

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, А.І. ПОВХ
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА

Мета наукової статті полягає в дослідженні впливу внутрішньосистемних завад, які виникають внаслідок переміщення мобільної станції в стільнику зони обслуговування, яка передбачає використання одних і тих же частот, що погіршує умови зв'язку. В статті наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції. Також наведені розрахунки, включаючи таблиці і рисунки, при різних характеристиках базових станцій (БС) мобільної мережі.

Ключові слова: мобільний зв'язок, плоский регулярний гексагональний стільник, мобільна станція, базова станція, співвідношення сигнал/завада, внутрішньосистемні завади, завадостійкість.

V.I. LUZHANSKY, L.V. KARPOVA, A.I. POVKH
Khmelnitskyi National University

INVESTIGATION OF SIGNAL DISTURBANCE OF THE SIGNAL AT THE INPUT OF THE MOBILE STATION RECEIVER WITH DIFFERENT CHARACTERISTICS OF BASE STATIONS IN THE CONDITIONS OF CITY BUILDING

The purpose of the scientific paper is to study the effects of internal system interference caused by the movement of a mobile station in the cell of the service area, which involves the use of the same frequencies, which worsens the communication conditions. The article provides calculation formulas for determining the signal-to-noise ratio at the input of the receiver of the mobile station. Calculations, including tables and figures, for different characteristics of base stations (BS) of the mobile network are also given. The analysis of literature sources shows insufficient depth of the conducted researches in directions for improving the noise immunity of the signal under different conditions in particular: city development, terrain, interference from other base stations.

The use of radio networks with moving objects makes it possible to repeatedly use the same dedicated frequency band to increase the speed of digital information transmission and economical use of the frequency range. This method has a significant disadvantage, which is the presence of mutual internal system interference between base and mobile stations that use the same frequency range.

The purpose of the scientific article is to study the noise immunity of the signal at the input of the receiver of the mobile station at different characteristics of the base stations in terms of urban development.

Keywords: mobile communication, flat regular hexagonal cell, mobile station, base station, signal/noise ratio, intra-system noise, noise immunity.

Вступ

Використання мереж радіозв'язку з рухомими об'єктами надає можливість багаторазово використовувати одну і ту ж виділену смугу частот для збільшення швидкості передачі цифрової інформації та економічного використання частотного діапазону. Цей метод має вагомий недолік, який полягає в наявності взаємних внутрішньосистемних завад між базовими та мобільними станціями, які використовують однаковий частотний діапазон.

Аналіз стану досліджень та публікацій.

Аналіз літературних джерел показує недостатню глибину проведених досліджень у напрямку покращення завадостійкості сигналу при різних умовах зокрема: забудова міста, рельєфу, завад від інших базових станцій ([1–4] та ін.).

Формування мети.

Метою наукової статті є дослідження завадостійкості сигналу на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах забудови міста.

Результати дослідження.

Для проектування і подальшої побудови стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно врахувати розмірність кластера K і радіус стільника R . Потім на карті міста викреслюють плоский регулярний гексагональний стільник, який покриває всю зону обслуговування мереж мобільного зв'язку [1].

Мобільна станція (МС) буде вільно переміщуватись по даній території обслуговування, внаслідок чого рівень внутрішньосистемних завад від базових станцій (БС) буде постійно змінюватись і буде змінюватись відношення сигнал/завада на вході приймача МС.

Розрахуємо відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції, оскільки нам відомі характеристики базових станцій приймально-передавального обладнання, відстані від МС до передавача базової станції BC_0 та передавачів, які створюють завади $BC_1, BC_2, BC_3, BC_4, BC_5, BC_6$.

Можна використати афінну (косокутну) систему координат, яка буде доцільною для стільникової організації зони обслуговування.

При дослідженні завадової обстановки в певному стільнику потрібно використати косокутну систему координат, поєднавши його центр з початком косокутної системи координат з точкою O так, щоб осі координат Ox і Oy були перпендикулярні до суміжних сторін шестикутника. Відповідно між осями кут буде становити 60° . Топологія даної мережі продемонстрована на рис. 1.

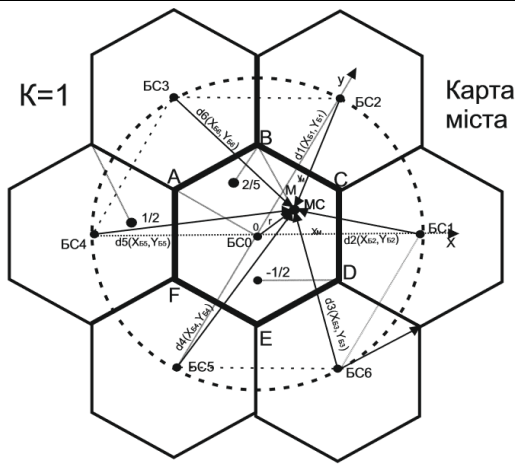


Рис. 1. Траєкторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику

При використанні системи косокутних координат знайдемо відстань між точками $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$, використовуючи формулу (1):

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

Отже $\{x_M; y_M\}$ і $\{0; 0\}$ – координати MC і BC₀. Тоді відстань r між приймачем абонента і передавачем BC₀, що знаходиться в центральному стільнику при умові формули (1) буде виглядати:

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

Окрім корисного сигналу станції BC₀ на вхід приймача MC будуть постійно надходити перешкоди від передавачів BC₁...BC₆, які розміщені відповідно у сусідніх від BC₀ кластерах (див. рис. 1). З цього випливає, що відстань між BC_i, які створюють перешкоди та приймачем абонента відповідно до формули (1) визначається за формулою:

$$d_i(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}) = \sqrt{(x_M - x_{BC_i})^2 + (x_M - x_{BC_i}) \cdot (y_M - y_{BC_i}) + (y_M - y_{BC_i})^2} = \sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{BC_i} + y_M(x_{BC_i} + 2y_{BC_i}))}, i = 1, \dots, 6, \quad (3)$$

де x_M, y_M – координати MC; r – відстань між MC і BC₀; K – розмірність кластера, буде визначатися за формулою (2); відповідно x_{BC_i}, y_{BC_i} – координати BC_i в нормованій косокутній системі координат. Доволі просто перевірити, що координати BC_i пов'язані з розмірністю K кластера відповідно за формулою:

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

Координати джерел завад BC_i для різних значень кластера K представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Координати BC_i, які створюють завади MC на співпадаючих частотах

Базова станція	Координати BC _i							
	K=1		K=3		K=4		K=7	
	X _{BC_i}	Y _{BC_i}	X _{BC_i}	Y _{BC_i}	X _{BC_i}	Y _{BC_i}	X _{BC_i}	Y _{BC_i}
BC ₁	1	0	1	1	2	0	2	1
BC ₂	0	1	-1	2	0	2	-1	3
BC ₃	-1	1	-2	1	-2	2	-3	2
BC ₄	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	-1
BC ₅	0	-1	1	2	0	-2	1	-3
BC ₆	1	-1	2	-1	2	-2	3	-2

Для побудови моделі стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно визначити характер поширення радіохвиль в зоні обслуговування. На модель впливає рельєф місцевості, висота будівель, густота забудови міста та інші фактори. Відповідно при обчисленнях будемо використовувати відомі співвідношення для вільного простору, або двохвильового поширення радіохвиль.

Для розрахунку потужності сигналу використаємо формулу (4):

$$P_{прMC} = \alpha_0 \cdot r^{-n}, \quad (4)$$

де α_0 – коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик обладнання MC і BC₀, $\alpha_0 = P_{перBC_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$; $P_{перBC_0}$ – потужність на виході передавача BC₀; G_1, G_2 – коефіцієнти підсилення антен відповідно BC₀ і MC; h_1, h_2 – висоти антен відповідно BC₀ і MC; r – відстань між MC і BC₀, залежна

від координат МС; n - показник ослаблення сигналу, що враховує ослабленість траси.

Загасання радіохвиль в (4) буде: $n = 2$ - у вільному просторі; $n = 4$ - при поширенні над поверхнею землі. Отже, в формулі (4), що використовується у моделі Окамури-Хати, параметр мережі для типових значень теж близький до $n = 4$. Відповідно до цих значень вважатимемо, що умови поширення для сигналів і перешкод однакові і $n = 4$.

Використовуючи формулу (4) визначимо потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача МС від i -тої БС:

$$P_{ПБi} = \alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}), i = 1, \dots, 6, \tag{5}$$

де α_i виступає нормуючим коефіцієнтом для i -го напрямлення.

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента записуємо як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{P_{npMC}(x_M)}{P_{ПБi}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \tag{6}$$

Використовуємо для підстановки формули (4) і (5) в (6). Це дасть нам можливість переписати вираз (6) у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \tag{7}$$

При умові, що α_0 та α_i – коефіцієнти пропорційності, які залежать від технічних характеристик обладнання МС і БС₀ будуть однаковими між собою, тобто $\alpha_0 = \alpha_1 \dots \alpha_6$, то в даному випадку можна вираз (7) записати у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \tag{8}$$

Для розрахунків ми будемо використовувати дві координати які будуть відображати знаходження мобільної станції в точках М і В з їх координатами М(-1/4, 1/4) та В(1/2, -2/5), які продемонстровані на рисунку 1. Відповідно для кожної точки проведемо розрахунки по трьом варіантам. У першому варіанті з ідентичними характеристиками приймально-передавальних пристроїв, у другому варіанті використаємо БС₀ з найменшою висотою антени і найменшою потужністю, а у третьому використаємо БС₀ з найбільшою потужністю і найбільшою висотою антени. Розрахунки будуть проведені по технології CDMA.

Таблиця 2

Технічні характеристики варіанту 1

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
БС ₀ , БС ₁ ...БС ₆	12	5 (3.16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7

Отже α_0 буде такого вигляду:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 13575.$$

Розрахуємо відстань r від точки М, де знаходиться МС до точки О, центру базової станції:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{(-1/4)^2 + (-1/4) \cdot 1/4 + 1/4^2} = 0,353 \text{ км.}$$

Врахуємо завади від всіх шести сусідніх БС, як показано на рис. 1.

$$\begin{aligned} d_1(M, BC_1) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_1})^2 + (x_M - x_{BC_1}) \cdot (y_M - y_{BC_1}) + (y_M - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,145 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(M, BC_2) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_2})^2 + (x_M - x_{BC_2}) \cdot (y_M - y_{BC_2}) + (y_M - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,901 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(M, BC_3) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_3})^2 + (x_M - x_{BC_3}) \cdot (y_M - y_{BC_3}) + (y_M - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 1,75 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$d_4(M, BC_4) = \sqrt{(x_M - x_{BC_4})^2 + (x_M - x_{BC_4}) \cdot (y_M - y_{BC_4}) + (y_M - y_{BC_4})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - (-1))^2 + ((-1/4) - (-1)) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 0,901 \text{ км.}$$

$$d_5(M, BC_5) = \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \cdot (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,145 \text{ км.}$$

$$d_6(M, BC_6) = \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \cdot (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,25 \text{ км.}$$

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 13,66$$

Змінимо потужність та висоти сусідніх базових станцій, значення яких наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Технічні характеристики варіанту 2

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
БС ₀	12	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
БС ₁	14			30	
БС ₂	16			30	
БС ₃	18			32	
БС ₄	20			26	
БС ₅	22			34	
БС ₆	24			35	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 3 дані для розрахунку інших коефіцієнтів.

$$\alpha_1 = P_{перБС_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{перБС_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{перБС_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{перБС_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{перБС_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 333600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{перБС_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Також розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,353^{-4}}{1,75^{-4}} = 24,576.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,353^{-4}}{1,25^{-4}} = 12,539.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{135700 \cdot (0,353)^{-4}}{181800 \cdot (1,145)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 333600 \cdot (1,145)^{-4} + 424200 \cdot (1,25)^{-4}} = 7,849$$

Таблиця 3

Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	BC ₁	BC ₂	BC ₃	BC ₄	BC ₅	BC ₆
$\rho^2(x_M)$	10.521	6.514	24.576	6.514	10.521	12.539

По результатам обчислень таблиці [4] побудуємо графік, який представлений на рис. 2

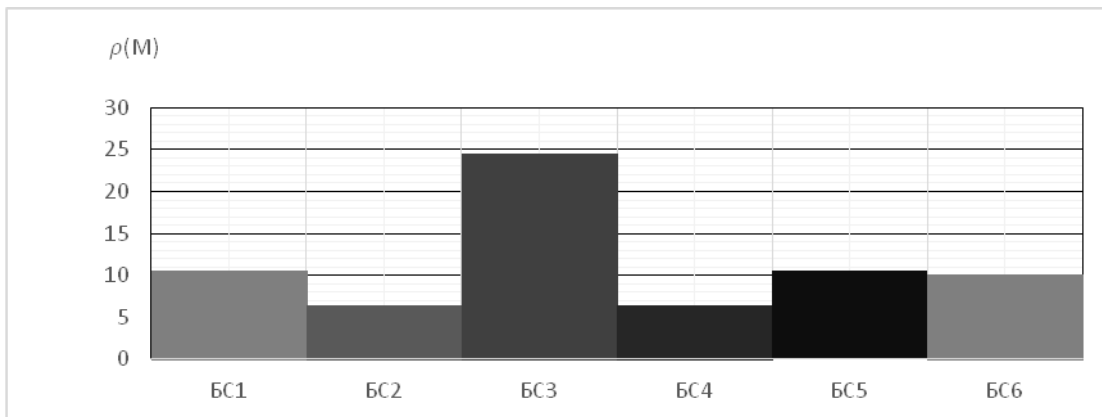


Рис. 2. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від шести сусідніх (BC₁...BC₆)

Розрахуємо співвідношення С/З на вході приймача МС для точки М від шести завад (BC₁... BC₆):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,175)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 4,319.$$

Третій варіант з різними технічними характеристиками БС в залежності від забудови міста надано в таблиці 5.

Таблиця 5

Технічні характеристики варіанту 3

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
BC ₀	24	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	35	1,7
BC ₁	22			34	
BC ₂	20			26	
BC ₃	18			32	
BC ₄	16			30	
BC ₅	14			30	
BC ₆	12			28	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{пер}BC_0} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 5 дані для розрахунку коефіцієнтів $\alpha_1 \dots \alpha_6$:

$$\alpha_1 = P_{\text{пер}BC_1} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 363900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{\text{пер}BC_2} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{пер}BC_3} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{пер}BC_4} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{пер}BC_5} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{пер}BC_6} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відношення $C/3$ на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{424200 \cdot (0,353)^{-4}}{366900 \cdot (1,145)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 181800 \cdot (1,145)^{-4} + 135700 \cdot (1,25)^{-4}} = 26,928$$

Розрахуємо відстань r від точки $B(-1/2, 2/5)$ до точки $O(0;0)$, центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_B^2 + x_{BYB} + y_B^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 2/3 + 2/3^2} = 0,577 \text{ км}.$$

Враховуємо завади від шести сусідніх БС, а координати базових станцій представлені в таблиці 1.

$$d_1(B, BC_1) = \sqrt{(x_B - x_{BC_1})^2 + (x_B - x_{BC_1}) \cdot (y_B - y_{BC_1}) + (y_B - y_{BC_1})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км}.$$

$$d_2(B, BC_2) = \sqrt{(x_B - x_{BC_2})^2 + (x_B - x_{BC_2}) \cdot (y_B - y_{BC_2}) + (y_B - y_{BC_2})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км}.$$

$$d_3(B, BC_3) = \sqrt{(x_B - x_{BC_3})^2 + (x_B - x_{BC_3}) \cdot (y_B - y_{BC_3}) + (y_B - y_{BC_3})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км}.$$

$$d_4(B, BC_4) = \sqrt{(x_B - x_{BC_4})^2 + (x_B - x_{BC_4}) \cdot (y_B - y_{BC_4}) + (y_B - y_{BC_4})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км}.$$

$$d_5(B, BC_5) = \sqrt{(x_B - x_{BC_5})^2 + (x_B - x_{BC_5}) \cdot (y_B - y_{BC_5}) + (y_B - y_{BC_5})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км}.$$

$$d_6(B, BC_6) = \sqrt{(x_B - x_{BC_6})^2 + (x_B - x_{BC_6}) \cdot (y_B - y_{BC_6}) + (y_B - y_{BC_6})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км}.$$

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_B) = \frac{1}{\sum_{i=0}^6 d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

Таблиця 6

Залежність співвідношення C/З на вході приймача МС для кожної базової станції окремо для точки В

Базові станції	BC ₁	BC ₂	BC ₃	BC ₄	BC ₅	BC ₆
$\rho^2(x_B)$	4	1	1	4	7,012	7,012

По результатам обчислень таблиці 6 побудуємо графік, який представлений на рис. 3.

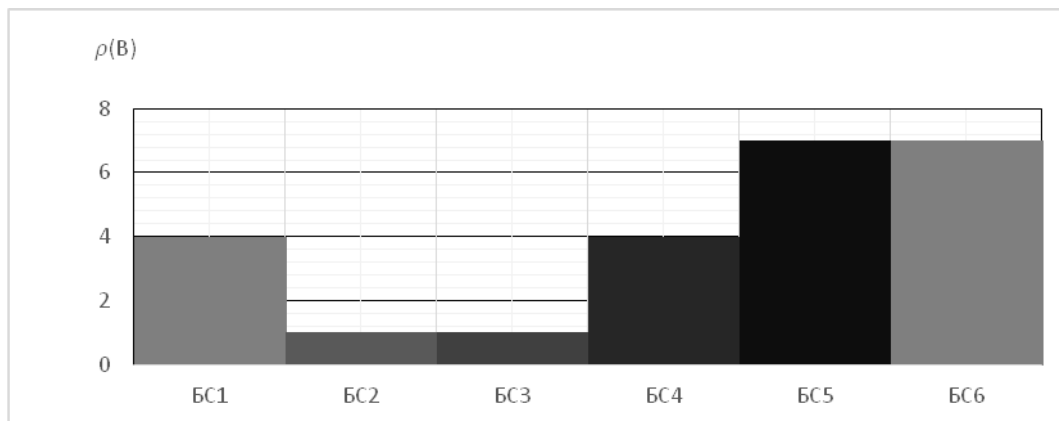


Рис. 3. Співвідношення C/З на вході приймача МС від шести сусідніх (BC₁...BC₆)

При цьому C/З на вході приймача МС абонента в точці В від шести сусідніх BC можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 10,198.$$

Отже, для другого варіанту точки В технічні характеристики BC візьмемо з таблиці 3. Тоді, $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_6$ буде мати такий вигляд як і в другому варіанті.

Відстань r від точки В до точки О є однаковими з першим варіантом для точки М.

Відношення C/З на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх BC можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{135700 \cdot (0,577)^{-4}}{181800 \cdot (1,155)^{-4} + 207800 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 195100 \cdot (1,155)^{-4} + 333600 \cdot (1,528)^{-4} + 424200 \cdot (1,528)^{-4}} = 7,44.$$

Для третього варіанту точки В дані беремо з таблиці 4.

Відношення C/З на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх BC можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})}}{424200 \cdot (0,577)^{-4}} =$$

$$= \frac{424200 \cdot (0,577)^{-4}}{366900 \cdot (1,155)^{-4} + 195100 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 207800 \cdot (1,155)^{-4} + 181800 \cdot (1,528)^{-4} + 135700 \cdot (1,528)^{-4}} = 21,18.$$

Висновки

1. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції в точках М та В вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення МС у стільнику.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад функція $\rho^2(x_M)$ зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота БС₀ ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх БС.

3. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до БС₀, БС₁...БС₆ та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до БС₀, тим краще співвідношення сигнал/завада.

Так, для першого варіанту (МС знаходиться в точці М) $\rho^2(x_M) = 13,66$, а для точки В, $\rho^2(x_M) = 10,198$.

4. Співвідношення С/З на вході приймача МС для другого варіанту (МС знаходиться в точці М) $\rho^2(x_M) = 4,319$, а для третього варіанту $\rho^2(x_M) = 10,198$. Збільшення потужності передавача БС₀ по відношенню до потужностей передавачів БС₁...БС₆ покращує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС₀, але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках БС₁...БС₆. Зменшення потужності передавача БС₀ по відношенню до потужностей передавачів БС₁...БС₆ погіршує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС₀ і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику БС₀.

5. Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

Література

1. Сукачов Е.А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посібник / Е.А. Сукачов. – [3-е вид, випр. і доп.]. – Одеса : ОНАЗ ім. А. С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Маковєєва М.М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами : навч. посібник для вузів / М.М. Маковєєва, Ю.С. Шінаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Смирнов Н.І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н.І. Смирнов, Ю.А. Караваєв, В.А. Сівов // Електросвязь. – 2001. – № 10. – С. 30–33.
4. Поспелова А.О. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Розвиток методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами / Поспелова А.О. – Редакційно-видавничий центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – 20 с.

References

1. Sukachov E.A. Stilnykovi merezhi radiozviazku z rukhomymy ob'ektamy : navch. posibnyk / E.A. Sukachov. – [3-e vyd, vypr. i dop.]. – Odesa : ONAZ im. A. S. Popova, 2013. – 256 s.
2. Makovieieva M.M. Systemy zviazku z rukhomymy ob'ektamy : navch. posibnyk dlia vuziv / M.M. Makovieieva, Yu.S. Shinakov. – M. : Radyo y sviaz, 2002. – 440 s.
3. Smyrnov N.I. Otsinka propusknoi spromozhnosti bazovykh stantsii system MDKR pry zmini shchilnosti yikh roztashuvannia / N.I. Smyrnov, Yu.A. Karavaiev, V.A. Sivov // Elektrosviaz. – 2001. – № 10. – S. 30–33.
4. Pospelova A.O. Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. Rozvytok metodiv pidvyshchennia efektyvnosti stilnykovykh system radiozviazku z rukhomymy ob'ektamy / Pospelova A.O. – Redaktsiino-vydavnychyi tsentr ONAZ im. O.S. Popova, 2017. – 20 s.

Надійшла/Paper received : 11.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.