

УДК 621.396.12

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-6

ЛУЖАНСЬКИЙ В. І., ФОРКУН І. В., ФОРКУН Ю. В., КЛЬОЦ Ю. П.

Хмельницький національний університет

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ РІВНЕМ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ ПЕРЕДАВАЧІВ БАЗОВОЇ ТА МОБІЛЬНИХ СТАНЦІЙ МЕРЕЖІ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ CDMA

Мета наукової статті полягає в дослідженні впливу процесу автоматизації рівнем потужності сигналу передавачів базової та мобільних станцій мережі рухомого зв'язку стандарту CDMA. Також наведені розрахунки максимальної кількості активних мобільних абонентів в комірці, потужності сигналу, яка припадає на одного абонента мережі мобільного зв'язку, ймовірності бітової помилки в залежності від потужності шумів на вході приймача та швидкості передачі цифрової інформації.

Ключові слова: автоматизація рівня потужності приймача, мобільний зв'язок, стандарт CDMA, мобільна станція (МС), базова станція (БС), внутрішньосистемні завади, співвідношення сигнал/завада, ймовірність бітової помилки.

LUZHANSKY V., FORKUN I., FORKUN Y., KLOTS Y.

Khmelnitsky National University

THE INFLUENCE OF THE AUTOMATION PROCESS ON THE LEVEL OF THE SIGNAL POWER OF THE TRANSMITTERS OF THE BASE AND MOBILE STATIONS OF THE MOBILE NETWORK OF THE CDMA STANDARD

The purpose of the scientific article is to study the effects of the process of automation of the signal power level of transmitters of base and mobile stations of the mobile network of the CDMA standard. Calculations of the maximum number of active mobile subscribers in a cell, signal strength per mobile subscriber, probability of bit error depending on the power of noise at the receiver input and digital data rate are also given.

In the process of development of mobile communication networks, the issues of their planning and optimization are important. We will study that before the automated control of the signal power level of transmitters of base and mobile stations of the CDMA mobile network on the number of active subscribers in the cell, the signal-to-noise ratio at the input of base and mobile station receivers, the impact of intra-system interference in the mobile network, the effect of receiver noise and the rate of transmission of digital information on the probability of bit error.

CDMA mobile networks have a high noise immunity to signal interference, which is achieved through a special coding algorithm, which allows to transmit the signal almost without distortion, and the CDMA standard allows to achieve a minimum amount of harmful radiation during operation and low cost of cellular tariffs standard. Therefore, further research on CDMA mobile networks is relevant.

Keywords: receiver traffic level automation, mobile communication, CDMA standard, mobile station (MS), base station (BS), internal system interference, signal-to-noise ratio, bit error probability.

Вступ. В процесі розвитку мереж мобільного зв'язку важливими є питання їх планування і оптимізації. Проведемо дослідження, що до автоматизованого регулювання рівня потужності сигналу передавачів базової та мобільних станцій мережі рухомого зв'язку стандарту CDMA на кількість активних абонентів в комірці, на співвідношення сигнал/завада на вході приймачів базової та мобільних станцій, на вплив внутрішньосистемних завади в мережі мобільного зв'язку при заданій якості, впливу шумів приймача та швидкості передачі цифрової інформації на ймовірність бітової помилки.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Мережі мобільного зв'язку стандарту CDMA мають високу завадостійкість перед перешкодами сигналів, що досягається завдяки спеціальним алгоритмом кодування, що дозволило домогтися передачі сигналу практично без спотворення, також стандарт CDMA дозволяє домогтися мінімальної кількості шкідливого випромінювання при роботі обладнання і низької вартості тарифів стільникового зв'язку стандарту. Тому подальше дослідження мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA є актуальним.

Формування мети. Мета наукової статті полягає в дослідженні впливу процесу автоматизації рівнем потужності сигналу передавачів базової та мобільних станцій мережі рухомого зв'язку стандарту CDMA. Також наведені розрахунки максимальної кількості активних мобільних абонентів в комірці, потужності сигналу, яка припадає на одного абонента мережі мобільного зв'язку, ймовірності бітової помилки в залежності від потужності шумів на вході приймача та швидкості передачі цифрової інформації.

Результати дослідження. Контролер базових станцій (КБС) або BSC (Base Station Controller) здійснюють автоматичне керування декількома (10-15) базовими станціями (БС). Один контролер може керувати до 1020 приймачами та передавачами БС. Контролер базової станції з'єднується з центром комутації рухомого зв'язку шляхом цифрової радіорелейної лінії (ЦРРЛ) в діапазонах 11,13...23 ГГц, пропускаючи цифровий потік зі швидкістю 64 кбіт/с.

Контролер базової станції виконує наступні функції:

- встановлює з'єднання між двома мобільними станціями (МС), які знаходяться в одній комірці;
- встановлює з'єднання між двома мобільними станціями, які знаходяться в зоні дії різних БС, але які контролюються одним і тим же контролером базових станцій;
- передає обслуговування мобільної станції(МС) від однієї БС до іншої при перетині мобільною станцією межі між комірками, як що обидві БС контролюються одним і тим же контролером базових станцій;
- організує радіовимірювання в радіотракті співвідношення сигнал/шум для автоматичного оперативного регулювання вихідної потужності передавачів БС та МС .

Центральним елементом коміркової системи рухомого радіозв'язку є центр управління та обслуговування (ЦУО) або ОМС (Operations and Maintenance Center), який забезпечує автоматичне керування всіма елементами системи, а також здійснює контроль якості функціонування мережі в основному.

Потужності передавачів МС в одній комірці встановлюється таким чином, що б на вході приймача БС потужності сигналів, які приходять, автоматично регулювались з точністю $\pm 0,2$ дБ для стандарту CDMA.

В стандарті CDMA потужність передавачів БС регулюється дискретно кроком $\pm 0,2$ дБ. Автоматичне регулювання потужності передавача БС зменшує рівень внутрішньосистемних завад, що дозволяє збільшити ємність мережі (число активних мобільних абонентів). Точність автоматичного регулювання потужності передавача МС кроком $\pm 0,5$ дБ. В технології CDMA IS-95 на кожній несучій частоті можна організувати до 55 цифрових мовних каналів. Автоматизоване управління потужностями передавачів МС і БС забезпечує ефективну боротьбу з швидкими та повільними замираннями сигналів, зменшує дію завад, компенсує згасання сигналів та економить електроенергію БС та МС та забезпечує максимальну кількість активних абонентів в комірці БС, зменшує вартість послуг та зменшує дію електромагнітних хвиль на організм людини.

Автоматичне вирівнювання рівнів сигналів активних МС на вході приймача БС реалізує схема з замкнутою петлею пілот-сигналу, в якому знаходиться інформація про співвідношення сигнал/завада. Потужність пілотного сигналу на 4-6дБ перевищує потужність в каналі трафіку. Проведемо розрахунок числа активних абонентів в коміркових системах рухомого радіозв'язку з кодовим поділом каналів. Особливості розрахунку ємності стільника при номінальному плануванні мережі UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Ємність стільника визначається числом абонентів, що обслуговуються одночасно на одному частотному каналі. Так як точне визначення цього числа є складним завданням, залежить від багатьох чинників. Розглянемо наближену методику розрахунку, засновану на наступних припущеннях – всі МС: в комірці знаходяться на рівній відстані від антени базової станції; мають однакову потужність передавачів радіосигналів; мають однакову швидкість передачі даних.

Введено поняття виграшу G у відношенні сигнал/шум за рахунок ширококумовості використовуваного радіосигналу ($B \gg 1$). З урахуванням прийнятих допущень всі абоненти мають однаковий виграш G . При цьому швидкість передачі елементарних символів в соті фіксована (3,84 Мбіт/с), а G визначається швидкістю передачі даних R в каналі.

Фізичний механізм підвищення відношення сигнал/завада ґрунтується на тому, що для k -го сигналу в кореляторі використовується відповідний йому опорний сигнал, і спектр корисного сигналу стискається. В результаті операції стиснення енергія корисного сигналу виявляється зосереджена в смузі частот вихідного цифрового сигналу. Для всіх інших сигналів використовується в кореляторі псевдо випадкової послідовності який не є опорним сигналом. Тому після обробки в кореляторі їх спектри залишаються ширококумовими, а доля енергії в основній смузі є незначною. Ступінь розширення (стиснення) спектра залежить від бази сигналу, яка визначається наступним чином:

$$B = FT, \quad (1)$$

де F – ширина спектру цифрового сигналу на вході модулятора передавача; T – тривалість символу інформаційної послідовності, наприклад, для стандарту cdmaOne $F = 1,2288$ МГц і $T = 1/9,6$ мс, тому $B = FT = 1,2288 \cdot 10^6 / 9,6 \cdot 10^3 = 128$. База є однією з найважливіших характеристик сигналу з розширеним спектром, вона визначає виграш при кореляційній обробці або просто виграш обробки.

Відповідно співвідношення потужностей сигналу і шуму на вході приймача визначається виразом:

$$\frac{P_C}{P_{N_0}} = \frac{E_B + N_0}{G}. \quad (2)$$

Припустимо, що в комірці є N активних абонентів. Тоді для кожного абонента потужність шуму визначається сумою потужностей радіосигналів від інших абонентів $P_{N_0} = (N-1)P_C$. У цьому випадку (3) набуде вигляду:

$$\frac{P_c}{P_{N_0}} = \frac{P_c}{P_c(N-1)} = \frac{1}{N-1}. \quad (3)$$

При великому числі активних абонентів вираз (3) можна спростити, таким чином, $(E_b / N_0) / G \approx 1 / N$, або число активних абонентів в комірку:

$$N = \frac{G}{E_b / N_0}. \quad (4)$$

Припустимо, що база радіосигналів, що використовуються в комірці, дорівнює 128, необхідне відношення сигнал / шум на вході приймача базової станції становить 3 дБ (2 рази). За формулою (4) виводимо:

$$N \approx \frac{G}{E_b / N_0} \approx \frac{128}{2} = 64 \text{ (або } \hat{N} \text{)}). \quad (5)$$

Теоретично 64 – максимальне число активних абонентів в комірці при $G = 128$. При розрахунку враховувався лише вплив перешкод всередині комірки. Якщо врахувати вплив внутрішньо системних завад від сусідніх комірок, то число абонентів, що обслуговуються зменшиться. Так, при рівному впливу сусідніх комірок число абонентів, що обслуговуються, зменшиться вдвічі: $64/2 = 32$.

Необхідне співвідношення E_b / N_0 є головним чинником при розрахунку ємності комірки, пов'язаного зі швидкістю передачі даних в частотному каналі. Відношення сигнал/шум характеризується наступними фізичними принципами:

- спектральна щільність теплових шумів є постійною величиною і характеристикою приймача;
- зі збільшенням бази радіосигналу (виграшу G) необхідне значення енергії радіосигналу для передачі одного біта повідомлення зменшується;
- збільшення швидкості передачі даних вимагає великого значення енергії;

Розрахунок потужності передавача базової станції, випромінюваної на одну мобільну станцію. У системах стандарту CDMA на кожну МС доводиться певна частка сумарної потужності передавача БС. Більшість виробників обладнання CDMA рекомендує використовувати такі значення потужності передавача, що припадають на одного абонента: 0,46...2,19 Вт (–3,3...–3,4 дБВт), залежно від віддаленості МС від БС. Згідно з моделлю Окамури–Хати потужність сигналу, яка припадає на одного абонента визначається співвідношенням:

$$P_{AN} = [69,55 + P_{iN} + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{AN} - \alpha - G_{AN} + (44,9 - 6,55 \lg h_{AN}) \lg R + k_t \sigma_0], \quad (6)$$

$$\text{де } \alpha = (1,1 \lg f - 0,7) h_{iN} - (1,56 \lg f - 0,8); \quad (7)$$

P_{MC} – чутливість приймача мобільної станції, дБВт;

f – частота, на якій здійснюється передача сигналів в мережі, МГц;

R_0 – радіус стільника, км;

G_{BC} – коефіцієнт підсилення антени базової станції, дБ;

h_{BC} – висота підвісу антени БС, м;

h_{MC} – висота підвісу антени МС, м.

Якщо прийняти значення $P_{BC} = -154$ дБВт, $f = 2,1$ ГГц, $G_{BC} = 21$ дБ, $h_{BC} = 32$ м, $h_{MC} = 1,7$ м, $R_0 = 8$ км, $k_t \sigma_0 = 1,645 k_t \sigma_0 \cdot 1,39 = 2,3$.

Підставимо числові значення в формулу (5) і отримаємо:

$$P_{AN} = [69,55 - 154 + 26,16 \lg 2100 - 13,82 \lg 32 - 0,606 - 21 + (44,9 - 6,55 \lg 32) \lg 8 + 2,3] = -1,65 \text{ дБВт (0,7 Вт)}.$$

Останній член цього виразу визначає запас потужності сигналу для забезпечення заданої надійності радіоканалу. Цей запас в системах CDMA виявляється менше, ніж в інших системах, так як МС здійснює вибір тієї БС, яка забезпечує найбільший рівень сигналу.

Повна потужність сигналу, що випромінюється антеною БС з урахуванням регулювання потужності БС, визначається формулою:

$$P_t = \frac{1,09 \alpha 0,3 n_0}{1 - \lambda}, \quad (8)$$

де n_0 – для прийнятних значень (50...60); λ – середня довжина електромагнітної хвилі (0,14 м).

$$P_t = \frac{1,09 \cdot 0,606 \cdot 0,3 \cdot (50 \dots 60)}{1 - 0,14} = (11,5 \dots 13,8) \text{ Вт.}$$

Отриманий результат вказує на те, що в системах CDMA значення випромінюваної потужності базовою станцією істотно нижче, ніж в системах TDMA (GSM-900, GSM-1800 та ін.)

У цифровій системі передачі інформації по каналу зв'язку з білим гауссівським шумом використовують двійкову фазову маніпуляцію ФМ-2 (BPSK).

Швидкість передачі інформації дорівнює $R = 10$ Мбіт/с. У приймачі сигнали обробляються когерентно з використанням узгодженого фільтра. Рівень потужності сигналу на вході приймача базової станції становить $P_c = 112$ дБВт. Коефіцієнт шуму приймача дорівнює $n = 9$ дБ. Визначимо ймовірність бітової помилки при чотирьох заданих даних 12, 15, 18 та 20 МБ/с.

Розв'язання. Перш за все визначимо потужність сигналу на вході приймача:

$$P_{\text{вх}} = 10^{0,1 \cdot P_c} = 10^{-11,2} = 6,3 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = 6,3 \text{ нВт.}$$

Відповідно продовжимо наші розрахунки і знайдемо тривалість одного біта при 12, 15, 18 та 20 МБ/с, відповідно:

$$\begin{aligned} T_{12} &= \frac{1}{R} = \frac{1}{12 \cdot 10^6} = \frac{1}{12 \cdot 10^6} = 0,083 \cdot 10^{-6} \text{ с;} \\ T_{15} &= \frac{1}{R} = \frac{1}{15 \cdot 10^6} = \frac{1}{15 \cdot 10^6} = 0,067 \cdot 10^{-7} \text{ с;} \\ T_{18} &= \frac{1}{R} = \frac{1}{18 \cdot 10^6} = \frac{1}{18 \cdot 10^6} = 0,056 \cdot 10^{-6} \text{ с;} \\ T_{20} &= \frac{1}{R} = \frac{1}{20 \cdot 10^6} = \frac{1}{20 \cdot 10^6} = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ с.} \end{aligned}$$

Відповідно знайдемо енергію, що витрачається на передачу одного біта:

$$\begin{aligned} E_{b12} &= P_c \cdot T = 6,3 \cdot 10^{-12} \cdot 0,083 \cdot 10^{-6} = 0,52 \cdot 10^{-18} \text{ Дж;} \\ E_{b15} &= P_c \cdot T = 6,3 \cdot 10^{-12} \cdot 0,067 \cdot 10^{-6} = 0,42 \cdot 10^{-18} \text{ Дж;} \\ E_{b18} &= P_c \cdot T = 6,3 \cdot 10^{-12} \cdot 0,056 \cdot 10^{-6} = 0,35 \cdot 10^{-18} \text{ Дж;} \\ E_{b20} &= P_c \cdot T = 6,3 \cdot 10^{-12} \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} = 0,32 \cdot 10^{-18} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Потужність шумів на вході приймача можна визначити за формулою (9):

$$P_{\text{ш}} = nkT_0 \Delta f_{\text{ПР}}, \text{ Вт,} \quad (9)$$

де n – коефіцієнт шуму приймача; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – постійна Больцмана; $T_0 = 290 \text{ К}$ – шумова температура в градусах Кельвіна; $\Delta f_{\text{ПР}}$ – смуга пропускання високочастотного тракту приймача. Звідси одностороння спектральна щільність потужності білого шуму може бути представлена як:

$$N_0 = nkT_0, \text{ Вт/Гц,} \quad N_0 = -195 \text{ дБВт/Гц} = 3,16 \cdot 10^{-20}, \text{ Вт/Гц.}$$

Тепер можна знайти співвідношення сигнал/шум на вході приймача:

$$\begin{aligned} E_{b12} / N_0 &= \frac{0,52 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}} = 16,45 \text{ дБ;} \\ E_{b15} / N_0 &= \frac{0,42 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}} = 13,3 \text{ дБ;} \\ E_{b18} / N_0 &= \frac{0,35 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}} = 11 \text{ дБ.} \\ E_{b20} / N_0 &= \frac{0,32 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}} = 10 \text{ дБ;} \end{aligned}$$

Тепер вирахуємо ймовірність помилки:

$$P_{b12} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 0,52 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5,73) = 0,5 \cdot 10^{-8}$$

$$P_{b15} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 0,42 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5,15) = 1,3 \cdot 10^{-7}$$

$$P_{b18} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 0,35 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4,7) = 1,3 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{b20} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 0,32 \cdot 10^{-18}}{3,16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4,5) = 3,3 \cdot 10^{-6}$$

Ймовірність бітової помилки від швидкості передачі цифрової інформації наведено в таблиці 1:

Таблиця 1

Залежність ймовірності бітової помилки від швидкості передачі цифрової інформації

R , Мбіт/с	12	15	18	20
P_b	$0,5 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$

Висновки

1. Процес автоматизації рівнем потужності сигналу передавачів базової та мобільних станцій мережі рухомого зв'язку стандарту CDMA забезпечує задане співвідношення сигнал/завада на вході приймачів базових та мобільних станцій при заданій якості зв'язку, зменшує внутрішньо/системні завади мережі, забезпечує економне споживання приймально/передавального обладнання систем мобільного зв'язку, забезпечує максимальну кількість активних абонентів в мережі та забезпечує мінімальну кількість шкідливого впливу електромагнітного випромінювання на організм людини.

2. Максимальна кількість активних користувачів в комірці мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA при заданих умовах буде складати 64 абонента.

3. Згідно з моделлю Окамури-Хати потужність сигналу, яка припадає на одного абонента буде складати **–1,65 дБВт. (0,7 Вт).**

4. При збільшенні швидкості передачі цифрової інформації ймовірність бітової помилки зростає. Так при швидкості 12 Мбіт/с ймовірність бітової помилки $P_b = 0,5 \cdot 10^{-8}$ а при швидкості 20 Мбіт/с буде $P_b = 1,3 \cdot 10^{-6}$.

Література

1. Сукачов Е. А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник / Е. А. Сукачов: [3-е вид, випр. і доп.]. – Одеса: ОНАЗ ім. А. С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Маковеева М. М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник для вузів / М. М. Маковеева, Ю. С. Шінаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Смирнов Н. І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н. І. Смирнов, Ю. А. Караваєв, В. А. Сівов // Електросвязь. – 2001.- № 10. – С. 30-33

References

1. Sukachov E. A. Stil'nykovi merezhi radiozv'jazku z ruhomymy ob'jektiv: navch. posibnyk / E. A. Sukachov: [3-e vyd, vypr. i dop.] . – Odesa: ONAZ im. A. S. Popova, 2013. – 256 s.
2. Makovjejeva M. M. Systemy zv'jazku z ruhomymy ob'jektiv: navch. posibnyk dlja vuziv / M. M. Makovjejeva, Ju. S. Shinakov. – M.: Radio y svjaz', 2002. – 440 s.
3. Smyrnov N. I. Ocinka propusknoi' spromozhnosti bazovyh stancij system MDKR pry zmini shhil'nosti i'h roztashuvannja / N. I. Smyrnov, Ju. A. Karavajev, V. A. Sivov // Elektrosvjaz'. – 2001.- № 10. – S. 30-33

Надійшла / Paper received: 16.10.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.12.2020