

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА  
НИСХОДЯЩЕГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОЙ  
СТАНЦИИ ПО СЕТКЕ ГОРОДСКИХ УЛИЦ**

*Сукачѳв Э.А., Поспелова А.А.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
Украина, 65029, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1  
anna\_pospelova@mail.ru*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ  
НИЗХІДНОГО НАПРЯМУ ПРИ РУСІ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ  
ПО СІТЦІ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ**

*Сукачов Е.О., Поспелова А.О.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Ковальська, 1  
anna\_pospelova@mail.ru*

**THE STUDY OF DOWNWARD DIRECTION ENERGY  
POTENTIAL WHEN DRIVING THE MOBILE STATION TO THE GRID  
OF CITY STREETS**

*Sukachev E.A., Pospelova A.A.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine  
anna\_pospelova@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы определения отношения сигнал/помеха на входе приёмника мобильной станции при движении абонента по сетке городских улиц в пределах соты. Оценивается зависимость отношения сигнал/помеха от направления движения и количества источников внутрисистемных помех, а также обсуждаются полученные результаты.

**Ключевые слова:** мобильная станция, отношение сигнал/помеха, маршрут движения абонента, источник внутрисистемных помех.

**Анотація.** У статті розглянуто питання визначення відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при русі абонента по сітці міських вулиць у межах стільника. Оцінюється залежність відношення сигнал/завада від напрямку руху та кількості джерел внутрішньосистемних завад, а також обговорюються отримані результати.

**Ключові слова:** мобільна станція, відношення сигнал/завада, маршрут руху абонента, джерело внутрішньо системних завад.

**Annotation.** This article focuses on the calculation of the signal-interference ratio at the receiver of downlink channel when user moves along the city streets. SIR dependence upon interference sources number is estimated and obtained results are discussed.

**Key words:** mobile station, SIR, route of subscriber movements, source of self-interference.

В работе [1] была предложена методика расчёта динамики помеховой обстановки в сотовой сети мобильной радиосвязи для прямого канала или нисходящей линии (downlink channel). При этом предполагалось, что мобильная станция (МС) перемещается в данной соте по произвольной прямолинейной траектории, а внутрисистемная помеха поступает от передатчиков базовых станций (БС), расположенных в соседних кластерах. Предложенные расчётные формулы для определения энергетического потенциала нисходящей линии допускали использование любых известных моделей распространения радиоволн в условиях городской застройки [2]. Решение подобной задачи потребовало введения косоугольной (аффинной) системы координат как отвечающей сотовой структуре организации территории обслуживания мобильных абонентов.

Однако маршруты перемещения подвижных абонентов редко совпадают с прямыми линиями. Обычно маршруты абонентов совпадают с сеткой городских улиц, которая предоставляет свободу перемещения транспортных средств.

**Цель данной работы** – дальнейшее развитие методики количественной оценки помеховой обстановки при движении мобильного абонента по сетке городских улиц.

На рис. 1 представлен фрагмент плоской регулярной гексагональной решетки и один из возможных маршрутов мобильной станции в сетке городских улиц. Подобное представление создаётся на этапе проектирования в результате наложения шестиугольной структуры с выбранным радиусом ячейки на план города, где разворачивается сотовая сеть подвижной радиосвязи (ССПР). Косоугольная система координат связывается с выбранной ячейкой, т.е. начало системы координат совмещается с центром ячейки, где располагается базовая станция  $БС_0$ , через которую осуществляется обслуживание абонента МС.

В точке  $A$  мобильная станция пересекает границу центральной соты и входит на ее территорию. Пройдя по указанному маршруту, МС покидает территорию центральной соты в точке  $E$  и попадает под управление другой БС в соседней соте. В течение того времени, когда МС находится в пределах соты, ее обслуживает  $БС_0$ , находящаяся в центре соты. Всю траекторию движения МС можно разделить на четыре участка. На рис. 1 показана ситуация, когда МС находится на втором участке пути. В этой позиции на вход приёмника МС поступает как полезный сигнал от передатчика  $БС_0$ , так и внутрисистемные помехи на той же частоте от передатчиков  $БС_1$  и  $БС_2$  в соседних кластерах ( $K = 1$ ).

Отметим, что передатчики  $БС_1$  и  $БС_2$  создают помехи только тогда, когда они обслуживают во время сеанса связи на своей территории абонентов  $МС_1$  и  $МС_2$  соответственно. Эти сеансы связи могут не совпадать, поэтому необходимо рассмотреть три случая: помеху создает только одна базовая станция, только другая и обе станции одновременно.

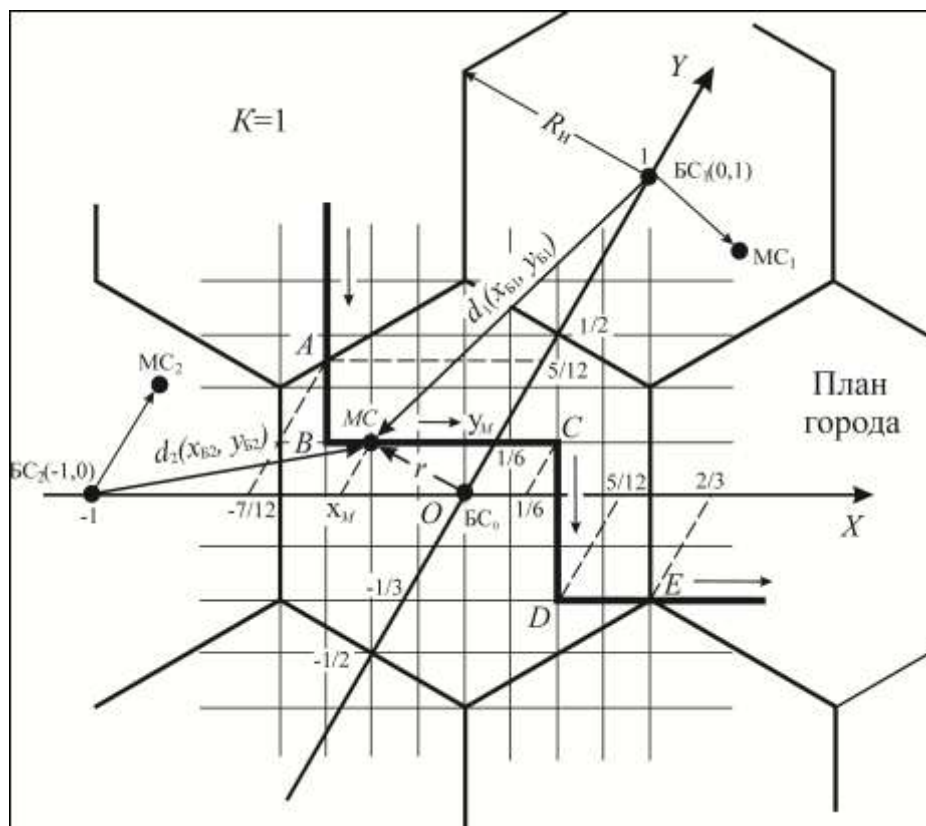


Рисунок 1 – Траектория движения мобильной станции в центральной соте

В качестве единицы масштаба в косоугольной системе координат целесообразно принять расстояние между центрами соседних ячеек, равное  $H = R\sqrt{3}$ . Для упрощения вычисле-

ний обычно вводят нормировку, что предполагает деление всех расстояний на величину  $H$ . В такой нормированной системе координат радиус соты равен  $R_{\text{н}} = R/(R\sqrt{3}) = 1/\sqrt{3}$ . Если нужно перейти к абсолютным единицам длины, то любое относительное расстояние необходимо умножить на  $R\sqrt{3}$ . Естественно, нормировка целесообразна тогда, когда нас интересует не абсолютное значение мощности сигнала или помехи, а отношение сигнал/помеха.

**ВЫВОД ОСНОВНЫХ СООТНОШЕНИЙ.** Одним из самых ответственных этапов построения модели ССПР является определение характера распространения радиоволн в зоне обслуживания. Он определяется рельефом местности, высотой зданий, густотой застройки и др. Обычно при вычислениях пользуются известными соотношениями для свободного пространства или двухлучевого распространения. Широко используется также эмпирическая формула Окамуры – Хаты [2].

Найдём аналитическое выражение для расчёта зависимости отношения сигнал/помеха от координат МС. Для определённости будем считать, что для сигнала и помехи справедлива двухлучевая модель распространения радиоволн [1]. Тогда мощность сигнала на входе приёмника МС можно рассчитать, используя следующее выражение [2]:

$$P_{\text{прМС}} = \alpha_0 \cdot r^{-4},$$

где  $\alpha_0 = P_{\text{пер.БС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от технических характеристик приёмо-передающего оборудования МС и БС<sub>0</sub>;  $G_1, G_2$  – коэффициенты усиления антенн БС<sub>0</sub> и МС соответственно;  $r$  – расстояние между МС и БС<sub>0</sub> (рис. 1), которое зависит от координат МС,  $P_{\text{пер.БС}_0}$  – мощность на выходе передатчика БС<sub>0</sub>.

Мощность внутрисистемной помехи на входе приёмника МС от передатчика базовой станции в соседнем кластере равна

$$P_{\text{Пом Б}_1} = \alpha_1 d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{БС}_1}, y_{\text{БС}_1}) \text{ или } P_{\text{Пом Б}_2} = \alpha_2 d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{БС}_2}, y_{\text{БС}_2}).$$

Тогда отношение с/п на входе приёмника МС можно записать следующим образом:

$$\rho_{M1}^2(x_M, y_M) = \frac{\alpha_0 r^{-4}}{\alpha_1 d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б}_1}, y_{\text{Б}_1})} \text{ и } \rho_{M2}^2(x_M, y_M) = \frac{\alpha_0 r^{-4}}{\alpha_2 d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б}_2}, y_{\text{Б}_2})}.$$

Если предположить, что технические характеристики приёмо-передающего оборудования, влияющие на энергетический потенциал линии, во всех сотах одинаковы, то  $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ . В этом случае получаем

$$\rho_{M1}^2(x_M, y_M) = \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б}_1}, y_{\text{Б}_1})} \text{ и } \rho_{M2}^2(x_M, y_M) = \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б}_2}, y_{\text{Б}_2})}. \quad (1)$$

Таким образом, для вычисления динамики помеховой обстановки в сотовой сети необходимо использовать выражение для расчёта расстояния между отдельными точками зоны обслуживания и уравнения прямых линий, из которых складывается маршрут следования мобильной станции.

В косоугольной системе координат с углом между осями  $60^\circ$  расстояние между точками с координатами  $A(x_A, y_A)$  и  $B(x_B, y_B)$  определяется по формуле [2]:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (2)$$

Уравнение прямой, проходящей через точки  $A$  и  $B$ , имеет вид:

$$y = k(x - x_A) + y_A, \quad k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Координаты граничных точек и тех, где МС меняет направление движения, сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Точки поворота МС на трассе

№	Точка маршрута МС	Координаты точки	
1	<i>A</i>	$x_A = -7/12$	$y_A = 5/12$
2	<i>B</i>	$x_B = -11/24$	$y_B = 1/6$
3	<i>C</i>	$x_C = 1/6$	$y_C = 1/6$
4	<i>D</i>	$x_D = 5/12$	$y_D = -1/3$
5	<i>E</i>	$x_E = 2/3$	$y_E = -1/3$

Если координаты точек *A* и *B* соответственно  $\{-7/12; -5/12\}$  и  $\{-11/24; 1/6\}$ , а коэффициент прямой  $k = -2$ , то уравнение линии, соединяющей эти точки имеет вид:

$$y_M = -2\left(x_M + \frac{7}{12}\right) + \frac{5}{12}, \quad -\frac{7}{12} \leq x_M \leq -\frac{11}{24}. \quad (3)$$

Аналогично можно найти уравнения всех линейных отрезков, составляющих маршрут МС. Эти уравнения в табл. 2.

Таблица 2 – Уравнения отдельных прямолинейных участков трассы

№	Линия маршрута МС	Коэффициент $k_i$	Уравнение линии
1	<i>AB</i>	$k_1 = -2$	$y_M = -2x_M - \frac{3}{4}, \quad -\frac{7}{12} \leq x_M \leq -\frac{11}{24}$
2	<i>BC</i>	$k_2 = 0$	$y_M = \frac{1}{6}, \quad -\frac{11}{24} \leq x_M \leq \frac{1}{6}$
3	<i>CD</i>	$k_3 = -2$	$y_M = -2x_M + \frac{1}{2}, \quad \frac{1}{6} \leq x_M \leq \frac{5}{12}$
4	<i>DE</i>	$k_4 = 0$	$y_M = -\frac{1}{3}, \quad \frac{5}{12} \leq x_M \leq \frac{2}{3}$

Расстояние между  $BC_0$  и мобильной станцией можно определить по формуле (2), подставив в неё координаты  $\{0;0\}$  и  $\{x_M; y_M\}$ . В результате получим

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2}. \quad (4)$$

Расстояние от мобильной станции до источника помех согласно (2) равно [2]

$$\begin{aligned} d_i(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi}) &= \sqrt{(x_M - x_{BCi})^2 + (x_M - x_{BCi})(y_M - y_{BCi}) + (y_M - y_{BCi})^2} = \\ &= \sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{BCi} + y_{BCi}) - y_M(x_{BCi} + 2y_{BCi})}, \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $K$  – размерность кластера, а  $r$  – расстояние между МС и  $BC_0$ , определяемое по формуле (4).

Покажем специфику определения отношения с/п для участка  $AB$  маршрута МС. Линия  $AB$  представлена уравнением (3). Подставляя его в (4), получаем

$$r = \sqrt{3x_M^2 + \frac{9}{4}x_M + \frac{9}{16}}, \quad -\frac{7}{12} \leq x_M \leq -\frac{11}{24}. \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (1), получаем расчётные соотношения для определения отношения с/п на первом участке трассы

$$\rho_i^2(x_M) = \frac{\left(3x_M^2 + \frac{9}{4}x_M + \frac{9}{16}\right)^{-2}}{\left[1 + 3x_M^2 + \frac{9}{4}x_M + \frac{9}{16} - x_M(2x_{Bi} + y_{Bi}) - \left(2x_M + \frac{3}{4}\right)(x_{Bi} + 2y_{Bi})\right]^{-2}}, \quad (7)$$

$$-\frac{7}{12} \leq x_M \leq -\frac{11}{24}, \quad i = 1, 2.$$

Координаты базовых станций, создающих помехи МС, равны  $BC_1 \{0;1\}$  и  $BC_2 \{-1;0\}$  (рис. 1).

Выполняя аналогичные преобразования, можно получить подобные (7) соотношения для других участков трассы.

Для графического представления характера изменения отношения с/п при движении МС по маршруту  $AB - BC - CD - DE$  можно воспользоваться средой MATLAB, составив соответствующую программу. Результаты работы такой программы представлены на рис. 2.

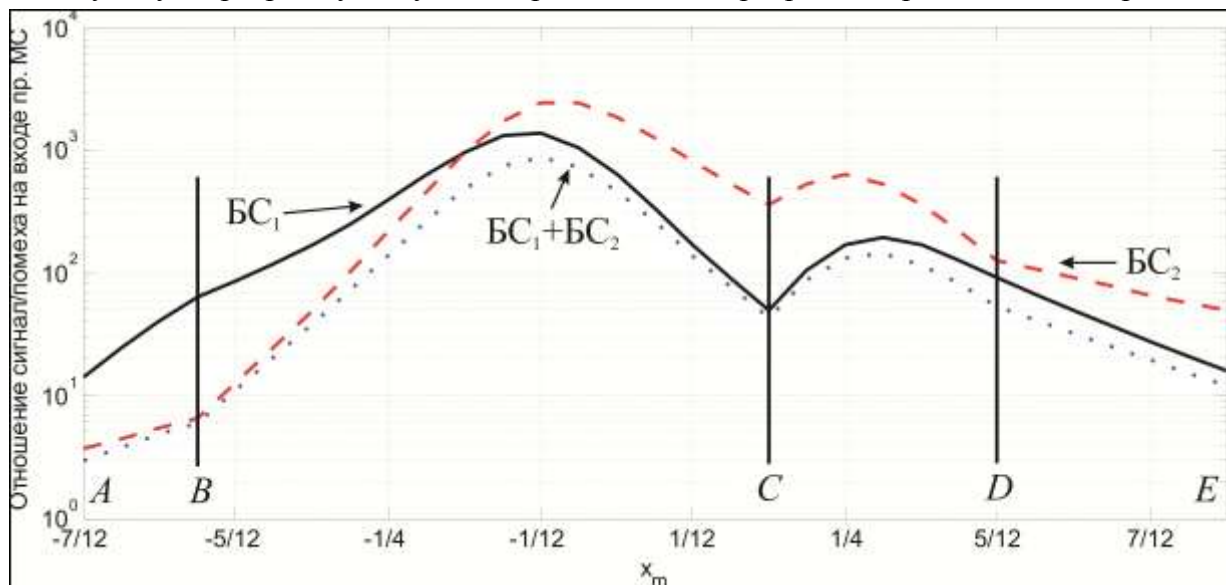


Рисунок 2 – Зависимость отношение сигнал/помеха от координат МС

Три кривые иллюстрируют изменение отношения с/п на входе приёмника абонента при движении МС от  $A$  к  $E$ . Две кривые учитывают воздействие одного источника помех –  $BC_1$  или  $BC_2$ , а третья – совместное воздействие  $BC_1$  и  $BC_2$ .

Анализируя графики, можно выделить зоны уверенного приёма, а также те области, где могут возникнуть проблемы с предоставлением абонентам оговорённого качества обслуживания.

Следует отметить, что как полезный сигнал, так и внутрисистемные помехи испытывают быстрые и медленные замирания при движении абонента. Поэтому полученные результаты соответствуют медианным значениям сигнала и помехи [2].

Суммируя результаты исследования, можно прийти к следующим выводам:

1. Внутрисистемные помехи на совпадающих частотах являются следствием применения сотовой структуры в сетях мобильной связи. Таким образом, они принципиально неустраняемы. Предложенная методика количественной оценки отношения с/п при движении МС в сетке городских улиц позволяет учесть все особенности изменения помеховой обстановки в любой соте обслуживаемой территории.

2. Характер изменения отношения с/п на входе приёмника движущегося абонента зависит от координат БС, создающей помехи, и положения МС относительно “своей” базовой станции. Максимальное значение отношения с/п составляет 33,8 дБ при  $x_M = -1/12$  (второй участок трассы). Диапазон изменения с/п колеблется от 20 до 28 дБ.

3. Практически на всей траектории движения МС отношение с/п превышает 10 дБ. Исключение составляет начальный участок трассы. Здесь при совместном воздействии двух источников помех функция  $\rho^2(x_M)$  изменяется от 4,7 до 10 дБ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сукачев Э.А. Расчёт отношения сигнал/помеха в нисходящей линии при движении абонента в заданном направлении / Э.А. Сукачев, Е.М. Рудый, А.А. Пospelova // Цифрові технології. – 2012. – № 11. – С. 19–23.

2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ. / Э.А. Сукачев: [3-е изд., испр. и доп.]. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.

#### REFERENCES

1. Sukachev, E. A., and A. A. Pospelova. “Calculation of the signal-interference ratio in downlink channel when subscriber moves in a given direction.” *Digital Technologies* 11 (2012): 19-23.

2. Sukachev, E.A.. *Cellular radiocommunication networks with mobile objects*. 3 ed. Odessa: O.S. POPOV ONAT, 2013.