

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛУ В СИСТЕМАХ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ

На основі аналізу побудови та функціонування мобільної системи зв'язку цифрового стандарту GSM розроблено методичку розрахунку показників якості каналу зв'язку (рівень перешкод за сусідніми частотними каналами та ймовірність помилки на один біт), яка враховує побічні випромінювання та вплив параметрів модуляції сигналу.

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 гауссівського ФНЧ B і тривалості одного біта T [5]. 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 (БС), що працюють на збіжних частотах, так і від тих, що працюють на сусідніх частотних каналах.

Виходячи з цього, **метою статі** є оцінка впливу параметрів модуляції сигналу на якість передачі інформації в мобільній системі стандарту GSM з урахуванням не тільки побічних випромінювань на збіжних частотах, але й інтерференційних складових на сусідніх частотних каналах під час розрахунку показників якості каналу зв'язку [6].

Огляд останніх досліджень і публікацій. Робота мобільного зв'язку забезпечується розвинутою мережею БС, які передають інформацію на комутаційні центри за допомогою радіочастотних сигналів. Для підвищення його якості оператори збільшують кількість БС та здійснюють їх постійне переоснащення відповідно до найновітніших технологічних розробок галузі [7]. З цією метою розробляється частотно-територіальний план (ЧТП). Під час проектування 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 БС тощо [8].

© О. О. Писарчук, 2014

Аналіз стану проблеми частотно-територіального планування мережі рухомого і фіксованого радіозв'язку показує, що для її розв'язання не існує строго формалізованих алгоритмів, а вхідні дані часто виявляються недостатніми й неточними, це дозволяє зробити висновок про те, що найбільш конструктивним підходом до вирішення даного складного завдання є декомпозиція всієї процедури планування на низку 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), а також розподілу частот між БС [9]. Для визначення оптимального місця розташування і кількості БС, а також для розв'язання інших задач необхідно вміти розрахувати характеристики сигналу в будь-якій точці простору в межах усієї зони обслуговування. Міське середовище утворює специфічні умови для поширення радіохвиль. Тіньові зони, багаторазове відбиття і розсіювання хвиль формують багатопроменеві поля зі складною інтерференційною структурою й різкими просторовими змінами рівня сигналу. Багатопроменевий характер поширення радіохвиль, за якого в точку приймання надходять хвилі з різних напрямків і з різними часовими затримками, породжує явище міжсимвольної інтерференції в разі передачі кодових послідовностей. Спотворення сигналу, зумовлене міжсимвольною інтерференцією, може викликати серйозні погіршення характеристик системи та якості високошвидкісної передачі цифрової інформації, якщо тривалість затримки перевищує тривалість символу [10]. У методиці під час розрахунку потужності сигналу в будь-якій точці простору системи зв'язку зважається на те, що відсутні відбиття радіохвиль від будь-яких поверхонь; середовище поширення радіохвиль у межах радіотраси вважається однорідним та не враховується дифракція хвиль на перешкодах, розсіювання, рефракція й інші явища, що супроводжують процес поширення радіохвиль [10]. Однак втрати у вільному просторі в даній методиці беруться до уваги.

Проведені дослідження показали, що ступінь наближення до істинного співвідношення сигнал/шум у мобільній системі зв'язку через додаткове врахування впливу інтерференційних складових на сусідніх частотних каналах порівняно із співвідношенням сигнал/шум із врахуванням лише побічних випромінювань не на збіжних частотах суттєво залежить від значення індексу модуляції BT [11].

Формулювання завдання дослідження. Виходячи з цього, наукове завдання полягає в оцінюванні впливу параметрів модуляції сигналу на якість передачі інформації з урахуванням рівня потужності корисного сигналу, потужності шуму і взаємних перешкод на збіжних частотах та перешкод від сусідніх частотних каналів на вході мобільної станції (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. Значення потужності радіосигналу на вході приймача можна розрахувати як [10]

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

де P_c – потужність приймального сигналу;

P_{BC} – потужність передавача БС;

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

R – відстань від передавальної до приймальної антени.

Рівень потужності корисного сигналу визначається в децибелах:

$$p_C = 10 \lg P_C.$$

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 – стала Больцмана;

T_0 – температура приймача (стандартна $T_0 = 290$ К);

Π – ефективна ширина шумової смуги приймача.

Рівень потужності теплового шуму в децибелах визначається у такий спосіб:

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

де $n_T = 10 \lg N_T$, дБ;

$10 \lg (k T_0) = -174$ дБм/Гц, якщо $T_0 = 290$ К.

Вираз для рівня потужності теплового шуму при вказаних числових значеннях має такий вигляд:

$$p_T = n_T - 174 + 10 \lg \Pi_{\text{кГц}}, \quad (4)$$

де $\Pi_{\text{кГц}}$ – значення Π , виражене в кілогерцах, тому що відповідно до стандарту Міжнародного союзу електров'язку абсолютний рівень потужності в децибелах подається відносно до потужності в 1 мВт.

Типове значення коефіцієнта шуму приймача для частот 800–1000 МГц є $n_T = 7 \dots 9$ дБ [11].

Співвідношення сигнал/шум на вході приймача визначається за формулою

$$q_{C-ш} = \frac{P_C}{P_T}. \quad (5)$$

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

$$q_{c-ш}(R) = p_c(R) - p_T. \quad (6)$$

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 і 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 у 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:

$$P_{ij} = \frac{P_{BC} G_{IP} G_{BC} \lambda^2}{(4\pi R_j)^2}. \quad (7)$$

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

$$\sum_{i=1}^j P_i = P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{ij}. \quad (8)$$

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 в такий спосіб:

$$Q_{c-ш+п} = \frac{P_c}{P_T + \sum_{i=1}^j P_i}. \quad (9)$$

Частотний план присвоюється стандарту і визначає розподіл частот прийому й передачі між каналами [8]. Частотні канали, розташовані в такому плані поряд, називаються сусідніми. На МС взаємні перешкоди від сусідніх каналів створюють передавачі сусідніх стільників. Вибірковість за цими каналами забезпечує смуговий фільтр приймача МС. На рис. 1 показано типову (односторонню) амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) цього фільтра (f_0 – центральна частота каналу; f_1, f_2, f_3 – несучі сусідніх каналів; F – розстроювання; P_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).

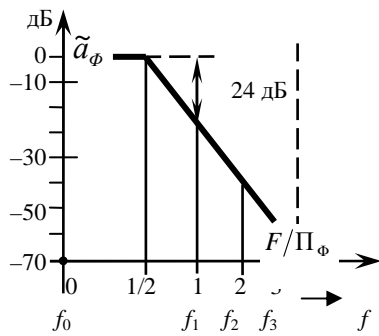


Рис. 1. Типова АЧХ смугового фільтра приймача МС

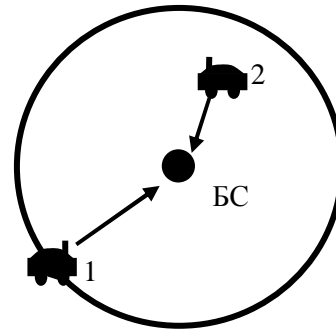


Рис. 2. Взаємна перешкода за сусіднім каналом

Взаємна перешкода за сусіднім каналом може виникнути на БС в ситуації, коли МС1 знаходиться на межі стільника, а МС2 біля БС (всередині стільника) (рис. 2).

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

МС, що знаходиться біля БС, може створювати перешкоди прийому сигналу віддаленою МС через перенавантаження підсилювача приймача (рівень сигналу перевищує максимальний вхідний рівень). Точка насичення такого підсилювача відповідає максимальному вхідному рівню сигналу $P_{нас} \approx 55$ 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, створюваних сусідніми частотними каналами, можна з використанням нормованої спектральної щільності потужності сигналів з MSK та GMSK, наведеної в [12], де 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 їх сигналу в смугу пропускання приймача, що працює на основній частоті, можна встановити негативний взаємний вплив на корисний сигнал, якого завдають перешкоджаючі БС сусідньої частоти на МС.

Розрахунок рівня сумарної потужності взаємних перешкод від сусідніх частотних каналів є основним завданням 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. Під час збільшення співвідношення сигнал/шум ймовірність помилки передачі одного біта інформації зменшується [13]. Тому, щоб передача інформації була безпомилковою, потрібно зменшувати, а в кращому випадку усувати шуми та інші перешкоджаючі сигнали на вході приймача МС.

Таким чином, для оцінювання впливу параметрів модуляції сигналу на якість передачі інформації в мобільній системі стандарту GSM відповідно до запропонованої методики [14] розробимо ЧТП, зокрема вкажемо розмірність кластера $N = 7$. Цифрами 1 – 7 позначені частотні групи, присвоєні стільникам (рис. 3).

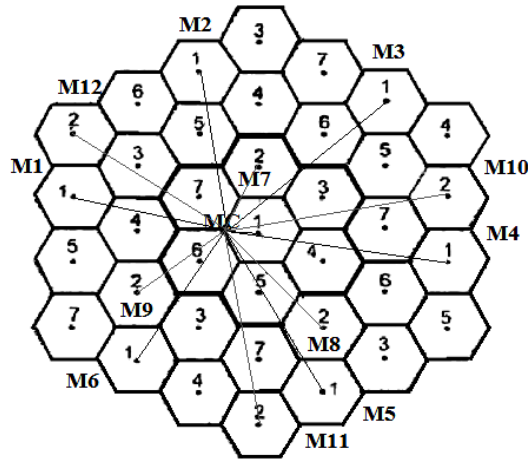


Рис. 3. Частотно-територіальний план

Розподіл частотних груп між стільниками приймемо таким, що в кожній з них по 18 частот (лише в шостому і сьомому стільниках по 17). Стандарт GSM передбачає роботу передавачів МС у діапазоні частот 890 ... 915 МГц та роботу передавачів БС в діапазоні 935 ... 960 МГц [5]. Кожна із двох смуг по 25 МГц, що виділяються для GSM, поділяється на частотні канали. Їх рознесення становить 200 кГц, що дозволяє організувати в GSM 124 частотні канали (рис. 4), які розподіляються відповідно до розміщення стільників. Частоти, що виділяються для передачі з рухомих станцій на базу і в 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, який випромінюється БС, знаходиться в межах від 5 до 20 Вт; використовуються антени з ізотропною ДС, у яких коефіцієнт підсилення дорівнює одиниці, а МС знаходиться на межі стільника № 1 (рис. 3), тоді відстань між МС та БС 5 км.

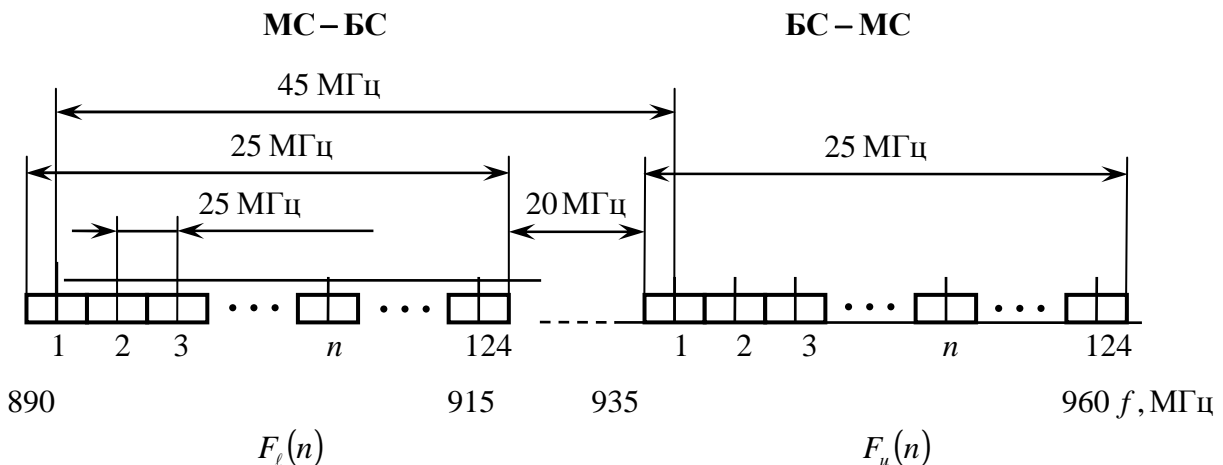


Рис. 4. Розподіл частот у стандарті GSM

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):

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

Потужність шуму в децибелах розраховується за формулою (4), де для стандарту GSM ширина смуги каналу зв'язку становить $P_{\text{kHz}} = 200$ кГц. А оскільки було обрано частоту 890,2 МГц, то n_T дорівнює 8 дБ, отримуємо потужність шуму, виражену в децибелах:

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

Співвідношення сигнал/шум розраховується за допомогою формул (5) та (6):

$$q_{c-ш} = -98,4 + 143 = 44,6 \text{ дБ}, \quad Q_{c-ш} = 2,884 \cdot 10^4. \quad (10)$$

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. Розглянемо дію сигналу та взаємних перешкод на МС, розташовані в 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. 3 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, розташованих 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	Розрахункове 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. Почергово розраховується рівень потужності сигналу, який надходить від j -ї БС за формулою (7), коли потужність БС дорівнює 5 Вт.

Сумарну потужність взаємних перешкод на збіжних частотах розраховують [14] за формулою (8), де $j = 6$:

$$\sum_{i=1}^6 P_i = 38,714 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}; \quad \sum_{i=1}^6 p_i = -104,1 \text{ дБ.}$$

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

$$\sum_{l=1}^6 Q_{c-\Pi} = \frac{P_c}{\sum_{i=1}^6 P_i} = \frac{1,44 \cdot 10^{-10}}{38,714 \cdot 10^{-12}} = 3,72; \quad \sum_{l=1}^6 q_{c-\Pi} = 5,7 \text{ дБ.} \quad (11)$$

До цього та в [14] проводились розрахунки потужностей сигналу й шуму, а також сумарної потужності перешкод лише на одній центральній частоті $f_0 = 890,2$ МГц.

Інтерференційні перешкоди від сусідніх частотних каналів на МС створюють передавачі сусідніх стільників. Найближчим стільником ЧТП (рис. 4) є стільник з № 2. Йому відповідає набір частот, наведених на рис. 4. Найближчою частотою до 890,2 МГц є 890,4 МГц.

Для оцінювання рівня перешкоди на вході приймача МС від передавача сусіднього частотного каналу необхідно скористатися графіком нормованої спектральної щільності потужності сигналу з GMSK, наведеного в [12], та визначити, яке значення $(f - f_0)T_b$ забезпечить потрапляння перешкоджаючого сигналу в смугу пропускання приймача МС.

Наприклад, для значення $(f - f_0)T_b = 1$, що відповідає максимальній складовій спектра випромінення перших бічних пелюсток f_1 , отримаємо, що

$$f_1 - f_0 = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{3,69 \cdot 10^{-6}} = 271 \text{ кГц.} \quad (12)$$

Отже, сигнал на частоті, більшій ніж f_1 , у смугу пропускання не потрапить.

Для значення $(f_1 - f_0)T_b = 0,5$ отримаємо, що

$$f_{0,5} - f_0 = \frac{0,5}{T_b} = \frac{0,5}{3,69 \cdot 10^{-6}} = 135,5 \text{ кГц.} \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (13)$$

Враховуючи, що $f_{0,5} < f_1$, складова спектра сигналу на частоті $f_{0,5}$ потрапить у смугу пропускання приймача МС.

Для визначення рівня сигналу-перешкоди на частоті $f_{0,5}$ будемо вважати, що перешкоджаючий передавач БС випромінює коливання, потужність якого менше на число η , ніж його випромінення на робочій частоті цієї БС. При цьому для різних значень

Розрахункові значення рівня потужності перешкоджаючих БС, які надходять до МС, якщо індекс модуляції сигналу $BT_b = \infty$

Перешкоджаюча БС	Розрахункові значення				
	Відстань до МС, км	P_{ij} , Вт	p_{ij} , дБ	$Q_{C-П}$	$q_{C-П}$, дБ
М7	$R_7 = 10$	$5,687 \cdot 10^{-12}$	-112,5	25,32	14
М8	$R_8 = 18,6$	$1,644 \cdot 10^{-12}$	-117,8	87,59	19,4
М9	$R_9 = 13,6$	$3,075 \cdot 10^{-12}$	-115,1	46,83	16,7
М10	$R_{10} = 28,6$	$6,953 \cdot 10^{-13}$	-121,6	207,1	23,162
М11	$R_{11} = 27,1$	$7,744 \cdot 10^{-13}$	-111,1	185,95	22,7
М12	$R_{12} = 23,6$	$1,021 \cdot 10^{-12}$	-119,9	141,038	21,5

Оберемо індекс модуляції сигналу – $BT_b = \infty$, тобто MSK модуляцію, та розрахуємо сумарну потужність інтерференційних перешкод на сусідніх частотах, використовуючи при цьому лише ненаправлені антени БС як найгірший випадок.

Так потужність перешкоджаючих БС, які працюють на сусідніх частотах (назвемо їх сусідніми БС), визначають як

$$P_{СБС} = P_{БС} \cdot \eta, \quad (14)$$

де $P_{БС}$ – потужність БС, що працює на основній частоті ($f_0 = 890,2$ МГц);

$\eta = 0,158$ для $BT_b = \infty$ (див. табл. 2).

При $P_{БС} = 5$ Вт отримаємо, що потужності від сусідніх БС становитимуть $P_{СБС} = 5 \cdot 0,158 = 0,79$ Вт.

Сумарна потужність інтерференційних перешкод визначається аналогічно розрахункам сумарної потужності взаємних перешкод на збіжних частотах за формулами (7) та (8). Результати обчислень за формулами (7) подано табл. 3.

Сумарну потужність перешкод від сусідніх каналів розраховуємо за формулою (8):

$$\sum_{\kappa=1}^6 P_i^{СК} = 12,9 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}; \quad \sum_{i=1}^6 p_i^{СК} = -108,9 \text{ дБ}.$$

Аналогічним чином визначаємо сумарну потужність перешкод від сусідніх каналів для інших значень індексу модуляції сигналу, які занесені в табл. 4.

Враховуючи проведені вище розрахунки потужності корисного сигналу на вході приймача МС, яка дорівнює $1,44 \cdot 10^{-10}$ Вт, потужності шуму – $5,012 \cdot 10^{-15}$ Вт та сумарної потужності інтерференційних перешкод на збіжних частотах для неспрямованих антен – $38,714 \cdot 10^{-12}$ Вт і врахувавши ще сумарну потужність інтерференційних перешкод від сусідніх каналів, визначено співвідношення потужності корисного сигналу до сумарного значення потужності сигналу-перешкоди за такою формулою:

$$Q_{C-ш+п+п_{CK}} = \frac{P_c}{P_T + \sum_{i=1}^6 P_i + \sum_{\kappa=1}^6 P_i^{CK}}. \quad (15)$$

Результати розрахунків наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Розрахункові значення співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра) для різних значень BT_b

BT_b	Сумарна потужність інтерференційних перешкод від сусідніх частотних каналів		Значення співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра)	
	Вт	дБ	раз	дБ
∞	$12,9 \cdot 10^{-12}$	- 108,9	2,76	4,45
1	$10,29 \cdot 10^{-12}$	- 109,9	2,94	4,68
0,5	$8,17 \cdot 10^{-12}$	- 110,9	3,07	4,87
0,4	$5,15 \cdot 10^{-12}$	- 112,9	3,28	5,16
0,3	$2,16 \cdot 10^{-12}$	- 116,7	3,52	5,47
0,25	$13,04 \cdot 10^{-13}$	- 118,8	3,60	5,56
0,2	$8,17 \cdot 10^{-13}$	- 120,9	3,64	5,61

З табл. 4 видно, що при збільшенні індексу модуляції значення співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра) збільшується.

Для визначення відсотка уточнення розрахунку співвідношення сигнал/(шум + перешкода) потрібно скористатися таким виразом:

$$P_{\%} = \frac{Q_{C-ш+п} - Q_{C-ш+п+п_{CK}}}{Q_{C-ш+п}} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Результати обчислень відсотка уточнення співвідношення сигнал/(шум + перешкода) для різних значень індексу модуляції сигналу наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Розрахункові значення відсотка уточнення співвідношення сигнал/(шум + перешкода) та ймовірності помилки передачі одного біта інформації для різних значень індексу модуляції

BT_b	Відсоток уточнення співвідношення сигнал/(шум + перешкода), %	Імовірність помилки передачі одного біта інформації
∞	25,8	0,03
1	21,0	0,028
0,5	17,5	0,022
0,4	11,8	0,018
0,3	5,4	0,016
0,25	3,2	0,014
0,2	2,2	0,013

Для системи мобільного зв'язку стандарту GSM обрано індекс модуляції $BT_b = 0,3$, отже, з наведених розрахунків можна очікувати, що при врахуванні спектральних складових випромінювання на сусідніх частотних каналах співвідношення сигнал/(шум + перешкода) може відрізнятись на 5,4% порівняно із співвідношенням сигнал/(шум + перешкода) без цього врахування.

Знаючи співвідношення сигнал/(шум + перешкода + перешкода від сусідніх частот спектра), можна розрахувати за допомогою графіка уточнену ймовірність помилки передачі одного біта інформації для різних значень індексу модуляції [14]. Отримані розрахунки ймовірності помилки передачі одного біта інформації занесено до табл. 5.

Висновки. Таким чином, у статті оцінено вплив параметрів модуляції сигналу мобільної системи стандарту GSM на показники якості зв'язку, зокрема отримано такі результати:

відсоток уточнення розрахунку співвідношення сигнал/(шум + перешкода) залежить від значення індексу модуляції BT_b , його максимальне значення становить 25,8%, коли $BT_b = \infty$. Значення $BT_b = \infty$ відповідає сигналу з MSK модуляцією, при ньому спектральна ефективність сигналу порівняно з GMSK сигналом є найгіршою. Найбільша спектральна ефективність спостерігається, коли $BT_b = 0,2$, при цьому відсоток уточнення співвідношення сигнал/(шум + перешкода) становить усього 2,2%;

у разі врахування спектральних складових випромінювання на сусідніх частотних каналах для системи мобільного зв'язку стандарту GSM співвідношення сигнал/(шум + перешкода) може відрізнятись на 5,4% порівняно із співвідношенням сигнал/(шум + перешкода) без цього врахування;

ймовірність помилки передачі одного біта інформації залежить від значення індексу модуляції BT_b і при його зменшенні вона також зменшується.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тлумачний словник з інформатики / [Г. Г. Півняк, Б. С. Бусигін, М. М. Дівізінюк та ін.]. – Донецьк : 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 оцінювання 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. В. Яшнов. – Нижний Новгород, 2003. – 148 с.
11. Маковеева М. М. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособ. для вузов / М. М. Маковеева, Ю. В. 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.
14. Рихальський О. Р. Оцінка впливу діаграми спрямованості антени на якість передачі інформації в системах рухомого зв'язку стандарту GSM / О. Р. Рихальський // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2013. – Вип. 8. – С. 122–135.

Подано 06.06.2014

А. Р. Рыхальский

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СВЯЗИ

На основе анализа построения и функционирования мобильной системы связи цифрового стандарта GSM разработана методика расчета показателей качества канала связи (уровень помех соседних частотных каналов и вероятность ошибки на один бит), которая учитывает побочные излучения и влияние параметров модуляции сигнала.

O. R. Rykhalsky

ASSESSMENT OF PARAMETERS SIGNAL MODULATION IN A MOBILE COMMUNICATION GSM STANDARD QUALITY LINKS

Based on analysis of construction and operation of the mobile communication system digital standard GSM, the method of calculation of indicators as a communication channel (noise level at adjacent frequency channels and the probability of error in a bit), which takes into account adverse radiation and given the impact parameter modulation of the signal.