

УДК 621.396.93

**РАСЧЁТ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА В НИСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ
ПРИ ДВИЖЕНИИ АБОНЕНТА В ЗАДАННОМ НАПРАВЛЕНИИ**

СУКАЧЕВ Э.А., РУДЫЙ Е.М., ПОСПЕЛОВА А.А.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

**CALCULATION OF THE SIGNAL-INTERFERENCE RATIO IN DOWNLINK CHANNEL
WHEN SUBSCRIBER MOVES IN A GIVEN DIRECTION**

E.A. SUKACHEV, E.M. RUDY, A.A. POSPELOVA

Odessa national academy of telecommunication n. a. O.S. Popov

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы определения отношения сигнал/помеха на входе приемника мобильной станции (нисходящая линия) при движении абонента по заданной траектории в пределах соты. Оценивается зависимость отношения сигнал/помеха от числа источников помех и обсуждаются полученные результаты.*

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

ВВЕДЕНИЕ

Применение сотовой структуры при развертывании сетей радиосвязи с подвижными объектами позволяет многократно использовать одну и ту же выделенную полосу частот. Наряду с явным достоинством такой организации мобильной связи – высокой спектральной эффективностью – она обладает существенным недостатком, который выражается в наличии взаимных помех между станциями, использующими одинаковые частотные каналы. Подобные помехи, называемые внутрисистемными, бывают двух видов.

К первому относятся помехи, поступающие на вход приемника мобильной станции (МС) от передатчиков базовых станций (БС), расположенных в соседних кластерах в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый прямой канал или нисходящая линия (downlink channel).

Ко второму виду относятся помехи на входе приемника БС от передатчиков МС, находящихся в соседних кластерах в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый обратный канал или восходящая линия (uplink channel). Для борьбы с помехами этих двух видов используют увеличение размерности кластера и/или секторизацию антенн базовых станций.

В работах [1,2] предложен общий подход к анализу влияния размерности кластера и других параметров сети на величину отношения сигнал/помеха для первого и второго видов помех. Однако в литературе отсутствуют исследования, связанные с учетом влияния изменения числа источников внутрисистемных помех в процессе сеанса связи на энергетический потенциал нисходящей линии.

***Цель настоящей работы** – сравнительный анализ динамики помеховой обстановки при движении мобильной станции по заданной траектории.*

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА ПРИ ДВИЖЕНИИ
МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ В СОТЕ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ**

При проектировании сотовых сетей подвижной радиосвязи (ССПР) предварительно выбирают радиус соты R и размерность кластера K , а затем на карте города вычерчивают плоскую регулярную гексагональную решетку, покрывающую всю зону обслуживания [1]. Для исследования динамики помеховой обстановки в конкретной соте ее центр совмещают с началом косоугольной системы координат точкой O таким образом, чтобы оси координат Ox и Oy были перпендикулярны смежным сторонам шестиугольника.

На рисунке 1 изображена топология сети, состоящей из семи сот. Для определенности выберем размерность кластера $K=1$, т.е. каждый кластер состоит из одной ячейки.

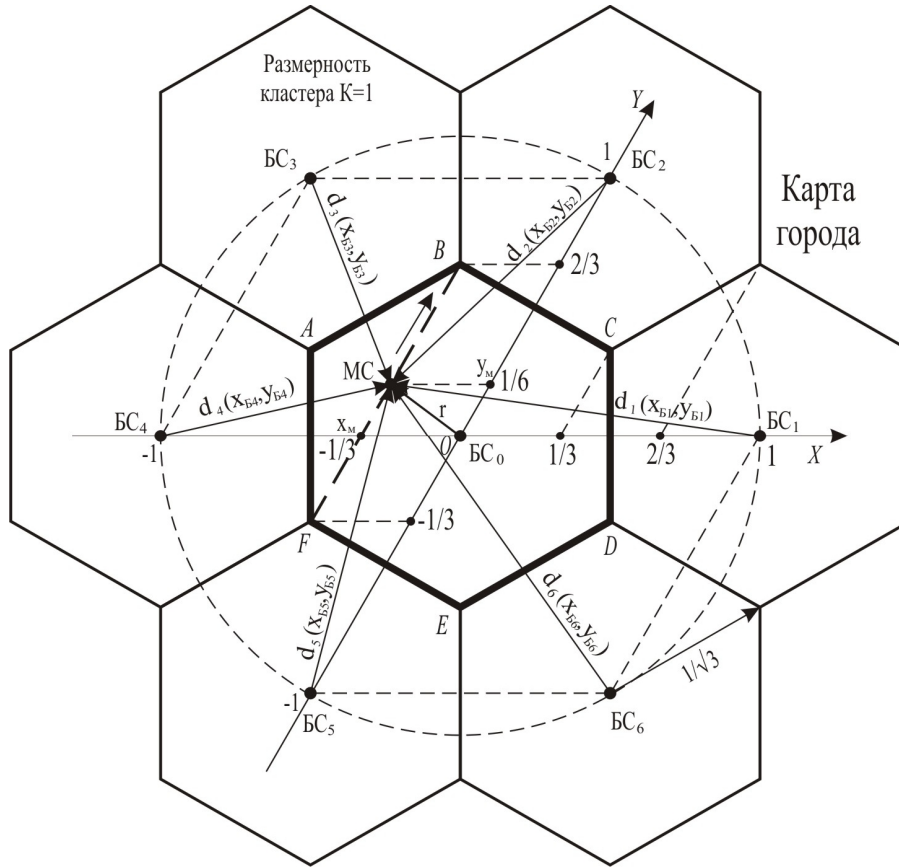


Рисунок 1 – Фрагмент плоской регулярной гексагональной решетки

В качестве единицы масштаба в выбранной системе координат целесообразно применять расстояние между центрами соседних ячеек, равное $H = R\sqrt{3}$. Для удобства обычно вводят нормировку, что предполагает деление всех расстояний на величину H . В такой нормированной системе координат радиус соты равен $R/(R\sqrt{3}) = 1/\sqrt{3} \approx 0,577$. При необходимости перейти к обычным единицам длины любое расстояние необходимо умножить на $R\sqrt{3}$.

В косоугольной системе координат расстояние между двумя точками с координатами $A(x_A, y_A)$ и $B(x_B, y_B)$ определяется по формуле [1]:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (1)$$

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

$$y = k(x - x_B) + y_B, \quad k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (2)$$

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 эмпирическая расчетная формула Окамуры-Хаты [1,4].

Найдем аналитическое выражение для расчета зависимости отношения сигнал/помеха от координат МС. Для определенности предположим, что МС перемещается в пределах центральной соты по линии FB , как показано на рисунке 1. Считаем, что для сигнала и помехи справедлива двухлучевая модель распространения радиоволн [4]. Тогда мощность сигнала на входе приемника МС можно рассчитать, используя следующее выражение [3]:

$$P_{\text{пр.МС}} = a_0 \cdot r^{-4}, \quad (3)$$

где $a_0 = P_{\text{пер.БС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от технических характеристик приемопередающего оборудования МС и БС₀; G_1, G_2 – коэффициенты усиления антенн БС₀ и МС соответственно; r – расстояние между МС и БС₀ (рисунок 1). Здесь $P_{\text{пер.БС}_0}$ – мощность на выходе передатчика БС₀.

Обычно наихудшее отношение сигнал/помеха наблюдается на границе соты, когда МС находится в точках $A(-2/3, 1/3), B(-1/3, 2/3), C(1/3, 1/3), D(2/3, -1/3), E(1/3, -2/3), F(-1/3, -1/3)$.

Если известны начало и конец траектории движения МС, т. е. координаты точек F и B , то согласно (2) уравнение линии FB имеет вид:

$$x_M = -1/3, \quad -1/3 \leq y_M \leq 2/3.$$

Если координаты МС $\{x_M, y_M\}$ и БС $\{0, 0\}$, то расстояние между приемником абонента и передатчиком базовой станции в центральной соте на основании (1) равно:

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

Кроме полезного сигнала на вход приемника МС поступают помехи от передатчиков БС_{*i*}, установленных в соседних кластерах. Центральный кластер, с которым связано начало координат, окружен шестью кластерами той же структуры. Они образуют так называемый **первый круг**. За первым кругом расположен второй круг, содержащий 12 базовых станций, создающих помехи на совпадающих частотах, и т.д. [1]. Отметим, что число источников помех в каждом круге не зависит от размерности кластера.

Координаты источников помех из первого круга приведены в таблице.

Таблица – Координаты БС_{*i*}, создающей помехи МС на совпадающих частотах

Базовая станция	Размерность кластера							
	$K = 1$		$K = 3$		$K = 4$		$K = 7$	
	$x_{\text{Б}i}$	$y_{\text{Б}i}$	$x_{\text{Б}i}$	$y_{\text{Б}i}$	$x_{\text{Б}i}$	$y_{\text{Б}i}$	$x_{\text{Б}i}$	$y_{\text{Б}i}$
БС ₁	1	0	1	1	2	0	2	1
БС ₂	0	1	-1	2	0	2	-1	3
БС ₃	-1	1	-2	1	-2	2	-3	2
БС ₄	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	-1
БС ₅	0	-1	1	2	0	-2	1	-3
БС ₆	1	-1	2	-1	2	-2	3	-2

Легко проверить, что координаты связаны с размерностью кластера K соотношением:

$$K = x_{\text{Б}i}^2 + x_{\text{Б}i} y_{\text{Б}i} + y_{\text{Б}i}^2, \quad i = 1, \dots, 6.$$

Расстояние между БС_{*i*}, создающей помехи, и приемником абонента согласно (1) равно:

$$\begin{aligned} d_i(x_M, y_M; x_{\text{Б}i}, y_{\text{Б}i}) &= \sqrt{(x_1 - x_{\text{Б}i})^2 + (x_j - x_{\text{Б}i})(y_i - y_{\text{Б}i}) + (y_i - y_{\text{Б}i})^2} = \\ &= \sqrt{K + r^2 - x_1 (2x_{\text{Б}i} + y_{\text{Б}i}) - y_1 (x_{\text{Б}i} + 2y_{\text{Б}i})}, \quad i = 1, \dots, 6. \end{aligned} \quad (5)$$

Мощность помехи на входе приёмника МС от i -й БС в первом круге определяется по формуле:

$$P_{1i} = a_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б}i}, y_{\text{Б}i}), \quad i = 1, \dots, 6, \quad (6)$$

Если предположить, что технические данные приемо-передающего оборудования, влияющие на энергетический потенциал линии, во всех сотах одинаковы, то $a_0 = a_i = a$. В этом случае на основании (3) и (6) получаем следующую расчетную формулу для определения отношения сигнал/помеха на входе приемника МС:

$$r^2 = \frac{r^{-4}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{A^i}, y_{A^i})}, \quad N=1,2,\dots,6. \quad (7)$$

Подставляем уравнение прямой FB в (4) и (5), что дает возможность переписать выражение (7) следующим образом:

$$r_i^2(y_M) = \frac{\left(y_M^2 - \frac{1}{3}y_M + \frac{1}{9}\right)^{-2}}{\sum_{i=1}^N \left[1 + y_M^2 - \frac{1}{3}y_M + \frac{1}{9} + \frac{1}{3}(2x_{A^i} + \delta_{A^i}) - \delta_{A^i}(\delta_{A^i} + 2\delta_{A^i})\right]^{-2}} \quad (8)$$

$$-1/3 \leq \delta_{A^i} \leq 2/3, \quad N=1,2,\dots,6.$$

Результаты расчетов в среде MATLAB согласно (8) приведены на рисунке 2.

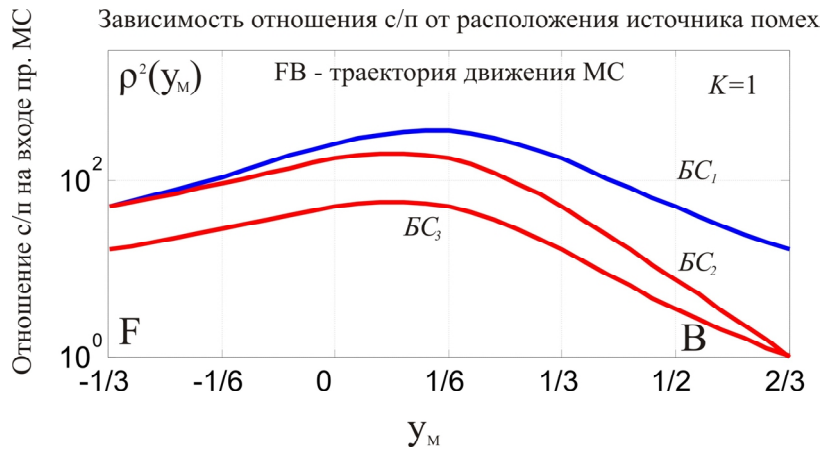


Рисунок 2 – Зависимость r^2 от координаты y_M при движении мобильной станции по линии FB

Три кривые иллюстрируют изменение отношения с/п на входе приемника абонента при движении МС от F к B . В каждом случае учитывается помеха от одной базовой станции – BC_1 , BC_2 или BC_3 . Рис. 1 поясняет, почему в точке F отношения с/п при действии BC_1 или BC_2 совпадают. Точно так же очевидно, что в точке B уровни сигнала и помехи равны для второго и третьего случаев, поэтому:

$$r^2(y_M = 2/3) = 1, \quad i=2, i=3.$$

На самом деле, для точки $B(-1/3, 2/3)$ выполняется равенство

$$r = d_2(x_{B2}, y_{B2}) = d_3(x_{B3}, y_{B3}) = 1/\sqrt{3}.$$

Если источниками помех становятся BC_4 , BC_5 или BC_6 , то каждая кривая на рисунке 2 зеркально изменяет свою форму.

Представляется целесообразным рассмотреть случай, когда на вход приемника абонента поступают одновременно помехи от нескольких источников. На рисунке 3 представлены графики зависимости $r^2(y_M)$, когда число источников помех увеличивается от $N=1$ до $N=6$.

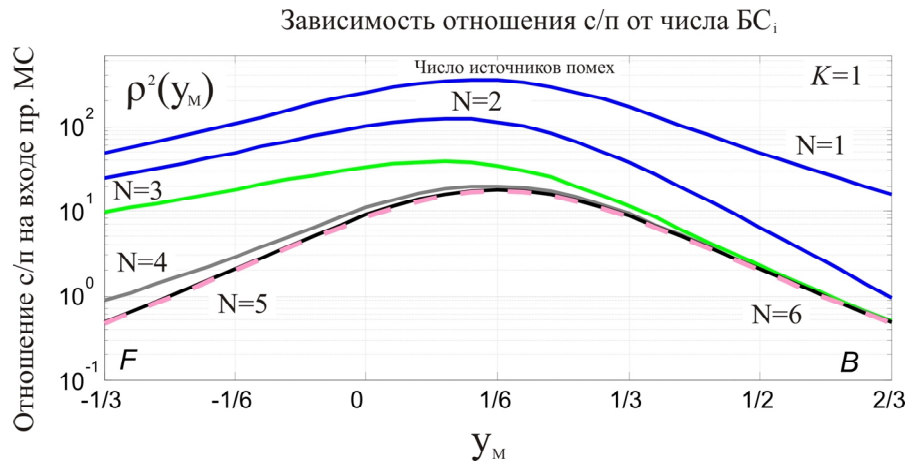


Рисунок 3 – Характер снижения $r^2(y_M)$ при увеличении количества источников помех

Когда число источников помех из первого круга максимально ($N = 6$), кривая $r^2(y_M)$ симметрична и достигает максимума при $y_M = 1/6$. В этой точке $r = r_{\min} = 1/2\sqrt{3}$, т.е. расстояние между МС и БС₀ минимально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя результаты исследования, можно прийти к следующим выводам.

1. Характер изменения отношения с/п на входе приемника движущегося абонента при неизменной траектории ФВ существенно зависит от координат БС, создающей помехи. Функции $r_i^2(y_M)$ имеют четко выраженный максимум, который, однако, не совпадает с $y_M = 1/6$, когда $r = r_{\min}$, т.е. расстояние между МС и БС₀ минимально, а мощность полезного сигнала максимальна.

Отношение с/п достигает максимального значения 25,6 дБ, когда помеху создает БС₁. Это происходит в точке с координатами МС (-0,33; 0,13). Диапазон изменения с/п колеблется от 22,8 дБ (вторая кривая) до 13,6 дБ (первая кривая).

2. При увеличении числа одновременно действующих источников помех функция $r^2(y_M)$ последовательно изменяет свои свойства: симметрия становится заметней, максимум проявляется все более отчетливо и перемещается к координате $y_M = 1/6$. Полная симметрия достигается, когда работают все шесть передатчиков базовых станций в соседних сотах. В этом случае $r_{\max}^2 = 12,35$ дБ, $r_{\min}^2 = -3,35$ дБ, а диапазон изменения отношения с/п составляет 15,7 дБ.

3. Практически на всем протяжении трассы $r^2(y_M) > r_{\text{доп}}^2$, что обеспечивает требуемое качество обслуживания абонентов для стандартов CDMA ($r_{\text{доп}}^2 = -13$ дБ) и GSM-900 ($r_{\text{доп}}^2 = 9$ дБ). Исключение составляют участки вблизи границы соты, где для стандартов GSM-900 отношение с/п ниже допустимого. Если с таким положением мириться нельзя, то необходимо применять секторизацию сот или увеличивать размерность кластера [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сукачев Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учебн. пособие / Сукачев Э. А. – [2-е изд-е, испр. и дополн.]. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.
2. Сукачев Э. А. Анализ изменения отношения сигнал/помеха при движении мобильной станции / Э. А. Сукачев, Е. М. Рудый, В. А. Танько // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2003. – Вып. 133. – С. 255–258.
3. Быховский М. А. Исследование эффективности сотовых систем сухопутной подвижной связи с кодовым разделением каналов / М. А. Быховский // Электросвязь. – 1995. – № 8. – С. 29–32.
4. Макоеева М. М. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов / М. М. Макоеева, Ю. С. Шинаков. – М.: Радио и связь. – 2002. – 440 с.