

*А.В. КАПЛУН*, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),  
*Е.Л. ПИРОТТИ*, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО РАДИОКАНАЛА СВЯЗИ

У статті моделюються процеси розповсюдження радіохвиль зв'язку та сигнально-завадової обстановки у точці прийому. Дана модель містить якісні та кількісні характеристики потоків вхідних впливів, які є вихідними для оцінки координатно-інформативних параметрів сигналів.

In a paper the processes of a radio propagation and radio noises in a dot of reception are modelled. The given model contains the quality and quantitative performances of input action streams, which are sources for an estimation of coordinate-informative arguments of signals.

**Постановка проблеми.** Развитие мобильных систем связи, особенно в городской местности, поставило целый ряд вопросов, связанных как с качеством этой связи, так и с ее надежностью. Это вызвано, в первую очередь, наличием существенных помех, которые определяются не только различными излучающими структурами постороннего характера, но и разноэтажной застройкой, обладающей как разнообразными коэффициентами отражения, так и зачастую полным экранированием сигнала связи. Дополнительные проблемы создает и тот факт, что мобильные системы связи, являясь подвижным источником радиоизлучений, могут находиться в условиях непрерывного изменения условий этого излучения. Указанные проблемы многократно обостряются в крупных городах с высокой плотностью застройки и расположением на пересеченной местности.

Теоретические и экспериментальные исследования характеристик излучающих установок в этих условиях носят, в основном, статистический характер [1 – 4]. Это обусловлено как сложной картиной многолучевости и разнообразием условий распространения радиоволн данного диапазона, так и сложностью описания сигнально-помеховой обстановки в точке приема. С другой стороны, возможности теоретических и экспериментальных исследований в городе ограничены сложностью аналитических расчетов и большими объемами и трудоемкостью экспериментов [5 – 8].

**Цель статьи.** Целью данной работы является разработка модели городского радиоканала (ГРК). В связи с этим приобретает особое значение разработка алгоритмов моделирования процесса распространения радиоволн и сигнально-помеховой обстановки в точке приема. Эти алгоритмы должны содержать качественные и количественные характеристики потоков входных воздействий, которые являются исходными для оценки координатно-информативных параметров сигналов.

**Модель передаточной функции слоя городской застройки.** В качестве модели городской застройки (ГЗ) примем множество крупных непрозрачных объектов, случайно расположенных на плоскости – поверхности Земли. Рельеф городской застройки в принятой модели локально-анизотропной среды [9] будем описывать резко пересеченной поверхностью с крутыми неровностями [8], которую можно представить выражением

$$h = H(x, y), \quad (1)$$

однозначно определяющим высоту рельефа  $h$  относительно земной поверхности. Рассматривая поверхность (1) как граничную поверхность раздела полупространств, можно построить характеристическую функцию

$$k(r) = M P(h), \quad (2)$$

где  $M$  – вероятность того, что проекция точки на плоскости земли попадет внутрь какого-либо здания;  $P(h)$  – вероятность того, что значение  $h$  превысит высоту  $n$ -го здания  $h^*$ ,  $r$  – расстояние между точками в слое городской застройки.

Основными статистическими характеристиками слоя городской застройки, необходимыми для анализа работы излучателей в городе, являются средняя дальность прямой видимости между двумя точками (в том числе и при расположении точек на разных высотах) и вероятность прямой видимости источника радиоизлучения элементами слоя ГЗ. Вероятность прямой видимости источника радиоизлучения в направлении  $Q$  будет определяться вероятностью прямой видимости между двумя точками в зависимости от параметров слоя городской застройки. Она будет связана с плотностью потока  $g$  положительных выбросов в направлении приемника.

Статистическое описание затенений в рамках предлагаемой модели открывает возможность сравнительно простого расчета пространственного распределения точек однократного рассеяния радиоволн. Такими являются точки, которые освещаются источником радиоизлучений и одновременно видны из точки наблюдения. При этом предполагается, что распространение радиоволн подчиняется законам геометрической оптики.

При расположении источника на высоте ниже среднего уровня крыш однократно рассеянные волны определяют структуру поля только на небольшом расстоянии. Как правило, это расстояние не превышает среднюю дальность прямой видимости (в дальнейшем ее будем называть  $r$ -окрестностью источника радиоизлучения). За пределами  $r$ -окрестности однократно рассеянные волны наблюдаются редко и порождают в пространственном распределении поля интенсивные всплески на общем случайном шумовом фоне, формируемом многократно отраженными волнами. Над слоем ГЗ роль однократно рассеянных волн в формировании

поля значительно возрастает. Из точки наблюдения, по мере ее подъема, открывается прямая видимость на здания в ближайшем окружении источника радиоизлучений. Именно эти участки зданий и вносят основной вклад в формирование многолучевых компонент электромагнитного поля.

Основываясь на данном подходе и аппроксимируя отражающие поверхности множеством "блестящих" точек, можно получить количественные характеристики пространственного распределения точек однократного и многократного рассеивания и, следовательно, определить направление и число прихода переотраженных компонент ЭМП.

Совместная плотность распределения углов  $\varphi$  и времени прихода  $t$  отраженных волн в точку приема может быть найдена интегрированием по толщине слоя ГЗ, то есть слоя фиксированных переизлучателей с постоянными параметрами. Она будет иметь вид

$$m(t, \varphi) = \frac{nd}{4} N a r_0 e^{-gr_0} + \frac{hd}{2r} t e^{-gr} e^{\frac{h_{\hat{e}\delta}}{h_2}}, \quad (3)$$

где  $r_0 = \sqrt{d^2 + r^2 - 2rd \cos \varphi}$ ;  $N$  – число волн приходящих в точку приема;

$a = \frac{h_2 - h_{\hat{e}\delta}}{h_{\hat{e}\delta}}$ ;  $d$  – расстояние до точки отражения, определяемое как

$d = \frac{r(t^2 - 1)}{t - \cos g}$ ;  $n$  – площадь исследуемого района.

Плотность распределения углов и времени прихода зеркально отраженных волн примет вид

$$m(t, \varphi) = \frac{ngd^2(t^2 - 1)}{4(t - \cos Q)P(h)} e^{-gzt d}, \quad (4)$$

где  $P(h)$  – вероятность пересечения зданием средней высоты слоя ГЗ.

В модельном описании ГЗ (при аппроксимации отражающих объектов "блестящими" точками) множество точек рассеивания можно рассматривать как пуассоновское множество с переменной плотностью. Тогда можно рассчитать число отраженных волн, приходящих в точку приема (их зависимость от  $h$  и расстояния), а также вероятность появления отраженных волн, число которых вычисляется как

$$N = nd^2 v e^{-gdvp^3 \left(\frac{gd}{2}\right)^{\frac{3}{2}}} + \left(\frac{p^3 n}{g^2}\right) \frac{v}{z} (gd)^{\frac{3}{2}}, \quad (5)$$

где  $v = 1 - z$ .

Первое слагаемое определяет число лучей, сформированных в окрестности источника радиоизлучений, а второе – число лучей за счет переотражений в слое ГЗ. Вероятность того, что в точку приема придет хотя бы один луч, отраженный точкой однократного рассеяния, будет равна

$$P_1 = 1 - e^{-N}. \quad (6)$$

Но в точку приема будут приходить не только многолучевые компоненты от точек однократного рассеяния, но и от точек, отраженных поверхностями под малыми углами укрытия (точек многократного отражения). В этом случае  $P_1$  будет нижней границей при оценке прихода рассеянных волн. Число лучей, определяемых точками двукратного отражения, вычисляется как  $N_2 = 9p^2n^4 + \sqrt{2pgd}$ , а точек трехкратного отражения –  $N_3 = 8p^3n^3d^6 + \sqrt{2/(pgq)}$ . Подставляя эти выражения в (6), можно получить формулу для вероятности прихода многократно отраженных волн в точку приема.

**Выводы.** Процесс распространения радиоволн на местности со сложным рельефом, и в частности в условиях городской застройки, существенно отличается от этого процесса на открытых приземных трассах. Представление городской застройки в виде слоя локально-неоднородной среды позволяет получить математическую модель городского радиоканала систем мобильной связи. Использование разработанной модели, позволило получить аналоги реализаций случайных процессов, учитывающих воздействие параметров городской среды на характеристики сигналов источников радиоизлучений в точке приема.

**Список литературы:** 1. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / Под ред. Р. Джейкса. – М.: Связь, 1979. – 520 с. 2. Шорин О.А. Метод частотно-территориального планирования систем подвижной радиосвязи // Электросвязь. – 1993. – № 10. – С. 12 – 15. 3. Усачев В.М. Оценка возможной интенсивности потока вызовов при заданном количестве радиоканалов и качестве обслуживания в системе подвижной радиосвязи // Электросвязь. – 1993. – № 8. – С. 12 – 16. 4. Распространение ультракоротких волн в городах / Под ред. Э.М. Квартиркина. – М.: Связь, 1991. – 184 с. 5. Куликов А.Н., Пономарев Г.А., Скворонский А.Ю. Статистический анализ многолучевого поля в условиях города // Радиотехника и электроника. – 1982. – № 12. – С. 2385 – 2392. 6. Пономарев Г.А. Распространение УКВ в городе. – Томск: ТГУ. – 1991. – 224 с. 7. Пространственно-временная обработка сигналов / Под ред. И. Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с. 8. Скворонский А.Ю. и др. Механизм распространения радиоволн и характеристики многолучевости в условиях города // Электродинамика и распространение радиоволн. – Томск: ТГУ. – 1980. – Вып. 1. – С. 100 – 105. 9. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 2. – М.: Мир, 1981. – 312 с. 10. Дымович П.Ф. Сети связи с подвижными объектами. – Л.: ЛПИ, 1990. – 186 с.

Поступила в редакцию 25.09.2004