза Электросвязи – ITU-R Recommendation P.1546 [1] – не позволяет получить достоверный прогноз потерь. Попробуем разобраться, в чем причина этого.

### МОДЕЛЬ РАСЧЕТА P.1546

На первый взгляд может показаться, что задача определения ослабления сигнала при прямой видимости куда более простая, нежели прогноз ослабления в отсутствие прямой видимости. Но дело здесь вовсе не в сложности или простоте моделирования среды распространения, а в способности модели расчета адекватно реагировать на изменения среды. Сравнение результатов расчета по наиболее часто используемой модели P.1546 с экспериментальными данными в диапазонах 460, 950 и 1850 МГц [2], а также с аналогичными измерениями, проведенными автором в диапазоне 2110 МГц, показало, что при ПВ или в ситуации близкой к ней модель P.1546 завышает ослабление радиосигнала. При этом с увеличением частоты недостоверность прогноза возрастает: в диапазоне 460 МГц потери завышаются на 7–10 дБ, на частотах 2110 МГц – уже на 13–16 дБ.

Для расчета ослабления сигнала на трассе БС–АС статистические данные о напряженности поля в [1] приведе-

ны в виде семейства табулированных графических зависимостей напряженности от расстояния. Кроме того, приведен ряд поправок, отражающих особенности распространения радиоволн в тех или иных условиях. Для трасс, проходящих в городской местности, длиной не более 3–5 км (что характерно для современных СПС) эти зависимости, пересчитанные в значения ослабления (в децибелах), хорошо аппроксимируются известным аналитическим выражением модели Окамура-Хата [3] для местности типа "средний и малый город":

$$L = 63,35 - 13,82 \lg(h_b) + 27,72 \lg(f) - (1,1 \lg(f) - 0,7)h_2 + (44,9 - 6,55 \lg(h_b)) \lg(d), \quad (1)$$

где  $d$  – длина трассы, км,  $f$  – частота сигнала, МГц,  $h_b$  – эффективная высота антенны БС. Для трасс с незначительно меняющимся рельефом местности (плоских трасс) эффективная высота антенны БС определяется по формуле

$$h_b = h_a - R, \quad (2)$$

где  $h_a$  – высота антенны БС над грунтом в месте установки станции, м;  $R$  – высота подстилающей поверхности, определяемая усредненной высотой зданий и сооружений. Для рассматриваемого типа местности  $R = 15$ – $20$  м. Графики модели построены в предположении, что высота антенны АС над уровнем грунта в месте ее расположения  $h_2$  составляет 10 м. Чтобы пересчитать ослабление в условиях города для других значений высоты  $h_2$ , необходимо применить поправку:

$$C_1 = -K_{h_2} \lg(10 / \min[R', 10]) + \begin{cases} 6,03 - J(v) & \text{для } h_2 < R' \\ K_{h_2} \lg(h_2 / R') & \text{для } h_2 \geq R' \end{cases}, \quad (3)$$

где

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \lg(f),$$

$$v = 0,08165 \sqrt{f \cdot h_{\text{dif}} \cdot \Theta_{\text{clut}}}, \quad h_{\text{dif}} = R' - h_2. \quad (4)$$

Входящие в (4) параметры  $\Theta_{\text{clut}} = \arctan(h_{\text{dif}}/a)$ ,  $h_{\text{dif}}$  и  $a = 27$  м соответствуют углу падающей на затеняющее препятствие волны, высоте этого препятствия и расстоянию до него, соответственно. Функция  $J(v)$  в выражении (3) описывает дополнительное ослабление сигнала при его дифракции



на соседнем с АС здании в направлении БС. Численное выражение для  $J(v)$  приведено в стандарте ITU-R Recommendation P-256 [4]. Значение входящей в выражения (3) и (4) модифицированной высоты подстилающей поверхности  $R'$  рекомендуется рассчитывать следующим образом [1]:

$$R' = \max[1, (1000dR - 15h_a) / (1000d - 15)]. \quad (5)$$

Замена  $R$  при вычислениях на  $R'$  позволяет более точно оценить угол падающей радиоволны. Вместе с тем, для сельской и открытой местности рекомендуется использовать константу  $R'=10$  м, а расчет поправки проводить согласно упрощенному выражению [1]

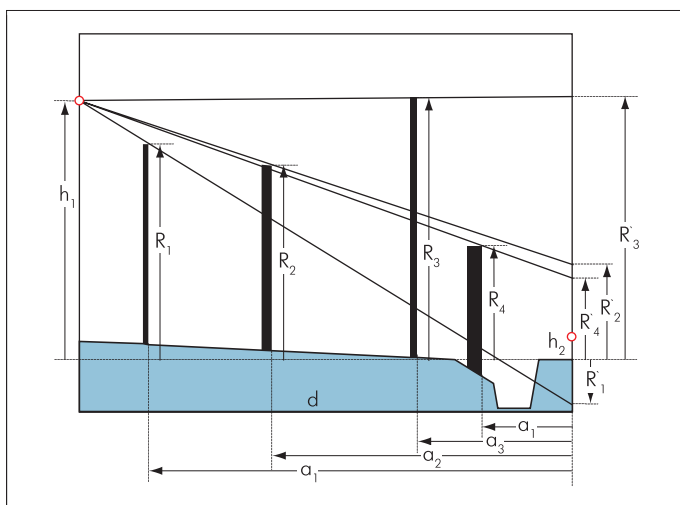
$$C_1 = K_{h2} \lg(h_2/R' = 10). \quad (6)$$

Необходимо отметить, что в выражении (3) первое слагаемое является ограничителем, не допускающим превышения значения поправки для городской местности и значения поправки уравнения (6) для сельской местности.

Для того, чтобы при расчетах ослабления на коротких плоских трассах, согласно выражению (1), можно было использовать не значение эффективной высоты  $h_b$ , а значение  $h_a$ , в [1] предусмотрена следующая поправка:

$$C_2 = -3,3 \lg(f)(1 - 0,85 \lg(d))(1 - 0,46 \lg(1 + h_a - R)). \quad (7)$$

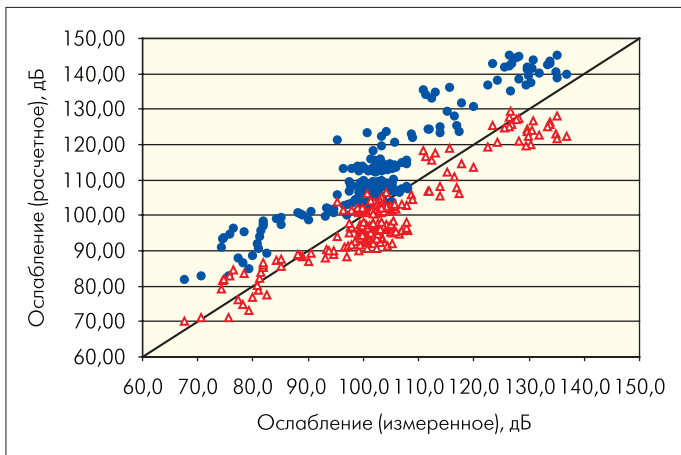
Можно сказать, что выражения (1–7) составляют суть модели P.1546 для коротких плоских трасс. Таким образом,



**Рис. 1. К расчету параметров модели P.1546**

понятно, почему возможна значительная переоценка ослабления сигнала при прямом использовании этой модели для условий ПВ.

Во-первых, уже изначально статистические кривые модели P.1546 построены в предположении, что сигнал распространяется в усредненной "городской" местности. Но внутри города могут быть обширные открытые участки, которые, согласно классификации [3], скорее стоит отнести к "пригород-



**Рис.2. Экспериментальные и расчетные значения ослабления радиосигнала**

ной" или даже "сельской" местности, что подтверждают результаты измерений на трассах с ПВ, приведенные в [2].

Во-вторых, на трассах, формально расположенных в городской черте, вообще могут отсутствовать объекты застройки либо их влияние может оказаться незначительным. Но использование в выражении (5) формальных значений  $R$  и модифицированной высоты  $R'$ , а также ограничивающего множителя в (3) не позволяет с приемлемой точностью оценить обстановку на таких трассах.

Следует особо подчеркнуть, что сравнение результатов расчета и эксперимента в диапазоне частот 950 и 1800 МГц для участков открытой местности вне городской и пригородной зон показало, что применение поправки (6) приводит к переоценке потерь примерно на 10–15 дБ при  $h_2 = 1,5$  м.

При расчете радиопокрытия с помощью модели P.1546 без детальной информации о характере местности, т.е. без цифровых карт местности (ЦКМ), полученное возможное ослабление радиосигнала можно рассматривать как наихудшее значение. Такой подход допустим при первоначальном планировании сети или на этапе технико-экономического обоснования ее построения, когда нужно оценить примерное число БС и их местоположение. Однако когда расчет проводится на этапе построения окончательного территориального плана, что, конечно же, на современном уровне невозможно без ЦКМ, точность прогноза модели P.1546 можно улучшить, изменив порядок и способ расчета входящих в нее параметров.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ P.1546

На рис.1 показан способ определения параметров модели P.1546, в том числе и для расчета модифицированной высоты подстилающей поверхности на трассе. Положение объектов застройки определяется с помощью ЦКМ. Аналитическое выражение для вычисления набора значений записывается следующим образом:

$$R'_i = \max[1, \min[R_i, (dR_i - a_i h_i)/(d - a_i)]] \quad (8)$$

где  $i$  – число объектов застройки на трассе. Размерность всех величин в уравнении (8) – метры. Для расчета поправки (3) следует использовать максимальное значение  $R'_i$ , т. е.  $R' = \max R'_i$ , а также соответствующее ему значение  $a_i$ .

Понятно, что в условиях прямой видимости, когда все объекты застройки находятся ниже линии визирования антенн БС–АС, значение модифицированной высоты, рассчитанное по уравнению (8), будет равно 1 м.

В ходе обработки экспериментальных данных на закрытых трассах с плотной застройкой (более 50 % трассы занято домами, для которых характерно весьма малое, не более 5 м, отличие от средней высоты на трассе) удалось обнаружить слабую корреляцию между ослаблением и значениями, полученными из уравнения (7). Применение поправки (7) в условиях разновысотной застройки, по мнению автора, требует дополнительного изучения способа определения  $R$ . В условиях прямой видимости применять указанную поправку не рекомендуется.

Об ошибке прогноза модели P.1546 в целом, безотносительно частотного диапазона, в условиях прямой видимости можно судить по экспериментальным и расчетным значениям ослабления (рис.2). Значения ослабления, полученные при прогнозе по не видоизмененной модели, нанесены в виде точек, треугольниками отмечены результаты, полученные с использованием предложенных изменений. Более близкое их расположение к диагонали говорит о более точном прогнозе ослабления радиосигнала.

Рассмотренная в работе [1] модель P.1546 часто используется проектировщиками сетей подвижной связи при расчете радиопокрытия. Модель также является неотъемлемой частью ряда методик расчета электромагнитной совместимости радиосредств, имеющих статус нормативных документов РФ. Проведенный анализ модели P.1546 позволяет выявить возможную погрешность расчета уровня сигнала в условиях прямой видимости между базовыми и абонентскими станциями сетей подвижной связи. Внесенные предложения обеспечивают более точный прогноз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. International Telecommunications Union. – ITU-R Recommendation P.1546.
2. Милютин Е.Р., Василенко Г. О. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности. – Электросвязь, 2004, № 2.
3. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile services. – IEEE Trans. Vehicular Technology, 1980, v.29, № 3.
4. International Telecommunications Union. – ITU-R Recommendation P.526.