

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ПІД ЧАС РУХУ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ПОТУЖНОСТЯХ ТА ВИСОТАХ АНТЕН БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА

Стаття присвячена дослідженню впливу зменшення внутрішньосистемних завад, які виникають внаслідок стільникової структури організації зони обслуговування, яка передбачає багаторазове використання одних і тих же частот. Для забезпечення високої завадостійкості мереж мобільного зв'язку необхідно за можливістю задавати технічні характеристики всіх базових станцій однаковими. Якщо виконати ці вимоги неможливо за різних умов забудови міста, тоді необхідно зменшувати розміри стільників тих базових станцій, у яких співвідношення сигнал/завада є найгіршими для підвищення їх завадостійкості. Наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/завада.

Ключові слова: рухомий зв'язок, плоский регулярний гексагональний стільник, мобільна станція, базова станція, співвідношення сигнал/завада.

V.I. LUZHANSKY, D.A. MAKARYSHKIN, M.U. NARKEYVICH
Khmelnitskyi National University

INVESTIGATION OF INFLUENCE ON THE MOBILE STATION MOVEMENT IN DIFFERENT POWERS AND EXTENSIONS OF THE ANTEN IN CONDITIONS OF CITY PROTECTION

The application of cellular structures in the deployment of radio communication networks with mobile objects allows you to reuse the same allocated bandwidth to increase the speed of transfer of digital streams of information. Along with the obvious advantage of such an organization of mobile communication there is a very significant drawback, which is expressed in the presence of mutual interference between stations that use the same frequency spectrum. Such obstacles are called internal. The article is devoted to the investigation of the effect of reduction of intra-system noise that arises as a result of the cell structure of the organization of the service area, which involves multiple use of the same frequencies. One of the most important stages in the construction of the model of mobile networks of mobile radio is to determine the nature of the distribution of radio waves in the service area. To ensure high noise immunity of mobile networks, it is necessary to set the technical characteristics of all base stations as much as possible, if possible. If these requirements can not be fulfilled under different building conditions, then it is necessary to reduce the size of the cells of those base stations in which the signal/noise ratio is the worst to increase their noise immunity. The character of the change in the signal / noise ratio at the input of the receiver of the subscriber's mobile station at the selected points significantly depends on the number of base stations and their characteristics that create a barrier. At the same time, the coordinates of the placement of the mobile station play an important role. Calculation formulas are given to determine the signal/interference ratio.

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

Вступ

Застосування стільникової структури при розгортанні мереж радіозв'язку з рухомими об'єктами дозволяє багаторазово використовувати одну і ту ж виділену смугу частот для збільшення швидкості передачі цифрових потоків інформації. Поряд з явною перевагою такої організації мобільного зв'язку є досить істотний її недолік, який виражається в наявності взаємних перешкод між станціями, які використовують однаковий частотний спектр. Подібні перешкоди названі внутрішньосистемними.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел (наприклад, [1–5] та ін.) показує недостатню глибину проведених досліджень у цьому напрямку.

Метою роботи є дослідження завадОВОЇ обстановки при різних потужностях та висотах антен базових станцій під час руху мобільної станції в умовах забудови міста.

Результати дослідження. Під час проектування стільникових мереж рухомого радіозв'язку попередньо вибирають радіус R стільника і розмірність K кластера, а потім на карті міста викреслюють плоский регулярний гексагональний стільник, який покриває всю зону обслуговування [1, 4].

Кожна мобільна станція (МС) вільно переміщується по території обслуговування, в результаті чого рівні корисного сигналу і внутрішньосистемних перешкод від базових станцій (БС) на вході приймача абонента безперервно змінюються. Відношення сигнал/завада (S/Z) можна розрахувати, якщо відомі технічні характеристики приймально-передавального обладнання, параметри траси і відстані від МС до передавача «своєї» базової станції BC_0 , а також до джерел перешкод від передавачів $BC_1, BC_2, BC_3, BC_4, BC_5, BC_6$. Завдання стає повністю доцільним, якщо ввести афінну (косокутну) систему координат, яка адекватна для стільникової організації зони обслуговування.

Для дослідження динаміки завадОВОЇ обстановки в конкретному стільнику його центр поєднують з початком косокутної системи координат точкою O таким чином, щоб осі координат Ox і Oy були перпендикулярні до суміжних сторін шестикутника. Кут між осями дорівнює 60° . Топологію мережі, що складається з семи стільників, ілюструє рис. 1.

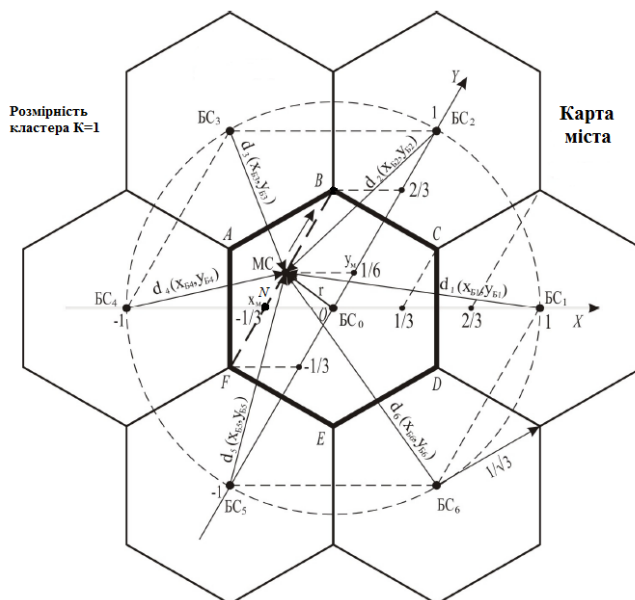


Рис. 1. Траєкторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику

Розмірність кластера $K = 1$, коли кожен кластер складається з одного стільнику, що характерно для технології CDMA. Як одиниця масштабу в косокутній системі координат доцільно прийняти відстань H між центрами сусідніх стільників, рівне $R\sqrt{3}$. Для спрощення обчислень зазвичай вводять нормування, що передбачає ділення всіх відстаней на величину H . В такій нормованій системі координат радіус стільника $R_H = R/(R\sqrt{3}) = 1/3$. Для переходу до звичайних одиниць довжини потрібно буде відносну відстань помножити на $R\sqrt{3}$.

З урахуванням вказаного нормування координати кутових точок центральних стільників можуть бути записані наступним чином:

$$A(-2/3, 1/3), B(-1/3, 2/3), C(1/3, 1/3), \\ D(2/3, -1/3), E(1/3, -2/3), F(-1/3, -1/3).$$

У косокутній системі координат відстань між точками з координатами $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$ визначається за формулою (1):

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

Нехай $\{x_M; y_M\}$ і $\{0; 0\}$ – координати відповідно MC і BC₀. Тоді відстань r між приймачем абонента і передавачем BC₀ в центральному стільнику на підставі формули (1) представляється у вигляді:

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

Крім корисного сигналу від BC₀ на вхід приймача MC надходять перешкоди від передавачів BC₁...BC₆, Розміщених у сусідніх кластерах. Відстань між BC_i, які створюють перешкоди, і приймачем абонента згідно з формулою (1) визначається так:

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

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

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

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

Одним з найбільш відповідальних етапів побудови моделі стільникових мереж рухомого радіозв'язку є визначення характеру поширення радіохвиль в зоні обслуговування. Вона визначається рельєфом місцевості, висотою будівель, густотою забудови міста та іншими факторами. Зазвичай при обчисленнях користуються відомими співвідношеннями для вільного простору або двохвильового поширення радіохвиль.

Потужність сигналу на вході приймача MC можна розрахувати, скориставшись наступним виразом (4):

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

Таблиця 1

Координати БС_i, які створюють завади МС на співпадаючих частотах

Базова станція	K=1		K=3		K=4		K=7	
	X _{Бi}	Y _{Бi}	X _{Бi}	Y _{Бi}	X _{Бi}	Y _{Бi}	X _{Бi}	Y _{Бi}
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

де α_0 – коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик приймально-передаючого обладнання МС і БС₀, $\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$; $P_{перБС_0}$ – потужність на виході передавача БС₀; $G_1 G_2$ – коефіцієнти підсилення антен відповідно БС₀ і МС; r – відстань між МС і БС₀, залежна від координат МС; n – показник ослаблення сигналу, що враховує ослабленість траси.

Показник загасання радіохвиль в (4) набуває таких значень: $n = 2$ – у вільному просторі; $n = 4$ – при поширенні над поверхнею землі (двопроменева модель). Можна показати [4], що в моделі Окамури-Хати для типових значень параметрів мережі цей показник теж близький до $n = 4$. У подальших розрахунках будемо вважати, що умови поширення для сигналів і перешкод однакові і $n = 4$.

По прикладу з формули (4) потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача МС від i -ї БС визначається наступним чином:

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

де α_i – нормуючий коефіцієнт для i -го направлення.

Тоді відношення С/З на вході приймача абонента можна записати як:

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

Підставляємо формули (4) і (5) в (6). Що дає змогу переписати вираз (6) у вигляді:

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

У випадку коли α_0 та α_i – коефіцієнти пропорційності, які залежать від технічних характеристик приймально-передавального 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:

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

В наших розрахунках представимо дві координати знаходження мобільної станції в точках М, В з їх координатами М(-1/3, 1/6) та В(-1/3, 2/3), які представлені на рисунку 1. Також для кожної координати проведемо розрахунки по трьом варіантам. Перший варіант з однаковими технічними характеристиками приймально-передавальних пристроїв, другий варіант представляє центральну БС з найменшою потужністю і найменшою висотою антени, а третій з найбільшою потужністю і найбільшою висотою антени. Всі розрахунки ми будемо проводити для 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	10	6 (3,98 раз)	2 (1,58 раз)	25	1,5

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 10 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (25 \cdot 1,5)^2 = 8843.$$

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

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 1/6 + 1/6^2} = 0,289, \text{ км.}$$

У нашому випадку ми враховуємо завади від всіх шести сусідніх базових станцій, як показано на рисунку 1, а координати базових станцій представлені в таблиці 1 для розмірності кластера K=1.

$$\begin{aligned}
 d_1(M, BC_1) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_1})^2 + (x_M - x_{BC_1}) \cdot (y_M - y_{BC_1}) + (y_M - y_{BC_1})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + (-1/3) - 1 \cdot (1/6 - 0) + (1/6 - 0)^2} = 1,258 \text{ км.} \\
 d_2(M, BC_2) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_2})^2 + (x_M - x_{BC_2}) \cdot (y_M - y_{BC_2}) + (y_M - y_{BC_2})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + (-1/3) - 0 \cdot (1/6 - 1) + (1/6 - 1)^2} = 1,041 \text{ км.} \\
 d_3(M, BC_3) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_3})^2 + (x_M - x_{BC_3}) \cdot (y_M - y_{BC_3}) + (y_M - y_{BC_3})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + (-1/3) - (-1) \cdot (1/6 - 1) + (1/6 - 1)^2} = 0,764 \text{ км.} \\
 d_4(M, BC_4) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_4})^2 + (x_M - x_{BC_4}) \cdot (y_M - y_{BC_4}) + (y_M - y_{BC_4})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + (-1/3) - (-1) \cdot (1/6 - 0) + (1/6 - 0)^2} = 0,764 \text{ км.} \\
 d_5(M, BC_5) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \cdot (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + (-1/3) - 0 \cdot (1/6 - (-1)) + (1/6 - (-1))^2} = 1,041 \text{ км.} \\
 d_6(M, BC_6) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \cdot (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + (-1/3) - 1 \cdot (1/6 - (-1)) + (1/6 - (-1))^2} = 1,258 \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Тоді відношення C/Z на вході приймача абонента в точці M від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_M) &= \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \\
 &= \frac{(0,289)^{-4}}{(1,258)^{-4} + (1,041)^{-4} + (0,764)^{-4} + (0,764)^{-4} + (1,041)^{-4} + (1,258)^{-4}} = 33,838.
 \end{aligned}$$

В точці M співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС дорівнює 33,838, тобто вище чим 6-7 дБ (3,98-5 раз) від мінімальної потреби співвідношення C/Z на вході приймача МС.

Хотілось би зауважити що в наших розрахунках висоти антен базових станцій та їх потужності змінюються в умовах забудови міста, в розрахунку на різні висоти будівель та розміри стільників, які в свою чергу залежать від кількості абонентів в зоні. 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	15	6 (3,98 раз)	2 (1,58 раз)	25	1,5
БС ₁	25			30	
БС ₂	20			35	
БС ₃	20			40	
БС ₄	25			45	
БС ₅	30			50	
БС ₆	35			55	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 15 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (25 \cdot 1,5)^2 = 132600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 3 дані для розрахунку інших коефіцієнтів.

$$\alpha_1 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 25 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,5)^2 = 318400 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,5)^2 = 346600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (40 \cdot 1,5)^2 = 452800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 25 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (45 \cdot 1,5)^2 = 716300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 30 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (50 \cdot 1,5)^2 = 1061000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 35 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (55 \cdot 1,5)^2 = 1498000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Але технічні характеристики у БС у другого варіанту різні, тому розрахунок співвідношення сигнал/завада проводимо в залежності від параметрів технічних характеристик.

В наших розрахунках представимо знаходження мобільної станції в точках М та В з їх координатами М(-1/3, 1/6), В(-1/3, 2/3), які представлені на рисунку 1.

Відстань r від точки М до точки О (центру базової станції), де знаходиться мобільна станція, та відстані від мобільної станції до сусідніх БС, є однаковими з першим варіантом, так як координати МС не змінювалися:

$$r = 0,289 \text{ км}, d_1(M, БС_1) = 1,258 \text{ км}, d_2(M, БС_2) = 1,041 \text{ км}, d_3(M, БС_3) = 0,764 \text{ км}, \\ d_4(M, БС_4) = 0,764 \text{ км}, d_5(M, БС_5) = 1,041 \text{ км}, d_6(M, БС_6) = 1,258 \text{ км}.$$

Тоді відношення С/З на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{БС_i}, y_{БС_i})}}{132600 \cdot (0,289)^{-4}} = \\ = \frac{318400 \cdot (1,258)^{-4} + 346600 \cdot (1,041)^{-4} + 452800 \cdot (0,764)^{-4} + 716300 \cdot (0,764)^{-4} + 1061000 \cdot (1,041)^{-4} + 1498000 \cdot (1,258)^{-4}}{132600 \cdot (0,289)^{-4}} = 14,772$$

В точці М співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС при різних характеристиках БС дорівнює 14,772.

Третій варіант з різними технічними характеристиками БС залежно від забудови міста надано в таблиці 4.

Таблиця 4

Технічні характеристики варіанту 3

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
БС ₀	35	6 (3,98 раз)	2 (1,58 раз)	55	1,5
БС ₁	20			50	
БС ₂	25			45	
БС ₃	30			40	
БС ₄	30			35	
БС ₅	25			30	
БС ₆	30			25	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 35 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (55 \cdot 1,5)^2 = 1498000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 3 дані для розрахунку коефіцієнтів $\alpha_1 \dots \alpha_6$:

$$\alpha_1 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (50 \cdot 1,5)^2 = 707400 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 25 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (45 \cdot 1,5)^2 = 716300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 30 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (40 \cdot 1,5)^2 = 679100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 30 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,5)^2 = 520000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 25 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,5)^2 = 318400 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 30 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (25 \cdot 1,5)^2 = 265300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Технічні характеристики у БС третього варіанту різні, тому ми їх розраховуємо і в співвідношення сигнал/завада обов'язково включаємо, щоб дослідити залежність параметрів технічних характеристик, коли потужність та висота центральної БС найбільші.

Відстань r від точки М до точки О, центру базової станції де знаходиться мобільна станція, та відстані від мобільної станції до сусідніх БС однакові, тому результати візьмемо з варіанту 1:

$$r = 0,289 \text{ км}, d_1(M, БС_1) = 1,258 \text{ км}, d_2(M, БС_2) = 1,041 \text{ км}, d_3(M, БС_3) = 0,764 \text{ км}, d_4(M, БС_4) = 0,764 \text{ км}, \\ d_5(M, БС_5) = 1,041 \text{ км}, d_6(M, БС_6) = 1,258 \text{ км}.$$

Тоді відношення С/З на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}}{1498000 \cdot (0,289)^{-4}} =$$

$$= \frac{707400 \cdot (1,258)^{-4} + 716300 \cdot (1,041)^{-4} + 679100 \cdot (0,764)^{-4} + 520000 \cdot (0,764)^{-4} + 318400 \cdot (1,041)^{-4} + 265300 \cdot (1,258)^{-4}}{1498000 \cdot (0,289)^{-4}} = 52,801$$

В точці М співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС при різних характеристиках БС, коли потужність найбільша і антена найвища БС₀ дорівнює 52,801.

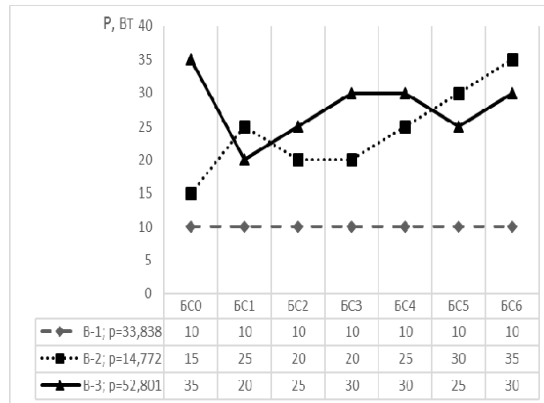


Рис. 2. Залежність потужностей базових станцій та співвідношення сигнал/завада для трьох варіантів точки М

На рис. 2 описується залежність впливу потужностей базових станцій на співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС (для точки М), що дає змогу наглядно побачити, що чим більша потужність сигналу сусідніх БС тим гірше співвідношення сигнал/завада, і навпаки, коли потужність БС₀ = 35 Вт, а всіх інших БС нижча, то співвідношення с/з в кілька перевищує мінімум для технології CDMA.

Розрахуємо відстань r від точки В $(-1/3; 2/3)$ до точки О $(0; 0)$, центру базової станції, де знаходиться мобільна станція у самій віддаленій точці.

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

У нашому випадку ми враховуємо завади від всіх шести сусідніх базових станцій, як показано на рисунку 1, а координати базових станцій представлені в таблиці 1, для розмірності кластера $K=1$.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тоді відношення С/З на вході приймача абонента в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_B)}{d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})}}{1498000 \cdot (0,289)^{-4}} =$$

$$= \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 10,198.$$

Для другого варіанту точки В технічні характеристики БС візьмемо з таблиці 3.

Тоді $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_6$ буде мати такий вигляд як і в другому варіанті для точки М:

Відстань r від точки В до точки О є однаковими з першим варіантом для точки М, тому в подальших розрахунках будемо використовуватимемо вже готові результати:

$$r = 0,577 \text{ км}, \quad d_1(B, BC_1) = 1,155 \text{ км}, \quad d_2(B, BC_2) = 0,577 \text{ км}, \quad d_3(B, BC_3) = 0,577 \text{ км}, \quad d_4(B, BC_4) = 1,155 \text{ км}, \\ d_5(B, BC_5) = 1,528 \text{ км}, \quad d_6(B, BC_6) = 1,528 \text{ км}.$$

Тоді відношення $C/3$ на вході приймача абонента в точці В від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками, можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})}}{132600 \cdot (0,577)^{-4}} = \\ = \frac{318400 \cdot (1,155)^{-4} + 346600 \cdot (0,577)^{-4} + 452800 \cdot (0,577)^{-4} + 716300 \cdot (1,155)^{-4} + 1061000 \cdot (1,528)^{-4} + 1498000 \cdot (1,528)^{-4}}{132600 \cdot (0,577)^{-4}} = 4,06.$$

В точці В співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС при різних характеристиках БС дорівнює 4,06, тобто є наближене до мінімального порогового рівня потужності на вході приймача МС, що вразі зменшення співвідношення c/z може призвести до зриву зв'язку.

Для третього варіанту точки В дані беремо з таблиці 4.

Також обов'язково включаємо коефіцієнт пропорційності $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_6$, щоб дослідити залежність зміни параметрів технічних характеристик БС:

$$\alpha_0 = 14980000, \quad \alpha_1 = 707400, \quad \alpha_2 = 716300, \quad \alpha_3 = 679100, \quad \alpha_4 = 520000, \quad \alpha_5 = 318400, \quad \alpha_6 = 265300.$$

Відстань r від точки В, де знаходиться мобільна станція, до точки О, центру базової станції, та відстані від мобільної станції до сусідніх БС, результати візьмемо з варіанту 1 для точки В:

$$r = 0,577 \text{ км}, \quad d_1(B, BC_1) = 1,155 \text{ км}, \quad d_2(B, BC_2) = 0,577 \text{ км}, \quad d_3(B, BC_3) = 0,577 \text{ км}, \quad d_4(B, BC_4) = 1,155 \text{ км}, \\ d_5(B, BC_5) = 1,528 \text{ км}, \quad d_6(B, BC_6) = 1,528 \text{ км}.$$

Тоді відношення $C/3$ на вході приймача абонента в точці В від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками, коли БС₀ матиме найбільшу потужність та найбільшу висоту антени, можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})}}{1498000 \cdot (0,577)^{-4}} = \\ = \frac{707400 \cdot (1,155)^{-4} + 716300 \cdot (0,577)^{-4} + 679100 \cdot (0,577)^{-4} + 520000 \cdot (1,155)^{-4} + 318400 \cdot (1,528)^{-4} + 265300 \cdot (1,528)^{-4}}{1498000 \cdot (0,577)^{-4}} = 12,92.$$

В точці В співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС дорівнює 12,92, тобто вище ніж 6-7 дБ (3,98-5 раз), що є мінімальною потребою для необхідного відношення співвідношення c/z на вході приймача МС.

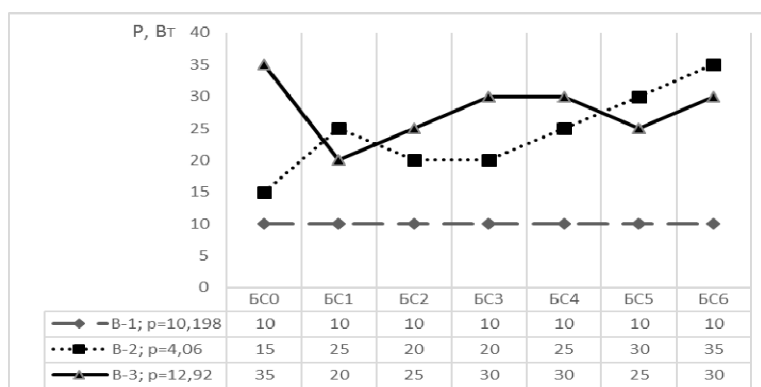


Рис. 3. Залежність потужностей базових станцій та співвідношення сигнал/завада для трьох варіантів точки В

На рис. 3 описується залежність $C/3$ від потужностей базових станцій для точки В, що дає змогу наглядно побачити, що чим більша потужність сигналу сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завада, як у другому варіанті.

Висновки

Підсумовуючи результати дослідження, приходимо до наступних висновків.

1. Характер зміни співвідношення $C/3$ на вході приймача МС абонента при обраних точках М та В

істотно залежить від кількості БС та їх характеристик, які створюють завади. При цьому вагому роль відіграють координати розміщення МС, тобто відстані між МС і БС₀, БС₁, БС₂, БС₃, БС₄, БС₅, БС₆.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад значення функції $\rho^2(x)$ зменшується за рахунок того, що потужність сигналу на вході приймача МС ділиться на суму потужностей передавачів сусідніх БС. При чому чим більше БС, тим співвідношення c/z погіршується.

3. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС за умов, коли технічні характеристики всіх БС (БС₀, ... БС₆) однакові (перший варіант), складає: в точці М значення функції $\rho^2(x_M) = 33,838$ ($r = 0,289 \text{ км}$); в точці В значення функції $\rho^2(x_B) = 10,198$ ($r = 0,577 \text{ км}$).

4. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС істотно змінюється, коли МС знаходиться на різних відстанях від центральної БС₀. Чим ближче МС до БС₀, тим краще співвідношення сигнал/завада. Так, для другого варіанту, коли центральна БС₀ має найменшу потужність (15Вт) і найменшу висоту антени (25м), для точки М значення функції $\rho^2(x_M) = 14,772$ ($r = 0,289 \text{ км}$); для точки В значення функції $\rho^2(x_B) = 4,06$ ($r = 0,577 \text{ км}$).

5. Співвідношення сигнал/завада має максимальні значення на вході приймача МС для третього варіанту, коли центральна БС₀ має найбільшу потужність (35Вт) і найбільшу висоту антени (55 м): для точки М значення функції $\rho^2(x_M) = 52,801$ ($r = 0,289 \text{ км}$); для точки В значення функції $\rho^2(x_B) = 12,92$ ($r = 0,577 \text{ км}$).

6. Для забезпечення високої завадостійкості мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA необхідно по можливості задавати технічні характеристики всіх БС однаковими. Якщо виконати ці вимоги неможливо при різних умовах забудови міста, тоді необхідно зменшувати розміри стільників тих БС, у яких співвідношення c/z є найгіршими для підвищення їх завадостійкості.

Література

1. Пospelova A. O. Розвиток методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами / Пospelova A. O. – 2017. – 20 с.
2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
3. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [2-е изд., испр. и доп.]. – Одесса : УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 119 с.
4. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Ратынский М.В. – М. : Радио и связь, 2000. – 248 с.
5. Системы мобильной связи: учеб. пособ. для вузов / [Ипатов В.П., Орлов В.И., Самойлов И.М. и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.

References

1. Pospelova A. O. Avtoreferat. Rozvytok metodiv pidvyshhennja efektyvnosti stil'nykovykh system radiozv'jazku z ruhomymy ob'ektamy. 2017. – 20 s.
2. Sukachev Je.A. Sotovyete seti radiosvjazi s podvizhnyimi obektami: ucheb. posob. / Sukachev Je.A. – [3-e izd., pererab. i dopoln.]. – Odessa: ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 256 s.
3. Sukachev Je.A. Sotovyete seti radiosvjazi s podvizhnyimi obektami: ucheb. posob. / Sukachev Je.A.: [2-e izd., ispr. i dop.]. – Odessa: UGAS im. A.S. Popova, 2000. – 119 s.
4. Ratynskij M.V. Osnovy sotovoj svjazi / Ratynskij M.V. – M.: Radio i svjaz', 2000. – 248 s.
5. Sistemy mobil'noj svjazi: ucheb. posob. dlja vuzov / [Ipatov V.P., Orlov V.I., Samojlov I.M. i dr.]. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2003. – 272 s.

Рецензія/Peer review : 16.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 03.12.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк