

АНАЛІЗ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ МІСТА ХАРКОВА

Розвиток стільникових систем зв'язку на теренах України забезпечить реалізацію нових принципів установалення зв'язку, котрі можна визначити як установалення зв'язку де завгодно, з ким завгодно, коли завгодно. За основу мобільного стільникового зв'язку в Україні було обрано стандарт NMT-450i, розроблений групою скандинавських країн у 1982 році. Сьогодні базові станції (БС) цього стандарту уведені в дію майже в усіх великих містах та областях країни. Для будівництва стільникових мереж зв'язку (СМЗ) в Україні використовується переважно обладнання фірм "Ханс Дамм" ("Hans Dammm") та "Нокія" ("Nokia") із скандинавських країн. Перша з них є постачальником системи, яка функціонує в місті Харкові. Система має такі основні технічні характеристики:

Клас випромінювання	G3E
Діапазон частот передавання, МГц:	
від БС	463 ... 467,5
від АС	453 ... 457,5
Дуплексне рознесення частот, МГц	10
Ширина смуги пропускання каналу ΔF_k , кГц	25
Максимальна кількість дуплексних розмовних каналів	180
Кількість каналів:	
керування	2
на одну чарунку	9(17)
Вихідна потужність станції, Вт:	
БС	30(12)
АС, не більше	15
Коефіцієнт підсилення антени, дБ:	
БС	10
АС	5
Використання сусідніх каналів у сусідніх чарунках	Передбачене
Частотний параметр	9
Відношення сигнал-шум, дБ, не менше	15
Тривалість перемикання каналу на межі зон суміжних БС, мс	1200

Одна з особливостей СМЗ полягає в тому, що її проектування здійснюється постійно. Зростання абонентської ємності мережі вносить корективи в раніше складені частотний і територіальний плани мережі.

Далі пропонується підхід до складання територіального плану СМЗ, який базується на статистичній моделі поширення радіохвиль. Показується використання ймовірнісних законів розподілу потужностей сигналів і завад, а також параметрів цих законів для складання територіального плану СМЗ й аналізу плану діючої СМЗ на прикладі мережі рухомого стільникового зв'язку міста Харкова.

Аналіз територіального плану СМЗ, яка побудована без використання принципу повторювання частот

Радіус R зони БС визначає в цьому випадку процент точок місцезоташування абонентської станції (АС), в яких ймовірність перевищення корисним сигналом мінімально допустимого рівня сигналу на вході приймача АС дорівнює заданому значенню p_0 . Мінімально допустимий рівень сигналу зумовлюється в загальному випадку еквівалентним рівнем властивого шуму приймача АС, рівнем шуму антени і фідера АС, завад промислового походження, а також рівнем внутрішньосистемних завад. Останні складаються із завад від БС, які повторно використовують ту ж саму частоту, що й дана АС. Розглянемо питання визначення розміру зони БС за умови, що превалюючу дію на вході приймача АС справляє його властивий шум.

Припустимо, що зміни локального середнього значення потужності P сигналу, яке вимірюється в децибелах, на відстані R від БС розподілені за нормальним законом ймовірностей. Обґрунтованість нормальної моделі розподілу рівня сигналу, котрий вимірюється в логарифмічних одиницях, підтверджена результатами багатьох вимірювань, що проводились на лініях рухомого стільникового зв'язку [1].

Для розрахунків параметра нормального закону розподілу ймовірностей — медіанного значення потужності сигналу \bar{P}_m в точці розташування приймача АС — дослідниками було запропоновано ряд емпіричних моделей. Використання деяких із них приписується відповідними рекомендаціями МККР. Визначимо величину \bar{P}_m у відповідності із [2]:

$$\bar{P}_m = P_{\text{БС}} + G_{\text{БС}} - \eta_{\text{БС}} - 69 - 27,7 \lg f_0 + 14 \lg h_{\text{БС}} + (1,1 \lg f_0 - 0,7) h_{\text{АС}} - (45 - 6,5 \lg h_{\text{БС}}) \lg R. \quad (1)$$

Тут P_{BC} — потужність передавача БС, дБ·Вт; G_{BC} — коефіцієнт підсилення антени БС, дБ; η_{BC} — втрати в антенно-фідерному тракті БС, дБ; f_0 — робоча частота системи, МГц; h_{BC}, h_{AC} — висоти антен БС й АС, м.

Медіанне значення потужності \bar{P}'_m сигналу на вході приймача АС, яке забезпечує $p_0 \cdot 100$ - відсоткову ймовірність перевищення порога потужності в часі та за місцезостапуванням АС, відповідно до припущення щодо закону розподілу випадкової величини P визначається із співвідношення

$$\bar{P}'_m = \bar{P}_m + G_{AC} - \eta_{AC} = t_{p_0} \sigma + h_{\text{доп}}^2 + P_{\text{ш.в.}}, \quad (2)$$

де G_{AC} — коефіцієнт підсилення антени АС, дБ; η_{AC} — втрати в антенно-фідерному тракті АС, дБ; t_{p_0} — відсоткова точка нормального закону розподілу ймовірностей; σ — середнє квадратичне відхилення величини P , яке враховує флуктуації P за місцем і в часі, дБ; $h_{\text{доп}}^2$ — допустиме відношення сигнал-шум на вході приймача АС, дБ; $P_{\text{ш.в.}}$ — еквівалентна потужність властивого шуму приймача АС, дБ·Вт.

Порогове значення потужності сигналу зумовлене, як зазначалося вище, рівнем властивого шуму приймача АС у смузі частот його тракту проміжної частоти.

Нижче наведено початкові дані для розрахунку радіуса R , який проводився за формулами (1) і (2). Було прийнято, що потужності всіх передавачів БС P_{BC} однакові і дорівнюють найбільшій потужності передавача БС діючої мережі, яка становить 30 Вт. Інші дані теж однакові для всіх БС і АС відповідно, вони складають, дБ: $G_{BC} = 10$; $\eta_{BC} = 6$; $h_{AC} = 1,5$; $G_{AC} = 5$; $\eta_{AC} = 2$; $\sigma = 7$; $h_{\text{доп}}^2 = 15$. Крім того, прийнято $P_0 = 1\%$. Діючі висоти підвісу антен h_{BC} вказано для всіх одинадцяти БС системи NMT-450і, які розміщено на території міста Харкова.

Результати розрахунку:

$h_{BC}, \text{ м}$	30	35	45	50	51	58	60	60	85	100	120
$R, \text{ км}$	7	7,7	8,9	9,5	9,6	10,4	10,6	10,6	13,2	14,7	16,7

На рис. 1 — 4 відбито залежності радіуса R зони БС від параметрів P_{BC} , p_0 , σ і h_{BC} . Значення σ , які змінюються від 6 до 8 дБ, є типовими для

середніх і великих міст, причому більшому значенню σ відповідають складніші умови поширення сигналу у великих містах [1].

Більш жорсткі вимоги до рівня p_0 призводять (рис. 1) до зменшення можливого R , особливо в діапазоні великих потужностей передавача БС.

Збільшення параметра σ від 6 до 8 дБ (рис. 2) веде до необхідності підвищення $P_{БС}$ у всіх випадках майже на 4,5 дБ · Вт, щоб зберегти ті ж самі розміри зони БС.

Рис. 3 вказує на те, що розмір зони БС більш чутливий до зміни діючої висоти підвісу антени БС, аніж до підвищення потужності передавача БС. Збільшення $h_{БС}$ учетверо, коли $P_{БС}$ становить 15 дБ · Вт, веде до зростання R від 7 до 17 км. Для порівняння відзначимо, що підвищення потужності передавача БС на 6 дБ зумовлює зростання R на 3,5 км для $h_{БС} = 120$ м і менше ніж на 2 км для $h_{БС} = 30$ м.

Із рис. 4 випливає, що для даного R існує значення потужності $P_{БС}$, перевищення якого не призведе до чутливих змін у величині p_0 . Натомість збільшення $P_{БС}$ може стати причиною погіршення електромагнітної обстановки всередині стільникової мережі.

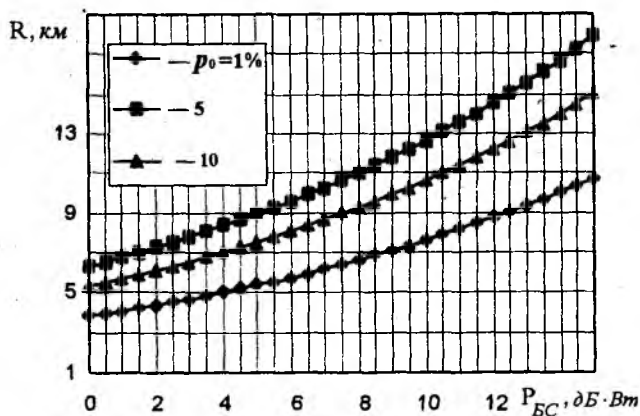


Рис. 1

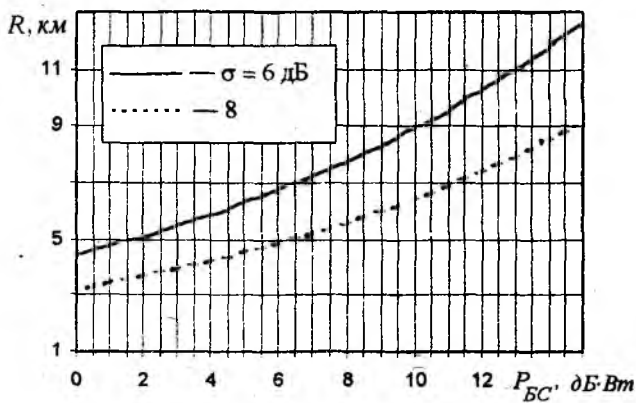


Рис. 2

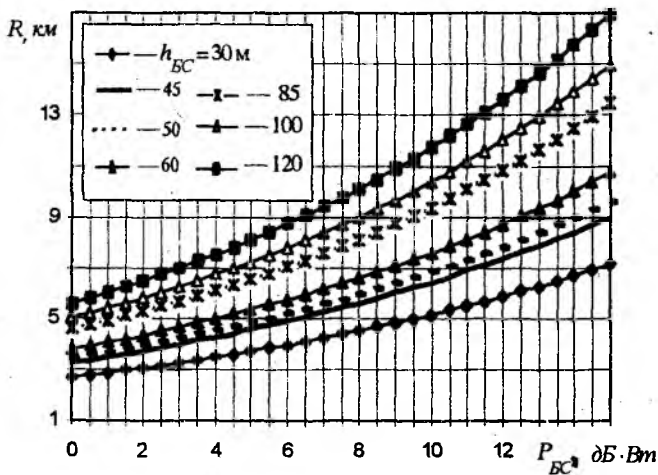


Рис. 3

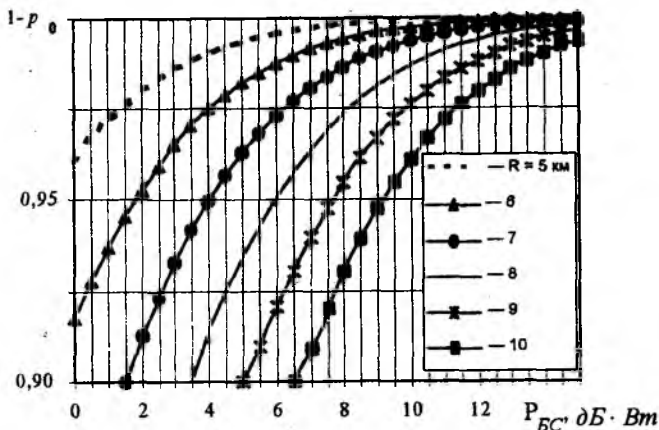


Рис. 4

Розміщення БС у моделі із повторним використанням частот

На рис. 5 показано площинну модель СМЗ міста Харкова з однаковими за розмірами зонами БС у формі шестикутників. На кожній БС використовуються трисекторні антени: цифрою в кожній чарунці позначений номер групи частотних каналів, яка в ній використовується. Моделі груп чарунок, що повторюються, для системи NMT-450i існують тільки для значень частотного параметра 9 або 12. Рис. 5 ілюструє варіант мережі із частотним параметром, що дорівнює 9. Відстань від АС до БС2 і БС3 — джерел завад за основним каналом приймання приймача АС — становить $\sqrt{13}R$. Інша впливаюча станція (БС4) розміщується на відстані $4R$ від приймача АС.

Припустимо, що сума середніх значень потужностей трьох завад (від БС2, БС3 і БС4), яка вимірюється в децибелах, розподілена за нормальним законом розподілу ймовірностей. Параметри нормального закону розподілу — дисперсію σ_{ξ}^2 і медіанне значення m результуючої завади — знайдемо, розглядаючи середнє значення і дисперсію суми трьох зазначених вище випадкових величин, де тепер величини вимірюються не в логарифмічних одиницях, а у ватах. Кожна із трьох останніх випадкових величин розподілена за логарифмічно нормальним законом розподілу ймовірностей із параметрами $\sigma_{\xi_i}^2$ і $\bar{P}_{\xi_{im}}$.

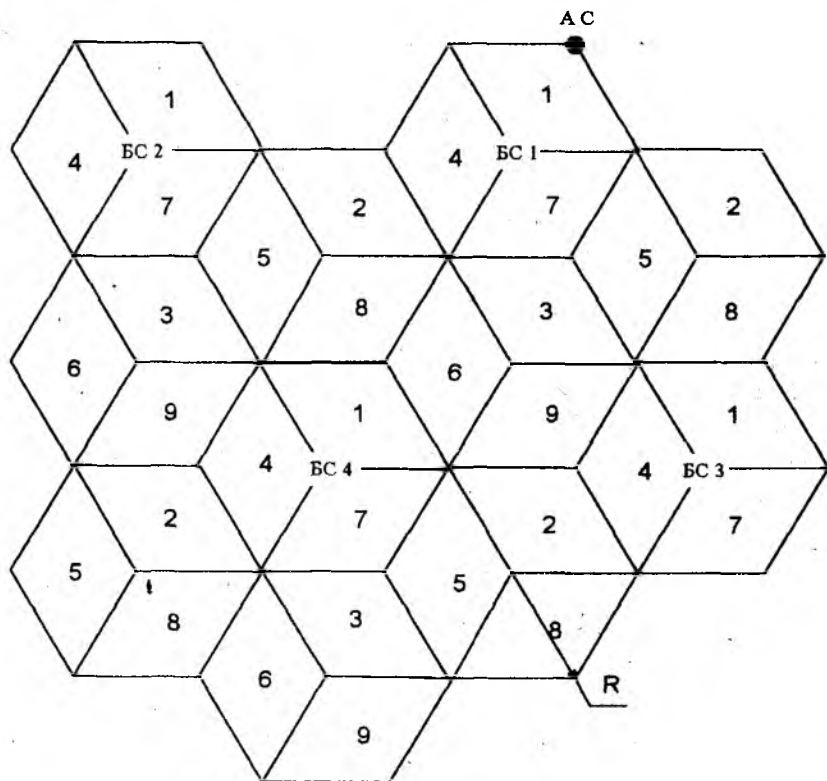


Рис. 5

В остаточному підсумку величини σ_{ξ}^2 і m пов'язані з величинами $\sigma_{\xi_i}^2$ і $\bar{P}_{\xi_{im}}$ таким чином:

$$\sigma_{\xi}^2 = 43,4 \lg \left[1 + \left(\exp \left(0,053 \sigma_{\xi}^2 - 1 \right) \frac{10^{0,2 \bar{P}_{\xi_{im}}^{(4R)}} + 2 \cdot 10^{0,2 \bar{P}_{\xi_{im}}(\sqrt{13R})}}{\left(10^{0,1 \bar{P}_{\xi_{im}}^{(4R)}} + 2 \cdot 10^{0,1 \bar{P}_{\xi_{im}}(\sqrt{13R})} \right)^2} \right) \right]; \quad (3)$$

$$m = 10 \lg \frac{\left(10^{0,2\bar{P}_{\xi_{1m}}(4R)} + 2 \cdot 10^{0,2\bar{P}_{\xi_{1m}}(\sqrt{13}R)} \right) \exp(0,026\sigma_{\xi}^2 l)}{\left(10^{0,1\bar{P}_{\xi_{1m}}(4R)} + 2 \cdot 10^{0,1\bar{P}_{\xi_{1m}}(\sqrt{13}R)} \right)^2}, \quad (4)$$

де $P_{\xi_{2m}}(\sqrt{13} \cdot R) = P_{\xi_{3m}}(\sqrt{13} \cdot R)$; $\sigma_{\xi_1}^2 = \sigma_{\xi_2}^2 = \sigma_{\xi_3}^2 = \sigma_{\xi}^2$;

R — сталий радіус зон усіх БС, правило визначення якого викладене вище.

Припущення щодо закону розподілу ймовірностей потужності результуючої завади дозволяє визначити ймовірність перевищення корисним сигналом мінімального допустимого рівня сигналу на вході приймача АС:

$$P'_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\xi}} \exp\left(-\frac{(um)^2}{2\sigma_{\xi}^2}\right) \left(0,5 - 0,5 \operatorname{erf}\left(\frac{h_{\text{доп}}^2 + \bar{P}_m(R)}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right) du, \quad (5)$$

де $\operatorname{erf}(*)$ — функція помилок.

Мінімальний допустимий рівень сигналу зумовлений тепер рівнем завад від БС мережі, які працюють із спільними розмовними каналами.

Повертаючись до рис. 3, 4, необхідно відзначити, що зменшення, наприклад, потужності передавача або висоти підвісу антени БС4 зумовить зниження ймовірності перевищення порога потужності на вході приймача АС у часі та його місцерозташуванню на відстані R від точки встановлення антени БС4, коли порогове значення потужності визначається за умови превалюючої дії властивого шуму на вході приймача АС.

На рис. 6, 7 показано залежності рівня P'_0 від потужностей передавачів БС2, БС3 і БС4 і висот підвісу антен БС2, БС3 і БС4. Фіксованими величинами на рис. 6, 7 є: $P_{\text{БС1}} = 30$ Вт; $R = 5$ км; $\sigma = 7$ дБ. Висоти підвісу складають 60 та 120 м відповідно. Графічні залежності рис. 6, 7 дозволяють отримати необхідні значення висот підвісу антен БС, якщо відомі потужності передавачів цих станцій. Як впливає із рисунків, збільшення висоти підвісу антени БС1 у 2 рази дозволяє збільшити висоти підвісу антен БС2, БС3 і БС4 у всіх випадках майже на 80 відсотків. Передавач БС4 потужністю 4 дБ · Вт може забезпечити 99-відсоткову ймовірність перевищення порога потужності на вході приймача АС у часі та його місцерозташуванню в точках, які знаходяться на відстані 5 км від точки

встановлення антени БС4, коли висота встановлення цієї антени дорівнює 50 м і порогове значення потужності сигналу визначається рівнем власного шуму приймача АС.

На рис. 8, 9 відбито залежність рівня p'_0 від параметра σ_ξ . Тут $P_{БС1} = 30$ Вт; $P_{БС2-4} = 4$ дБ · Вт; $R = 5$ км. На рис. 8 $h_{БС1} = 120$ м; $h_{БС2-4} = 60$ м, а на рис. 9 $h_{БС1-4} = 60$ м. Середні значення потужностей корисного сигналу і завод у точках розташування АС розподілено за нормальним законом розподілу ймовірностей. Тому необхідне захисне відношення $h_{0з}^2$ медіанного значення потужності корисного сигналу до медіанного значення потужності результуючої завади, яке буде перевищуватися триваліше, аніж, наприклад, за 99,865 відсотка часу й точок місцерозташування АС, становитиме: $h_{0з}^2 \geq 3(\sigma + \sigma_\zeta) + h_{доп}^2$. Для $\sigma_\zeta = 12$ дБ, $\sigma = 6$ дБ і $h_{доп}^2 = 15$ дБ числове значення $h_{0з}^2$ для АС, яка розміщується на межі зони БС, становить 69 дБ. Рис. 8, 9 вказують на те, що величина p'_0 чутлива до змін щільності розподілу ймовірностей середнього значення потужності результуючої завади, якщо мають місце великі відхилення цієї випадкової величини від її медіанного значення.

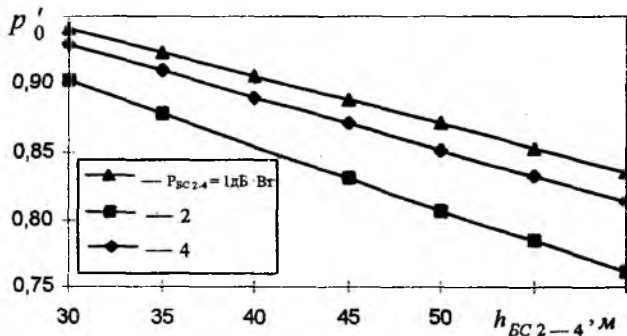


Рис. 6

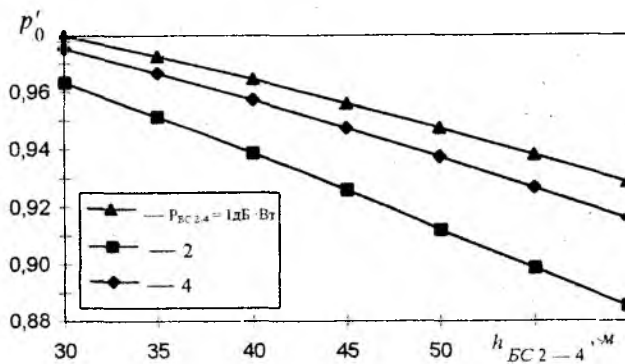


Рис. 7

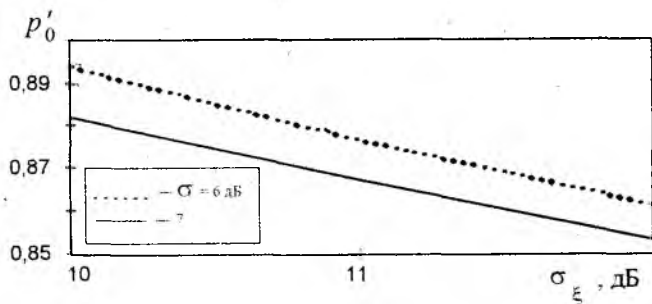


Рис. 8

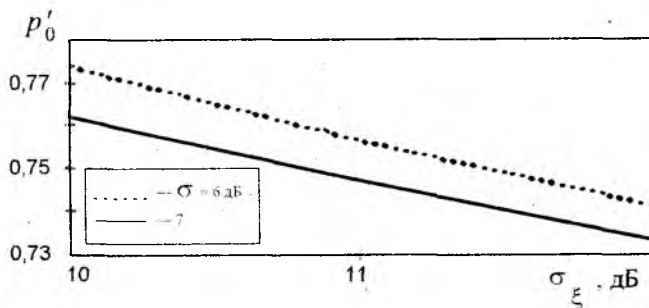


Рис. 9

Таким чином, висока якість обслуговування АС на межі зони БС (однієї чарунки) в умовах дії в каналах зв'язку між БС й АС завмирань і накладень сигналів може бути забезпечена в кожному конкретному випадку правильним вибором потужностей передавачів і висот підвісу антен БС. При цьому в однакових за розмірами зонах БС контури зон будуть визначати різні ймовірності перевищення порогового значення потужності на вході приймача АС у часі і за його місцерозташуванням, якщо врахувати припущення щодо превалюючої дії властивого шуму на вході приймача АС. Результати, які наведено, можуть бути використані для аналізу територіального плану діючої СМЗ, а також для проектування розширення діючої мережі рухомого стільникового зв'язку.

Список літератури: 1. *Сети связи с подвижными объектами в диапазоне СВЧ: Пер. с англ. / Под ред. У.К. Дрейкса. М.: Связь, 1979. 520 с.* 2. *Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radioservices // IEEE Trans. Vehicular Technology. 1980. Vol. 29, N 3. P. 317 — 325.*

*Харківський державний технічний
університет радіоелектроніки*

Надійшла до редколегії 11.01.99