

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ АНТЕНИ НА ЯКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM

Проводиться аналіз побудови та функціонування мобільної системи зв'язку цифрового стандарту GSM, наведено методику розрахунку показників якості каналу зв'язку (рівень перешкод за сусідніми частотними каналами та ймовірність помилки на один біт), яка враховує побічні випромінювання в мобільній системі стандарту GSM. Показано можливість підвищення співвідношення сигнал/перешкода за рахунок застосування секторних антен.

Постановка проблеми. Основним стандартом мобільної системи зв'язку на сьогоднішній день є цифровий стандарт GSM [1–4], у якому для прийому–передачі відведена смуга частот шириною 25 МГц, у якій розміщується 124 канали зв'язку. Рознесення частот між сусідніми каналами зв'язку становить 200 кГц. Використання додатково часового ущільнення дозволяє на одній несучій частоті розмістити 8 мовних каналів одночасно. Для модуляції радіосигналу використовується спектрально-ефективна гауссівська частотна маніпуляція з мінімальним частотним зсувом – GMSK. При цьому послідовність інформаційних бітів до модулятора проходить через фільтр нижніх частот (ФНЧ) з гауссівською амплітудно-частотною характеристикою, що зумовлює значне зменшення ширини смуги частот сигналу, який випромінюється. Попередня гауссівська фільтрація дозволяє значно збільшити швидкість спадання спектра GMSK сигналу порівняно з сигналами MSK (мінімальна частотна маніпуляція). Смуга частот спектра сигналу GMSK залежить від значення добутку ширини смуги ФНЧ B і тривалості одного біта T [5]. У разі $BT = \infty$, характеристики GMSK та MSK сигналів збігаються. Зменшення значення BT призводить не тільки до більш компактного спектра, але й до збільшення рівня міжсимвольної інтерференції, що може погіршити якість передачі цифрової інформації через наявність додаткових каналів прийому як від базових станцій, що працюють на збіжних частотах, так і від базових станцій, що працюють на сусідніх частотних каналах. Одним із шляхів зменшення впливу цих перешкод є застосування секторних антен.

Виходячи з цього, **метою статі** є оцінка впливу діаграми спрямованості антени на якість передачі інформації в мобільній системі стандарту GSM з урахуванням побічних випромінювань, інтерференційних складових на сусідніх частотних каналах (на збіжних частотах) під час розрахунку показників якості каналу зв'язку [6].

Огляд останніх досліджень і публікацій. Робота мобільного зв'язку забезпечується розвинутою мережею базових станцій, які передають інформацію на комутаційні центри за допомогою радіочастотних сигналів. Для підвищення якості мобільного зв'язку оператори збільшують кількість базових станцій та здійснюють їх постійне переоснащення відповідно до найновітніших технологічних розробок галузі [7]. З цієї

метою розробляється частотно-територіальний план (ЧТП). Під час проектування системи виконується прив'язка системи вибраного стандарту до реальної території. Для цього необхідно: визначити допустиму кількість мовних каналів у стільнику; забезпечити трафік відповідно до демографічної ситуації на території; встановити кількість стільників і їх межі; розрахувати потужність передавача базової станції (БС) тощо [8].

Аналіз стану проблеми частотно-територіального планування мережі рухомого і фіксованого радіозв'язку показує, що для її вирішення не існує строго формалізованих алгоритмів, а вхідні дані часто виявляються недостатніми і неточними, це дозволяє зробити висновок про те, що найбільш конструктивним підходом до вирішення даного складного завдання є декомпозиція всієї процедури планування на ряд етапів.

Крім того, дану проблему можна вирішити за рахунок оптимізації місць розташування БС, потужності передавачів, висот антен та їх типів (ненаправлені або з направленням за секторами) і розподілу частот між БС [9].

При розробці методики покращення якості зв'язку дуже важливо врахувати умови поширення радіохвиль. Для організації мережі стільникового зв'язку, а саме визначення оптимального місця розташування і кількості БС, а також для вирішення інших завдань необхідно вміти розрахувати характеристики сигналу в будь-якій точці простору в межах всієї зони обслуговування. Міське середовище утворює специфічні умови для поширення радіохвиль. Тіньові зони, багаторазове відбиття і розсіювання хвиль формують багатопроменеві поля зі складною інтерференційною структурою і різкими просторовими змінами рівня сигналу. Багатопроменевий характер поширення радіохвиль, коли в точку прийому надходять хвилі з різних напрямків і з різними часовими затримками, породжує явище міжсимвольної інтерференції в разі передачі кодових послідовностей. Спотворення сигналу, обумовлені міжсимвольною інтерференцією, можуть викликати серйозні погіршення характеристик системи та якості високошвидкісної передачі цифрової інформації, якщо тривалість затримки перевищує тривалість символу [10].

Модель поширення радіохвиль у вільному просторі широко застосовується під час аналізу умов поширення радіохвиль у різних системах зв'язку. Вона передбачає відсутність відбиття радіохвиль від будь-яких поверхонь. Середовище поширення в межах радіотраси вважається однорідним. Не враховується дифракція хвиль на перешкодах, розсіювання, рефракція й інші явища, що супроводжують процес поширення радіохвиль [10]. Втрати у вільному просторі в даній методиці враховуються.

Наступним кроком, після розробки частотно-територіального плану, є розрахунок співвідношення сигнал/шум на вході приймача мобільної станції (МС).

Чутливість приймача характеризується його можливістю приймати слабкі радіосигнали. Для оцінювання чутливості використовують мінімально допустиме значення напруженості поля радіосигналу в антені або потужності радіосигналу на вході приймача.

Формулювання завдання дослідження. Виходячи з цього, наукове завдання полягає в оцінюванні впливу направлених властивостей антен БС на рівень потужності перешкод у мобільній системі стандарту GSM, на якість передачі інформації з використанням методики розрахунку рівня потужності корисного сигналу, потужності шуму та взаємних перешкод на збіжних частотах та перешкод від сусідніх частотних

каналів на вході МС [6]. При цьому розраховуються показники якості каналу зв'язку: рівень перешкод за сусідніми частотними каналами та ймовірність помилки на один біт.

Виклад основного матеріалу. Мінімумально допустиме значення потужності радіосигналу на вході приймача можна розрахувати, як [10]

$$P_c = \frac{P_{BC} G_{PP} G_{BC} \lambda^2}{(4\pi R)^2}, \quad (1)$$

де P_c – потужність приймального сигналу;

P_{BC} – потужність передавача БС;

G_{PP} і G_{BC} – коефіцієнти підсилення приймальної антени МС і передавальної антени БС відповідно;

R – відстань від передавальної до приймальної антен.

Рівень потужності корисного сигналу в децибелах визначається за формулою

$$p_c = 10 \lg P_c.$$

На вході приймача МС діють власні теплові шуми і зовнішні перешкоди, які поділяються на індустриальні й шуми випромінювання. Вважають, що такі зовнішні перешкоди в межах шумової смуги приймача мають рівномірний спектр і їх оцінюють за допомогою коефіцієнта шуму.

Потужність теплових шумів приймача дорівнює [11]

$$P_T = N_T k T_0 \Pi, \quad (2)$$

де N_T – коефіцієнт шуму приймача;

k – постійна Больцмана;

T_0 – температура приймача;

Π – ефективна ширина шумової смуги приймача.

Рівень потужності теплового шуму в децибелах визначається у такий спосіб:

$$p_T = 10 \lg P_T = 10 \lg(N_T k T_0 \Pi) = n_T + 10 \lg(k T_0) + 10 \lg \Pi. \quad (3)$$

Враховуючи, що

$$n_T = 10 \lg N_T, \text{ дБ}, \quad (4)$$

та $10 \lg(k T_0) = -174$ дБм/Гц, якщо $T_0 = 290$ К, запишемо вираз для рівня потужності теплового шуму при вказаних числових значеннях:

$$p_T = n_T - 174 + 10 \lg \Pi_{\text{КГц}}, \quad (5)$$

де $\Pi_{\text{КГц}}$ – значення Π , виражене в кілогерцах.

Типове значення коефіцієнта шуму приймача $n_T = 7...9$ дБ для частот 800...1000 МГц [11].
Співвідношення сигнал/шум на вході приймача визначається за формулою

$$q_{c-ш} = \frac{P_C}{P_T}. \quad (6)$$

Співвідношення сигнал/шум, виражене в децибелах, набуває такого вигляду:

$$q_{c-ш}(R) = p_C(R) - p_T. \quad (7)$$

Розрахувавши співвідношення сигнал/шум на вході приймача, потрібно врахувати наявність перешкод від інших БС мережі на збіжних частотах. Тому наступним кроком даної методики є розрахунок співвідношення сигнал/(шум + перешкода) на вході приймача МС.

У системах рухомого зв'язку на вхід приймача МС надходить корисний сигнал БС і перешкоджаючий сигнал (перешкода) від інших БС мережі. Такі перешкоди створюють БС сусідніх кластерів. Для найбільш несприятливого випадку характерний мінімальний рівень приймального сигналу, тобто положення МС на межі стільника.

Потужність корисного сигналу, що надходить на МС від БС, подамо в вигляді (1). Тоді, якщо антени БС та МС не спрямовані, то потужність для j -го перешкоджаючого сигналу, за умови $R = R_j$, визначається таким чином:

$$P_{ij} = \frac{P_{BC} G_{IP} G_{BC} \lambda^2}{(4\pi R_j)^2}. \quad (8)$$

Сумарну потужність перешкод на збіжних частотах можна знайти як суму потужностей перешкоджаючих сигналів j -ї БС, вважаючи, що ці сигнали некорельовані:

$$\sum_{i=1}^j P_i = P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{ij}. \quad (9)$$

У разі застосування в мережі секторних антен кількість перешкоджаючих сигналів від БС зменшується, а також зменшується сумарна потужність перешкоди. Фрагменти ЧТП, коли $N = 7$, з використанням секторних антен з шириною діаграми спрямованості (ШДС) $\alpha = 120^\circ$ та $\alpha = 60^\circ$, показані на рис. 1.

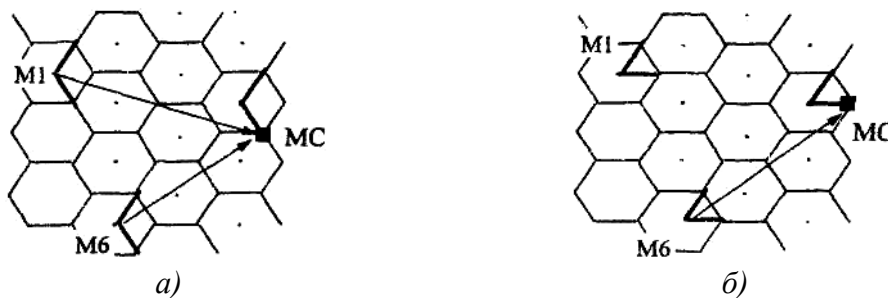


Рис. 1. Фрагменти ЧТП при $N = 7$ з використанням секторних антен з ШДС: а) $\alpha = 120^\circ$;
б) $\alpha = 60^\circ$

На рис. 1 сектори стільників, у яких використовуються однакові частоти, позначені жирними лініями. Коли $\alpha = 120^\circ$, залишилось два перешкоджаючих сигнали на відстані R_1 та R_6 . Для варіанта $\alpha = 60^\circ$ залишився тільки один перешкоджаючий сигнал на відстані R_6 .

На МС, яка знаходиться на межі стільника, впливають і шуми, і перешкоди від інших БС мережі на збіжних частотах, тому загальний вплив можна подати як суму потужності шуму та сумарну потужність від перешкоджаючих станцій.

Тому співвідношення сигнал/(шум + перешкода) можна записати таким чином:

$$Q_{c-ш+п} = \frac{P_c}{P_T + \sum_{i=1}^j P_i} \quad (10)$$

Частотний план присвоюється стандарту і визначає розподіл частот прийому і передачі між каналами. Частотні канали, розташовані в такому плані поряд, називаються сусідніми.

ЧТП розробляється для конкретної території, на якій розгорнута система. У ньому вказується: розмірність кластера; розподіл частотних груп між стільниками; розміщення стільників на території; кількість каналів у кожній частотній групі, що належить стільнику; номінальне значення частот каналів у такій групі. На БС до однієї антени може бути підключено до 16 каналних прийомопередавачів. Для запобігання взаємних перешкод не допускається робота передавачів сусідніх каналів через загальну антену БС.

На МС взаємні перешкоди від сусідніх каналів створюють передавачі сусідніх стільників. Вибірковість за цими каналами забезпечує смуговий фільтр приймача МС. На рис. 2 показана типова (одностороння) амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) цього фільтра (f_0 – центральна частота каналу; f_1, f_2, f_3 – несучі сусідніх каналів; F – розстроювання; Π_ϕ – ширина смуги пропускання фільтра за рівнем -3 дБ; \tilde{a}_ϕ – послаблення фільтра відносно рівня на краю смуги). Типовий фільтр за межами смуги пропускання вносить загасання $\gamma_\phi = 24$ дБ на октаву (тобто в разі збільшення розстроювання вдвічі).

Взаємна перешкода за сусіднім каналом може виникнути на БС в ситуації, коли МС1 знаходиться на межі стільника, а МС2 біля БС (всередині стільника) (рис. 3).

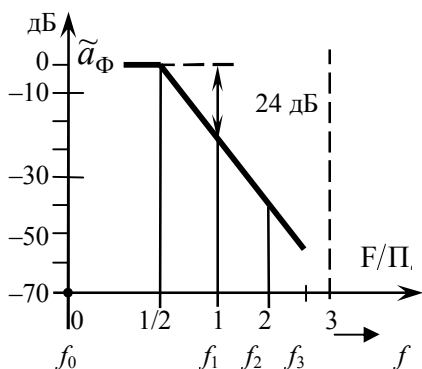


Рис. 2. Типова АЧХ смугового фільтра

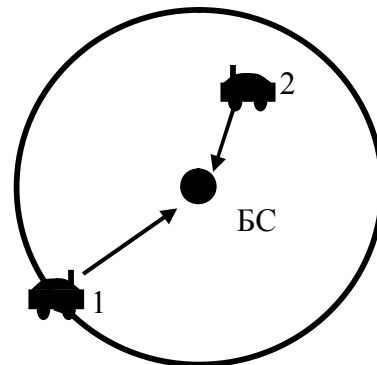


Рис. 3. Взаємна перешкода приймача МС за сусіднім каналом

Цю проблему зазвичай вирішують двома шляхами: використовують приймач з високою вибірковою і забезпечують регулювання потужності випромінювання МС.

МС, що знаходиться біля БС, може створювати перешкоди прийому сигналу віддаленої МС через перенавантаження підсилювача приймача (рівень сигналу перевищує максимальний вхідний рівень). Точка насичення такого підсилювача відповідає максимальному вхідному рівню сигналу $P_{снас} \approx 55$ дБм. Якщо рівень сигналу перевищує це значення, то в його спектрі через нелінійні процеси виникають небажані складові. Коли їх частоти потрапляють у смугу пропускання сусідніх каналів, вони створюють перешкоди. При прийманні в сусідньому каналі сигналу від віддаленої МС значення співвідношення сигнал/перешкода може виявитись нижче допустимого [11].

Проаналізувати рівень взаємних перешкод, що створюються сусідніми частотними каналами, можна з використанням нормованої спектральної щільності потужності сигналів з MSK та GMSK, наведеної на рис. 4 [12].

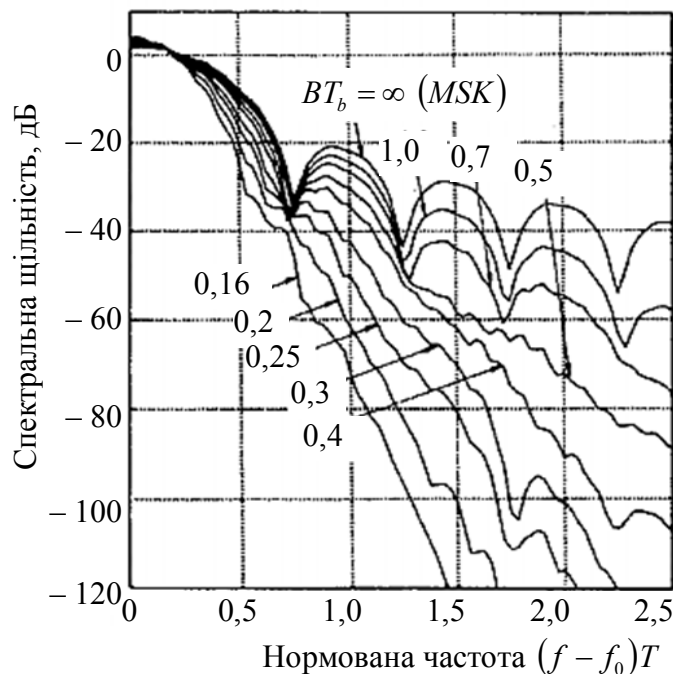


Рис. 4. Нормована спектральна щільність потужності сигналу з GMSK

На графіку показано рівень потужності головної пелюстки спектра, яка передається на центральній частоті каналу f_0 , і рівні потужностей бічних пелюсток, що передаються в сусідніх каналах на частотах f_1 , f_2 , f_3 і т. д.

Досліджуючи саме рівень бічних пелюсток, а також потрапляння спектра сигналу бічних пелюсток у смугу пропускання приймача, що працює на основній частоті, можна встановити негативний взаємний вплив на корисний сигнал, що надходить від перешкоджаючих БС сусідньої частоти до МС.

Розрахунок рівня сумарної потужності взаємних перешкод від сусідніх частотних каналів є основною задачею розробки методики впливу параметрів модуляції сигналу мобільної системи стандарту GSM на показники якості зв'язку.

Після розрахунку рівня сумарної потужності взаємних перешкод від сусідніх частот потрібно визначити співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра) і порівняти зі співвідношенням сигнал/(шум + перешкода), а потім знайти відсоток уточнення розрахунку співвідношення сигнал/шум.

Знаючи співвідношення сигнал/шум на вході приймача МС, можна визначити ймовірність помилки передачі одного біта.

Приклад залежності ймовірності помилки прийому сигналу GMSK від співвідношення сигнал/шум на вході вирішального пристрою наведено на рис. 5 [13].

З графіка рис. 5 видно, що під час збільшення співвідношення сигнал/шум імовірність помилки передачі одного біта інформації зменшується. Тому, щоб передача інформації була безпомилковою, потрібно зменшувати, а в кращому випадку усувати шуми та інші перешкоджаючі сигнали на вході приймача МС.

Для дослідження впливу параметрів модуляції сигналу передавача мобільної системи стандарту GSM на показники якості зв'язку необхідно спочатку ввести параметри ЧТП (вказується розмірність кластера; розподіл частотних груп між стільниками; розміщення стільників на території; кількість каналів у кожній частотній групі, що належить стільнику; номінальне значення частот каналів у такій групі), відповідно до яких будуть проводитися дослідження.

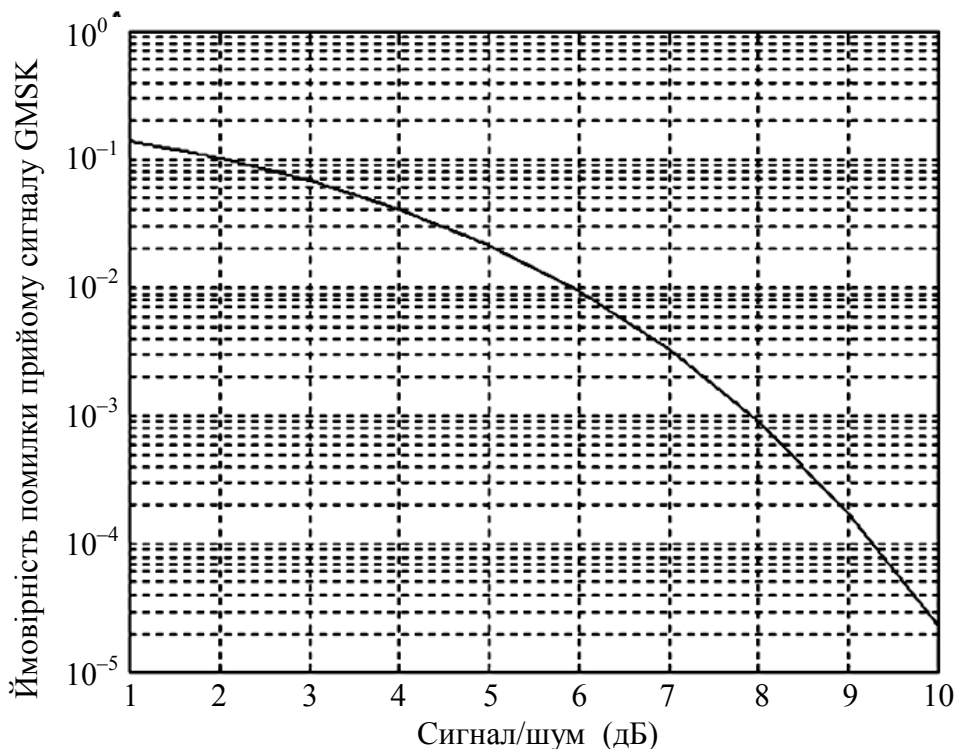


Рис. 5. Графік залежності ймовірності помилки прийому сигналу GMSK від співвідношення сигнал/шум

Далі відповідно до обраного ЧТП визначається частота, на якій будуть проводитися розрахунки за формулами (1), (5) та (9) потужності корисного сигналу, шуму і сумарної потужності взаємних перешкод на збіжних частотах на вході МС відповідно.

Наступним кроком методики є визначення співвідношення сигнал/(шум + перешкода) за виразом (10), яке дозволить проаналізувати вплив шумів і взаємних перешкод на збіжних частотах на потужність корисного сигналу та з'ясувати причини виникнення і шляхи усунення цих перешкод.

Далі необхідно визначити рівень перешкод від сусідніх частотних каналів залежно від параметрів модуляції, скориставшись рис. 5 та проаналізувавши потрапляння бічних пелюсток спектра сигналу в смугу пропускання приймача, який працює на основній частоті, і з'ясувати, яким чином дане потрапляння впливає на значення співвідношення сигнал/(шум + перешкода).

Після проведених розрахунків обчислюється загальне значення співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра) і порівнюється зі співвідношенням сигнал/(шум + перешкода). Розраховується відсоток уточнення співвідношення сигнал/(шум + перешкода).

За допомогою графіка рис. 5 визначається ймовірність помилки передачі одного біта, яка відповідає уточненому значенню співвідношення сигнал/шум із врахуванням випромінювання передавача на сусідніх частотних каналах.

Таким чином, для оцінки впливу параметрів модуляції сигналу та направлених властивостей антен на якість передачі інформації в мобільній системі стандарту GSM відповідно до запропонованої вище методики розробимо ЧТП, зокрема вкажемо розмірність кластера $N = 7$. Цифрами 1–7 позначено частотні групи, присвоєні стільникам (рис. 6).

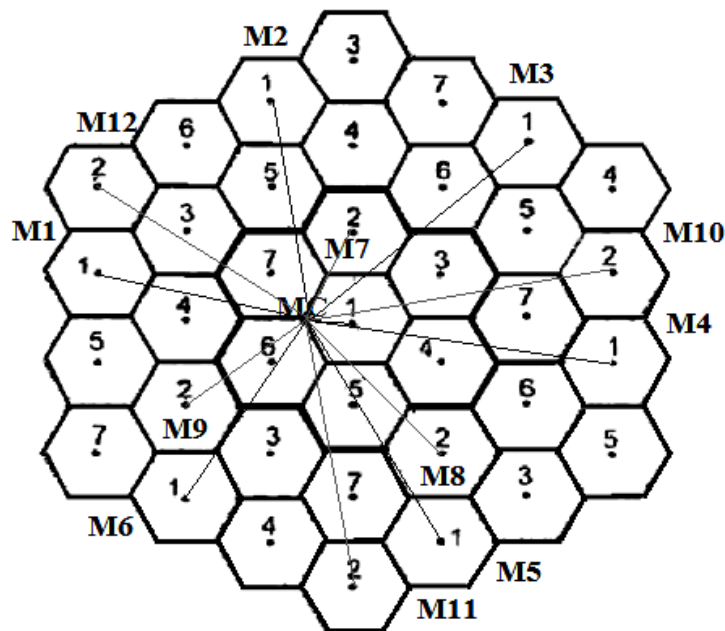


Рис. 6. Частотно-територіальний план

Розподіл частотних груп між стільниками приймемо таким, що в кожній з них по 18 частот (лише в шостому і сьомому стільниках по 17 частот). Як зазначалося вище, стандарт GSM цифрової загальноєвропейської стільникової системи наземного рухомого зв'язку передбачає роботу передавачів МС у діапазоні частот 890 ... 915 МГц та роботу передавачів БС у діапазоні 935 ... 960 МГц (рис. 7).

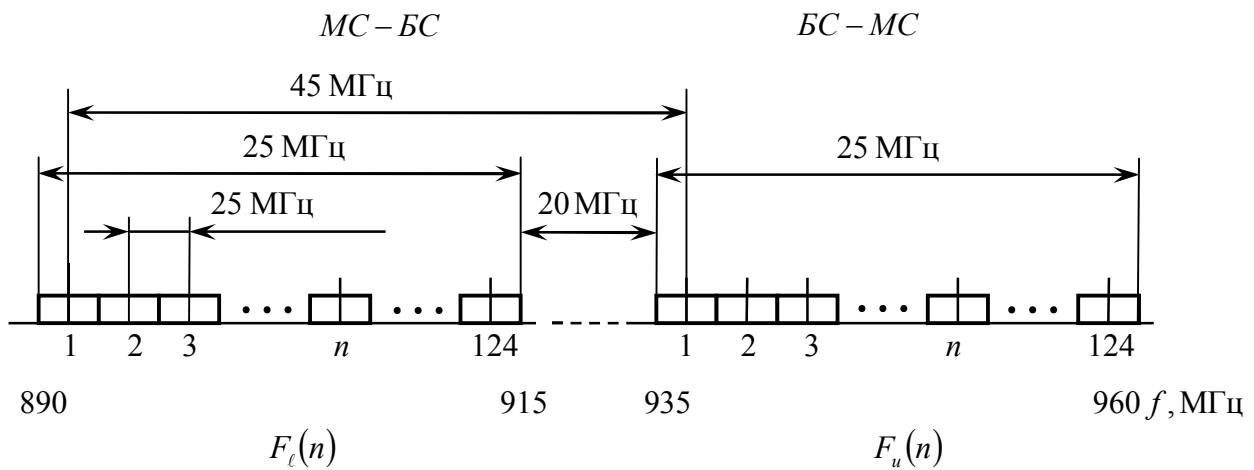


Рис. 7. Розподіл частот у стандарті GSM

Кожна із двох смуг по 25 МГц, що визначається для GSM, поділяється на частотні канали. Рознесення каналів становить 200 кГц, що дозволяє організувати в GSM 124 частотні канали, які розподіляються відповідно до розміщення стільників. Частоти, що виділяються для передачі з рухомих станцій на базову й у зворотному напрямку, групуються парами, організовуючи дуплексний канал з рознесенням 45 МГц. Кожний стільник характеризується фіксованим присвоєнням визначеної кількості пар частот від 1 до 15 (не більше).

Щоб розрахувати потужність корисного сигналу, скористаємося виразом (1) та будемо вважати, що потужність корисного сигналу, яка випромінюється БС, знаходиться в межах від 5 до 20 Вт; використовуються антени з ізотропною ДС, у яких коефіцієнт підсилення дорівнює одиниці, МС знаходиться на межі стільника № 1 (рис. 6), тоді відстань між МС та БС дорівнює 5 км.

Нехай частота передачі сигналу від БС до МС дорівнює $f_0 = 890,2$ МГц (довжина хвилі $\lambda = 0,337$ м), тобто оберемо першу частоту першого стільника.

Потужність корисного сигналу на вході приймача, коли потужність БС дорівнює 5 Вт, розраховується за виразом (1):

$$P_c = \frac{5 \cdot (0,337)^2}{(4\pi \cdot 5 \cdot 10^3)^2} = 1,44 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \dots p_c = -98,4 \text{ дБ.}$$

Потужність шуму в децибелах розраховується за формулою (5), де для стандарту GSM ширина смуги каналу зв'язку становить $\Pi_{kHz} = 200$ кГц. А оскільки було обрано частоту 890,2 МГц, то n_T буде дорівнювати 8 дБ, тоді отримуємо потужність шуму, виражену в децибелах:

$$p_T = 8 - 174 + 10 \lg 200 = -143 \text{ дБ} \text{ або } P_T = 5,012 \cdot 10^{-15} \text{ Вт.}$$

Співвідношення сигнал/шум розраховується за допомогою формул (6) та (7):

$$q_{C-ш} = -98,4 + 143 = 44,6 \text{ дБ}, \dots Q_{C-ш} = 2,884 \cdot 10^4. \tag{11}$$

Потужність сигналу на вході приймача, а отже, і співвідношення сигнал/шум зростатимуть зі збільшенням потужності БС і, відповідно, зменшуватимуться при збільшенні відстані від БС до МС.

Для розрахунку потужності взаємних перешкод на збіжних частотах необхідно розрахувати відстані від перешкоджаючих станцій до МС. Такі перешкоди створюють БС сусідніх кластерів з № 1. На рис. 6 цифрами 1–7 позначені частотні групи, присвоєні стільникам. Розглядаємо дію сигналу та взаємних перешкод на МС, розташованих у центрі стільника. Перешкоди, створювані БС, позначені М1–М6. Положенню МС на межі стільника, який позначено жирною точкою, відповідає мінімальний рівень приймального сигналу, це є критичним випадком для зв'язку. На рис. 6 показано шляхи надходження перешкоджаючих сигналів на цю МС. Отже, на частоті $f_0 = 890,2$ МГц крім сигналу від БС на МС надходить ще шість перешкоджаючих сигналів БС: М1–М6, – які розташовані на відстані R_j .

Відстані від перешкоджаючих станцій до МС розраховуються графічним методом (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахункові значення відстаней від перешкоджаючих БС до МС

Перешкоджаюча БС	Розрахункові значення
М1	$R_1 = 20$ км
М2 і М6	$R_2 = R_6 = 21,4$ км
М3 і М5	$R_3 = R_5 = 27,1$ км
М4	$R_4 = 29,3$ км

Нехай перешкоджаючі БС використовують ненаправлені антени з коефіцієнтом підсилення, що дорівнює одиниці. По черзі розраховується рівень потужності сигналу, який надходить від j -ї БС за формулою (8).

Рівень потужності, який надходить від першої перешкоджаючої станції М1, коли потужність БС дорівнює 5 Вт, становить:

$$P_{i1} = \frac{5 \cdot (0,337)^2}{(4\pi \cdot 20 \cdot 10^3)^2} = 8,999 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \dots p_{i1} = -110,5 \text{ дБ.}$$

Співвідношення сигнал/перешкода першої перешкоджаючої станції дорівнює:

$$Q_{c-p} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{8,999 \cdot 10^{-12}} = 16, \dots q_{c-p} = 12 \text{ дБ.}$$

Рівень потужності, який надходить від другої М2 та шостої М6 перешкоджаючих станцій (оскільки за ЧТП відстані між МС і перешкоджаючими станціями М2 і М6 однакові, то і рівень потужності буде тотожним), визначаємо у такий спосіб:

$$P_{i2} = P_{i6} = \frac{5 \cdot (0,337)^2}{(4\pi \cdot 21,4 \cdot 10^3)^2} = 7,86 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \dots p_{i2} = p_{i6} = -111 \text{ дБ.}$$

Співвідношення сигнал/перешкода другої та шостої перешкоджаючих станцій дорівнює:

$$Q_{C-II} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{7,86 \cdot 10^{-12}} = 18,32; \dots q_{C-II} = 12,6 \text{ дБ.}$$

Рівень потужності, який надходить від третьої М3 та п'ятої М5 перешкоджаючих станцій становить:

$$P_{i3} = P_{i5} = \frac{5 \cdot (0,337)^2}{(4\pi \cdot 27,1 \cdot 10^3)^2} = 4,901 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \dots p_{i3} = p_{i5} = -113 \text{ дБ.}$$

Співвідношення сигнал/перешкода третьої та п'ятої перешкоджаючих станцій обрахуємо таким чином:

$$Q_{C-II} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{4,901 \cdot 10^{-12}} = 29,38; \dots q_{C-II} = 14,6 \text{ дБ.}$$

Рівень потужності, який надходить від четвертої перешкоджаючої станції М4, становить:

$$P_{i4} = \frac{5 \cdot (0,337)^2}{(4\pi \cdot 29,3 \cdot 10^3)^2} = 4,193 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \dots p_{i4} = -114 \text{ дБ.}$$

Співвідношення сигнал/перешкода четвертої перешкоджаючої станції дорівнює:

$$Q_{C-II} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{4,193 \cdot 10^{-12}} = 34,34; \dots q_{C-II} = 15,4 \text{ дБ.}$$

Сумарну потужність взаємних перешкод на збіжних частотах розраховуємо за формулою (9), де $j = 6$:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^6 P_i &= 8,999 \cdot 10^{-12} + 7,86 \cdot 10^{-12} + 4,901 \cdot 10^{-12} + 4,193 \cdot 10^{-12} + \\ &+ 4,901 \cdot 10^{-12} + 7,86 \cdot 10^{-12} = 38,714 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}; \\ \sum_{i=1}^6 p_i &= -104,1 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Тоді сумарне значення співвідношення сигнал/перешкода для шести перешкоджаючих станцій буде дорівнювати:

$$\sum_{l=1}^6 Q_{C-II} = \frac{P_c}{\sum_{i=1}^6 P_i} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{38,714 \cdot 10^{-12}} = 3,72; \dots \sum_{l=1}^6 q_{C-II} = 5,7 \text{ дБ.} \quad (12)$$

Таким чином, значення сигнал/перешкода залежить лише від відстані перешкоджаючої станції до мобільної. І чим більша ця відстань, тим більше значення співвідношення сигнал/перешкода, тобто менший вплив перешкоджаючої станції.

Ефективним способом підвищення співвідношення сигнал/перешкода є застосування секторних антен. Фрагменти ЧТП, коли $N = 7$, з використанням секторних антен з ШДС $\alpha = 120^\circ$ і $\alpha = 60^\circ$, показані на рис. 1а та 1б відповідно.

Під час використання секторних антен з ШДС $\alpha = 120^\circ$ маємо лише дві перешкоджаючі станції М1 та М6, їх сумарне значення потужності на вході МС становить:

$$\sum_{i=1}^2 P_i = P_{i1} + P_{i6} = 8,999 \cdot 10^{-12} + 7,86 \cdot 10^{-12} = 16,859 \cdot 10^{-12} \text{ Вт},$$

$$\sum_{i=1}^2 p_i = -107,7 \text{ дБ},$$

а співвідношення сигнал/перешкода для секторних антен з ШДС $\alpha = 120^\circ$ дорівнює:

$$\sum_{l=1}^2 Q_{C-\Pi} = \frac{P_c}{\sum_{i=1}^2 P_i} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{16,859 \cdot 10^{-12}} = 8,54; \dots \sum_{l=1}^2 q_{C-\Pi} = 9,3 \text{ дБ}. \quad (13)$$

Використовуючи секторні антени з ШДС $\alpha = 120^\circ$, отримаємо вигреш у 2,3 раза (або 56,4%) порівняно з ненаправленими антенами.

Коли використовуються секторні антени з ШДС $\alpha = 60^\circ$, залишається лише одна перешкоджаюча станція М6, потужність якої обраховується як

$$P_{i6} = 7,86 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \dots p_{i6} = -111 \text{ дБ},$$

а співвідношення сигнал/перешкода для секторних антен з ШДС $\alpha = 60^\circ$ дорівнює:

$$Q_{C-\Pi} = \frac{P_c}{P_{i6}} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{7,86 \cdot 10^{-12}} = 18,3; \dots \sum_{l=1}^1 q_{C-\Pi} = 12,6 \text{ дБ}. \quad (14)$$

Таким чином, коли використовувати секторні антени з ШДС $\alpha = 60^\circ$, отримаємо вигреш у 4,9 раза (або 79,7%) порівняно з ненаправленими та в 2,1 (або 53,3%) порівняно із секторними з ШДС $\alpha = 120^\circ$.

Для розрахунку співвідношення сигнал/(шум + перешкода) доцільно скористатися формулою (10), а оскільки кількість перешкоджаючих станцій дорівнює шести, то

$$Q_{C-\text{ш}+\Pi} = \frac{P_c}{P_T + \sum_{i=1}^6 P_i}.$$

Якщо враховувати, що потужність сигналу на вході приймача дорівнює $1,44 \cdot 10^{-10}$ Вт (потужність БС 5 Вт), потужність шуму становить $5,012 \cdot 10^{-15}$ Вт, а сумарна потужність взаємних перешкод, розрахована для ненаправлених антен, становить $38,714 \cdot 10^{-12}$ Вт, то,

підставивши всі значення потужностей, отримаємо:

$$Q_{C-ш+п} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{5,012 \cdot 10^{-15} + 38,714 \cdot 10^{-12}} = 3,72; \dots q_{C-ш+п} = 5,7 \text{ дБ.} \quad (15)$$

Для секторних антен з ШДС $\alpha = 120^\circ$ співвідношення сигнал/(шум + перешкода) становить:

$$Q_{C-ш+п} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{5,012 \cdot 10^{-15} + 16,859 \cdot 10^{-12}} = 8,54; \dots q_{C-ш+п} = 9,3 \text{ дБ,} \quad (16)$$

а для секторних антен з ШДС $\alpha = 60^\circ$ –

$$Q_{C-ш+п} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{5,012 \cdot 10^{-15} + 7,86 \cdot 10^{-12}} = 18,3; \dots q_{C-ш+п} = 12,6 \text{ дБ.} \quad (17)$$

З розрахунків зрозуміло, що рівень шуму значно менший за рівень потужності перешкоджаючих сигналів, які впливають на МС, тому співвідношення сигнал/(шум + перешкода) дорівнює співвідношенню сигнал/перешкода.

Отримані результати підтверджують, що для покращення співвідношення сигнал/перешкода можна застосувати замість ненаправлених антен секторні з ШДС $\alpha = 120^\circ$ і $\alpha = 60^\circ$. Використання секторних антен зменшує кількість перешкоджаючих станцій і, відповідно, сумарну потужність взаємних перешкод. Застосування замість ненаправлених антен секторних з ШДС $\alpha = 120^\circ$ і $\alpha = 60^\circ$ дає вигоду у 2,3 і 4,9 рази відповідно.

Побудова ЧТП з відповідною розмірністю кластера, розподілом частотних груп між стільниками, рознесенням стільників з однаковим номіналом значення частот є одним з найкращих способів боротьби з впливом взаємних перешкод на МС.

Висновки. Таким чином, у статті оцінено вплив діаграми спрямованості антени на якість передачі інформації в мобільній системі стандарту GSM. На даний час отримано такі результати:

значення сигнал/перешкода на збіжних частотах залежить лише від відстані між БС, що перешкоджає, до МС. Чим більша ця відстань, тим більше значення співвідношення сигнал/перешкода, тобто менший вплив перешкоджаючої станції;

ефективним способом підвищення співвідношення сигнал/перешкода є застосування секторних антен. Використовуючи секторні антени з ШДС $\alpha = 120^\circ$, отримуємо збільшення співвідношення сигнал/шум в 2,3 рази (або 56,4%) порівняно з ненаправленими антенами, а з ШДС $\alpha = 60^\circ$ – у 4,9 рази (або 79,7%) порівняно з ненаправленими та в 2,1 рази (або 53,3%) порівняно із секторними з ШДС $\alpha = 120^\circ$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тлумачний словник з інформатики / [Г. Г. Півняк, Б. С. Бусигін, М. М. Дівізінюк та ін.] – Дніпропетровськ : Нац. гірнич. ун-т, 2010. – 600 с.
2. Сукачев Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Э. А. Сукачев. – [2-е изд., испр. и дополн.]. – Одесса : УГАС, 2000. – 119 с.

3. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю. А. Громаков. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998. – 240 с.
4. Бойко М. П. Системы стільникового зв'язку : конспект лекцій / М. П. Бойко. – Одеса : ОНАЗ, 2004. – 76 с.
5. Попов В. И. Основы сотовой связи стандарта GSM / В. И. Попов. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2005. – 296 с.
6. Рихальський О. Р. Методика оцінки впливу параметрів модуляції сигналу мобільної системи стандарту GSM на показники якості зв'язку / О. Р. Рихальський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2013. – № 1. – С. 46–55.
7. Петренко В. И. Системы и средства подвижной радиосвязи : учеб. пособ. / В. И. Петренко, В. Е. Рачков, Ю. В. Иванов ; под. ред. В. И. Петренко. – Ставрополь : СВИС РВ, 2010. – 231 с.
8. Системы мобильной связи : учеб. пособ. для вузов / [В. И. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
9. Бабков В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учеб. пособ. для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, А. Н. Михайлов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.
10. Гавриленко В. Г. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи / В. Г. Гавриленко, В. А. Яшнов. – Нижний Новгород, 2003. – 148 с.
11. Маковеева М. М. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособ. для вузов / М. М. Маковеева, Ю. С. Шинаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
12. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер ; пер. с англ. ; под ред. В. И. Журавлева. – М. : Радио и связь, 2000. – 520 с.
13. Давронбеков Д. Средства передачи и приема информации в мобильных системах связи : конспект лекций / Д. Давронбеков. – Ташкент, 2011. – 169 с.

Подано 12.03.13

А. Р. Рыхальский

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Проводится анализ построения и функционирования мобильной системы связи цифрового стандарта GSM, приведена методика расчета показателей качества канала связи (уровень помех соседних частотных каналов и вероятность ошибки на один бит), которая учитывает побочные излучения в мобильной системе стандарта GSM. Показана возможность повышения соотношения сигнал/помеха за счет применения секторных антенн.

O. R. Rykhalsky

ASSESSMENT OF DIRECTIONAL BEAM WIDTH OF THE ANTENNA ON THE TRANSFER OF INFORMATION IN A MOBILE COMMUNICATION STANDARD GM

The analysis of the construction and operation of the mobile communication system of digital standard GSM, the technique of calculating the link quality (noise level at the adjacent frequency channels and the probability of error per bit), which takes into account the spurious emissions in the mobile system via GSM. The possibility of increasing the signal-to-interference by the use of sector antennas.