

*В.М. ПОШТАРЕНКО*, канд. техн. наук, НТУ "ХПІ",  
*П.С. МІСЮРА*, НТУ "ХПІ",  
*Д.В. ОМЕЛЬЯНЕНКО*, НТУ "ХПІ",  
*Л.В. ЩЕРБАКОВ*, НТУ "ХПІ"

## **ЗМЕНШЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ МЕРЕЖІ GSM НА ОСНОВІ ЗОН ПЕРЕКРИТТЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

Представлена методика визначення потенційного поліпшення якості зв'язку шляхом зменшення ймовірності блокування, та проведена оцінка її для різних кратностей перекриття і різних варіантів відношення радіусів стільника і зв'язку.

The method of determination of potential improvement of quality is presented by decreasing of such important parameter as probability of blocking, and the estimation of it is conducted for different values of overlapping and different variants of relation of radiuses of cell and connection.

**Постановка проблеми.** Найпоширеніший стандарт мобільного зв'язку GSM об'єднує все більше абонентів, а оператори постійно знижують тарифи, що приводить до збільшення кількості розмов та ускладненню доступу до мережі в місцях великого скупчення людей. Одним з напрямків збільшення ємності стільника є використання в таких місцях перекриття зон радіозв'язку базових станцій, параметри яких будуть обчислені в цій статті.

**Аналіз літератури.** Книга [1] описує загальні поняття та устрій стільникових мереж стандарту GSM, а також, разом із книгою [2], містить опис принципів покриття та частотно-територіального планування мережі. В книзі [3] закладені принципи та описана необхідність перекриття зон радіозв'язку. Стаття [4] містить розрахунок переваг у використанні для обслуговування нових викликів зон перекриття. Книга [5] присвячена переносу класичної теорії телетрафіку до сучасних умов телекомунікації. В статті [6] приведені формули, необхідні для розрахунку відносних площ перекриття різної кратності до загальної площі стільника. [7] це стандарт європейської асоціації ETSI, що описує параметри радіозв'язку у стандарті GSM. Стаття [8] представляє новітні досягнення в архітектурі базових станцій стандарту GSM.

**Мета статті** – покращити ефективність роботи мереж GSM за допомогою зменшення кількості відмов в обслуговуванні при спробі нового виклику або хендовері, використовуючи зони перекриття радіозв'язку.

**Загальні принципи радіопокриття статистичним методом.** Кількість допустимих каналів, віднесених до одиниці площі ( $N/S$ ), може бути збільшено при одночасному використанні одних і тих же каналів в межах невеликих стільників, розташованих в заданій зоні обслуговування, і за умови того, що достатньо їх просторового рознесення, щоб уникнути значних міжканальних

завад [1]. Розглянемо покриття статистичним методом. Маємо два стільники  $A$  і  $B$  (рис. 1) з базовими станціями  $BTS_A$  та  $BTS_B$ , розташованими в центрах стільників, що є колами з радіусами  $R_A$  і  $R_B$  і рівними максимальному радіусу стільника  $R_{max}$ . Центри стільників  $A$  і  $B$  знаходяться на відстані  $D$ , при цьому між цими стільниками знаходяться інші стільники, робочі радіочастоти в яких відрізняються від робочої частоти стільників  $A$  і  $B$ :  $f_a = f_b \neq f_c$ . Хай  $BTS$  мають всенаправлені антени (що працюють в режимі прийому і передачі), для яких коефіцієнт посилення  $G = 0$  дБ. Хай середня потужність радіосигналу, що приймається на межі стільника (тобто в точках  $X$  та  $Y$ ) від  $BTS$ , змінюється згідно із законом  $-1/R^n$  (де  $R$  – відстань від  $BTS$  до  $MS$ ), а величина коефіцієнту  $n$  – характеризує закон зміни густини потоку потужності з відстанню залежно від умов розповсюдження: для однопроменевої моделі розповсюдження у вільному просторі  $n = 2$ ; для багатопробевої моделі розповсюдження в міських умовах (щільна забудова, висота антени  $h_1 \leq 100$  м)  $n \approx 4$ ; для багатопробевої моделі розповсюдження в умовах передмістя, лісових масивів, величина  $n$  зазвичай лежить в межах  $3 < n < 4$ .

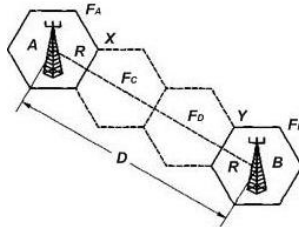


Рис. 1. Приклад радіопокриття зони обслуговування

1. Якщо точка знаходиться на лінії, що сполучає точки  $A$  і  $B$ , то середня потужність радіосигналу, що приймається в точці  $X$  від  $BTS_A$ :  $P_X^A \approx 1/R^n$ , від  $BTS_B$ :  $P_X^B \approx 1/(D - R)^n$ . Реально величина потужності сигналу, що приймається  $MS$  у точці  $X$  для системи базових станцій буде випадковим процесом, що містить швидко мінливу складову (розподілену по релеєвському закону) і повільно мінливу складову. Показані на рис. 1 базові станції  $BTS_A$  та  $BTS_B$  ведуть передачу на одних і тих же частотах  $f_a = f_b$ . В цьому випадку відношення середнього рівня сигналу до середнього рівня завад запишеться у вигляді:

$$\left\langle \frac{S}{I} \right\rangle = \left( \frac{D - R}{R} \right)^n, \quad (1)$$

зважаючи на те, що завмирання сигналу можуть відбуватися як згідно із законом Релея, так і по логарифмічно нормальному закону, а також враховуючи різні методи рознесення, що поліпшують умови прийому.

2. У разі кластерної структури стільникової мережі за умови статистично незалежних сигналів, що приймаються, в точці  $X$  від всіх стільників, з рівними

по частоті сигналами  $f_a = f_b = f_i$ , відношення сигнал/завада запишеться у вигляді:

$$\left( \frac{\langle S \rangle}{I} \right) = \left( R^n \cdot \sum \frac{1}{R_i^n} \right), \quad (2)$$

де сумування йде в межах від  $i = 1$  до  $M$ , а величина  $M$  – загальне число *BTS* у зоні обслуговування,  $R_i$  – відстань від точки прийому  $X$  до  $i$ -тої базової станції  $BTS_M$ . Слід зазначити, що вираз (2) справедливий за умови, що потужність сигналу, що випромінюється  $BTS_A$ , достатня для забезпечення відповідного відношення сигнал/завада на відстані  $R$  і більше, ніж від базової станції  $BTS_B$ , тобто в стільниковій системі є обмеження по рівню взаємних завад, а не по потужності сигналу і теплового шуму [2].

**Розробка методики визначення зон перекриття в залежності від відношення сигнал/завада.** У мережах стільникового рухомого зв'язку для забезпечення процедури хендверу і підвищення якості обслуговування покриття території планується з перекриттям зон радіозв'язку сусідніх стільників. У системах GSM радіус зони радіозв'язку зазвичай не перевищує 1,3 радіусу стільника, в системах CDMA він може досягати 1,9 радіусу стільника. Таким чином, абоненти, що знаходяться в зоні перекриття, можуть бути обслужені будь-якою доступною базовою станцією (БС) [3]. Проте є адаптивний алгоритм доступу, що використовує властивості зон перекриття і заснований на виборі в них найменш завантаженої БС для обслуговування нових викликів [4]. Цей же адаптивний алгоритм можна застосувати і для обслуговування хендвер-викликів. Розглянемо кластер регулярної стільникової структури, що складається з однакових стільників радіусу  $r$ , радіус зони радіозв'язку кожної БС кластера –  $R$ . Нехай  $K$  – максимально можлива кратність перекриття в кластері. Геометричні розрахунки показують, що суцільне покриття території забезпечується при  $r/R = \sqrt{3}/2$ . Зони двократного перекриття утворюються при  $\sqrt{3}/2 \leq r/R \leq 1$ , триразове перекриття виникає при  $1/\sqrt{3} \leq r/R \leq \sqrt{3}/2$ , чотирикратне при  $r/R < 1/\sqrt{3}$ . При суцільному покритті для стандартів GSM і CDMA  $K$  може змінюватися від 2 до 4. Відмітимо, що при  $K = 2$  і  $K = 3$  необхідно розглядати кластер, що складається з 7 стільників (рис. 2), а при  $K = 4$  – фрагмент з 13 стільників. Основними параметрами, що характеризують продуктивність мобільної системи рухомого зв'язку (МСПЗ), є ймовірність блокувань для нових і хендвер викликів. Для повнодоступної схеми, коли всі розмовні канали доступні будь-якому типу викликів і немає пріоритету для обслуговування хендвер-викликів, ці блокування співпадають. При класичному підході до моделювання функціонування стільнику (без використання зон перекриття) ймовірність блокування викликів відповідає ймовірності заняття всіх каналів [5].

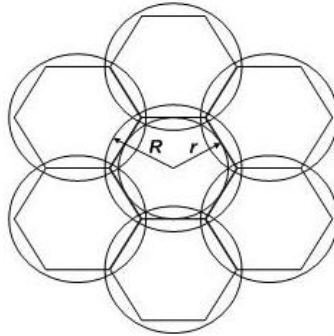


Рис. 2. Зони трикратного перекриття в семиелементному кластері

При урахуванні властивостей зон перекриття заняття всіх каналів у стільнику не означає блокування всіх викликів, що виникають на його території, або що приходять в неї з сусідніх стільників. Не зможуть бути обслужені лише ті з них, що поступають із зони одноразового перекриття. Решта викликів може бути передана на обслуговування в інші доступні стільники. Виклики із зони  $k$ -кратного перекриття будуть заблоковані лише тоді, коли всі канали обслуговування всіх  $k$  доступних БС будуть зайняті, тобто ймовірність  $\pi_k$  блокування заявок в зоні  $k$ -кратного перекриття може бути обчислена за формулою:

$$\pi_k = P^k(c), \quad k = \overline{1, K}. \quad (3)$$

Загальну ймовірність  $\pi$  блокування викликів в стільнику можна отримати як зважену суму ймовірностей блокувань в окремих зонах перекриття стільника, вагові коефіцієнти відповідають відношенням площ  $S_k^c$  перекриттів, що знаходяться в стільнику, до площі  $S_c$  стільника. Площа стільника:

$$S_c = 2\sqrt{3}r^2, \quad (4)$$

площа зони  $k$ -кратного перекриття, що знаходиться на території стільника:

$$S_k^c = S_k / k, \quad (5)$$

за умови  $k = \overline{1, K}$ , де площі  $S_k$  можуть бути обчисленими за формулами, що вказані в [6]. Таким чином, загальна ймовірність блокування викликів у стільнику:

$$\pi = \sum_{k=1}^k \frac{S_k^c}{S_c} \pi_k. \quad (6)$$

Для визначення потенційного поліпшення якості шляхом зменшення такого важливого параметра як ймовірність блокування (тобто відсоток відмови системи) оцінимо її для різних кратностей перекриття і різних варіантів відношення радіусів стільника до радіусу зв'язку. Результати

розрахунку нормуємо до ймовірності блокування ізольованим стільником зменшення відмов в обслуговуванні  $n$  в разях приведемо на рис. 3

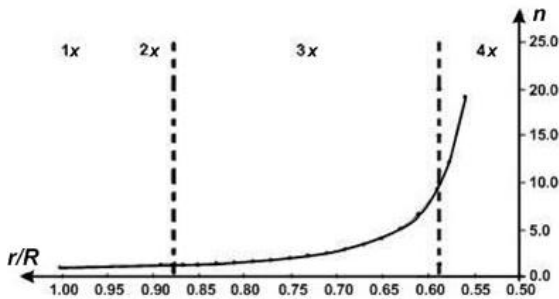


Рис. 3. Нормоване зменшення ймовірності блокування при використанні зон перекриття

Нескінченно збільшувати радіус радіозв'язку не можна, оскільки із збільшенням потужності сигналу збільшується і споживання електроенергії, вплив електромагнітного випромінювання на організм людини, погіршуються електромагнітна сумісність з іншими випромінюючими об'єктами, посилюється дія співканальних завад і теплових шумів, тобто загальна заводова обстановка погіршується. При великому видаленні БС від МС і використанні стандартних приймачів (з боку мережі) і стандартних передавачів (з боку абонента) зв'язок "вгору" може бути зовсім відсутнім, тому необхідно знайти оптимальне співвідношення між кратністю радіусів зв'язку і стільника та збільшенням рівня завад.

**Обчислення співвідношення сигнал/завада.** Оскільки область застосування зон перекриття – центри великих міст, транспортні розв'язки і спальні райони (тобто місця, де в години найбільшого навантаження в певних стільниках може не вистачати ємності), то величина коефіцієнта  $n$  буде більше 3 (передмістя) і досягати 4 (щільна забудова). Проведемо розрахунок відношення  $S/I$  для семистільникового кластера враховуючи співканальні завади від 6 однойменних БС сусідніх кластерів, оскільки інші роблять дуже незначний вплив. Результати розрахунків для місцевості з щільною забудовою ( $n = 4$ ) і для  $n = 3, n = 3,5$  приведені на графіку (рис. 4). Таким чином можна сказати, що при використанні в центрах великих міст і інших густонаселених районах з щільною забудовою (при значенні ступінного коефіцієнту  $n = 3,5 \div 4$ ) забезпечується відношення потужності корисного сигналу до потужності співканальних завад на рівні  $18 \div 28$  (для  $n = 3,5$ ) та  $32 \div 61$  (для  $n = 4$ ), що є допустимим для стандарту GSM. При показнику  $n = 3$ , тобто в передмістях і лісистій місцевості співвідношення сигнал шум не задовольняють специфікації стандарту, але доцільність застосування в такій місцевості семистільникових кластерів і використання зон перекриття невелика, тому з високою часткою достовірності ми можемо нехтувати цим фактом.

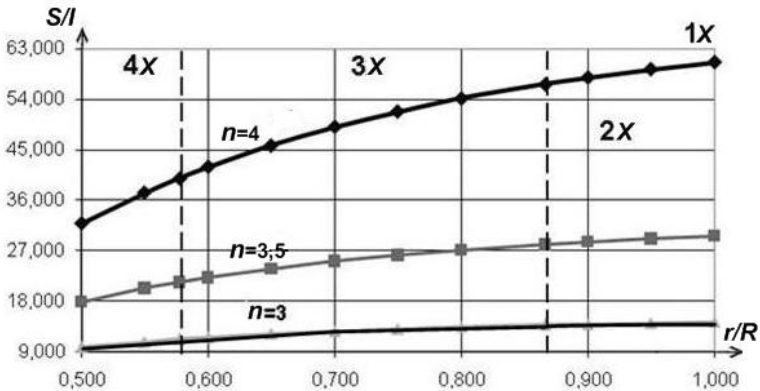


Рис. 4. Співвідношення сигнал/завада для  $n = 3; 3,5; 4$

З урахуванням швидкості збільшення "ємності" (рис. 3) і швидкості погіршення співвідношення сигнал завада (рис. 4), оптимально використовувати зони триразового перекриття із співвідношенням радіусів стільника і зв'язку  $r/R = 0.65 \div 0.70$  при якому забезпечується три-, чотирикратний вигреш в "ємності" і відношення сигнал/завада 16,5 ÷ 17 дБ, що відповідає вимогам ETSI [7]. У місцях, де не дуже критичне збільшення "ємності" можна використовувати зони триразового перекриття із співвідношенням радіусів стільника і зв'язку  $r/R = 0.75 \div 0.80$ , при якому забезпечується півтора-, двократний вигреш в "ємності" і відношення сигнал/завада 17,5 ÷ 17,8 дБ.

**Висновки.** Запропоновано використовувати для зменшення ймовірності відмови мережі при спробі виклику або хендоверу зони перекриття радіозв'язку з конкретними параметрами, що дозволяє проводити покращення якості роботи мереж GSM без значних капіталовкладень та використовувати в повній мірі потенціал сучасних базових станцій [8].

**Список літератури:** 1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-трендз, 2005. – 292 с. 2. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 224 с. 3. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с. 4. Косинов М.И., Ширин О.А. Повышение емкости сотовой системы связи при использовании зон перекрытия // Электросвязь. – 2003. – № 3. 5. Щербіна Л.П., Біленко А.І., Кучеренко А.Г. Розрахунок параметрів систем телекомунікації методами теорії телетрафіку. – К.: Інститут змісту і методів навчання; Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т", 1996. – 148 с. 6. Башарин Г.П., Серебренникова Н.В. Анализ производительности фрагмента сотовой сети с учетом перекрытия зон радиосвязи // Электросвязь. – 2006. – №7. 7. Radio Transmission and Reception. ETSI/TC GSM, GSM 03.05. – Ver. 3.13. GSM Recommendation: 05.05, March 91. 8. Абрамов А.А. и др. Особенности решений GSM для новых рынков // Вестник связи. – 2005. – № 2.

Поступила в редакцию 29.10.2007