

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ВІДПОВІДНИХ СПІВВІДНОШЕННЯХ СИГНАЛ/ШУМ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ ТА ЧИСЛА МАКСИМАЛЬНО АКТИВНИХ АБОНЕНТІВ

Стаття присвячена дослідженню впливу швидкості передачі даних в коміркових системах рухомого радіозв'язку з кодовим розподілом каналів при відповідних співвідношеннях сигнал/шум на вході приймача на ймовірність біткової помилки та знаходженню числа максимально активних абонентів в комірці. Розглянуто застосування завадостійких методів модуляції, ефективних систем багатостанційного доступу розподілу каналів, зменшення внутрішньосистемних завад. Наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/шум в будь-якій точці мобільного зв'язку, а також для контролю ступеня зміни цього відношення при переміщенні мобільної станції.

Ключові слова: швидкість передачі даних, ймовірність біткової помилки, співвідношення сигнал/шум, стандарт CDMA, абонентська ємність.

V.I. LUZHANSKIY, L.V. KARPOVA, Y.V. MARIINA
Khmelnytsky National University

THE INFLUENCE OF THE SPEED OF DATA TRANSMISSION IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS WITH APPROPRIATE RATIO SIGNAL/NOISE ON THE PROBABILITY OF BIT ERROR AND THE MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE SUBSCRIBERS

The article is devoted research of influence of speed of data transmission in a cellular mobile radio system with code division of channels in appropriate ratios of signal/noise at the input of the receiver the probability of bit error and finding the maximum number of active subscribers in the cell. The paper describes the application of error-correcting modulation techniques, effective systems balatonring access to distribution channels, reduce system noise internally. Calculation formulas for determining the signal-to-noise ratio at any point in mobile communications and also to control the degree of change of this relationship when moving mobile station.

Keywords: speed of data transmission, probability of bit error, the ratio signal/noise, CDMA, subscriber capacity.

Вступ

Розвиток мобільного Інтернету вимагає багатократного підвищення швидкості передачі даних. Причиною розвитку високошвидкісних технологій стало зростання попиту на смартфони, планшети та інші інтернет-пристрої, які використовують широкосмуговий доступ до мереж зв'язку.

В той же час підвищення швидкості цифрових систем мобільного зв'язку потребує застосування завадостійких методів модуляції, ефективних систем багатостанційного доступу розподілу каналів, зменшення внутрішньосистемних завад та забезпечення максимально можливого числа абонентів в комірці при допустимій ймовірності символічних та бітових помилок.

Аналіз стану досліджень та публікацій.

Аналіз літературних джерел [1–5] показує недостатність проведених досліджень у цьому напрямку.

Формування цілі.

Метою даної роботи є дослідження впливу високої швидкості цифрових потоків інформації мобільних коміркових мереж та числа максимально активних абонентів в комірці на задану якість зв'язку.

Результати дослідження.

Насамперед визначимо потужність сигналу на вході приймача.

$$P_c = 10^{0.1 \cdot p_c} \quad (1)$$

де P_c – потужність сигналу на вході, Вт; p_c – задана потужність на вході приймача, дБВт.

Тривалість тактового інтервалу (тривалість одного біту) дорівнює

$$T = 1/R. \quad (2)$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$E_b = P_c \cdot T. \quad (3)$$

Потужність шумів на вході приймача можна визначити по формулі [6] :

$$P_{ш.нр} = n \cdot k \cdot \Delta f_{нр}, \quad (4)$$

де n – коефіцієнт шуму приймача ($n = 9$ дБ); $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц · град – стала Больцмана; $T_0 = 290$ К – шумова температура в градусах Кельвіна; $\Delta f_{нр}$ – ширина смуги пропускання високочастотного тракту приймача.

Звідси одностороння спектральна щільність потужності білого шуму може бути представлена як:

$$N_0 = n \cdot k \cdot T_0, \quad (5)$$

що дозволяє записати:

$$N_0 = k \cdot T_0 + n = -204 + 9 = -195 \frac{\text{дБ} \cdot \text{Вт}}{\text{Гц}}. \quad (6)$$

Останній результат можна переписати у вигляді:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}. \quad (7)$$

Відношення сигнал/шум на вході приймача знаходиться як:

$$E_b / N_0. \quad (8)$$

Ймовірність помилки розраховується:

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_b}{N_0}} \right). \quad (9)$$

Визначимо ймовірність бітової помилки в системах мобільного зв'язку з фазовою маніпуляцією ФМ-2 (BPSK) для забезпечення якості прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки $10^{-6} - 10^{-8}$.

При швидкості передачі $R=1.23$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($P_{c,\max}$) на вході приймача, яка забезпечує максимальну якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q -функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} ($Q(5.57)$). За формулою (9) знаходимо значення $E_b = 4.9 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/1.23 \cdot 10^6 = 8.13 \cdot 10^{-7}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $P_{c,\max}$.

$$P_{c,\max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -122.2 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} ($Q(4.74)$) [1].

$$P_{c,\min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -123.6 \text{ дБ Вт}.$$

Визначимо ймовірність бітових помилок в межах динамічного діапазону потужності сигналу на вході приймача ($P_{c,\max} = -122.2$ дБВт; $P_{c,\min} = -123.6$ дБВт)

Знайдемо потужність сигналу на вході приймача

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 10^{0.1 \cdot (-122.2)} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c2} &= 10^{0.1 \cdot (-122.4)} = 0.575 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c3} &= 10^{0.1 \cdot (-122.6)} = 0.55 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c4} &= 10^{0.1 \cdot (-122.8)} = 0.523 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c5} &= 10^{0.1 \cdot (-123)} = 0.501 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c6} &= 10^{0.1 \cdot (-123.2)} = 0.479 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c7} &= 10^{0.1 \cdot (-123.4)} = 0.457 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c8} &= 10^{0.1 \cdot (-123.49)} = 0.448 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c9} &= 10^{0.1 \cdot (-123.55)} = 0.442 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c10} &= 10^{0.1 \cdot (-123.6)} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c1} &= P_{c,\max} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c10} &= P_{c,\min} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1.23 \cdot 10^6 \text{ біт/с}} = 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} E_{b1} &= P_{c1} \cdot T_1 = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b2} &= P_{c2} \cdot T_1 = 0.575 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b3} &= P_{c3} \cdot T_1 = 0.55 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.47 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b4} &= P_{c4} \cdot T_1 = 0.523 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.25 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b5} &= P_{c5} \cdot T_1 = 0.501 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.07 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b6} &= P_{c6} \cdot T_1 = 0.479 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b7} &= P_{c7} \cdot T_1 = 0.457 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b8} &= P_{c8} \cdot T_1 = 0.448 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.64 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b9} &= P_{c9} \cdot T_1 = 0.442 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.59 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b10} &= P_{c10} \cdot T_1 = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{Вт}{Гц}$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача:

$$\begin{aligned} \frac{E_{b1}}{N_0} &= \frac{4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.51. & \frac{E_{b2}}{N_0} &= \frac{4.67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.78. \\ \frac{E_{b3}}{N_0} &= \frac{4.47 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.15. & \frac{E_{b4}}{N_0} &= \frac{4.25 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.45. \\ \frac{E_{b5}}{N_0} &= \frac{4.07 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.88. & \frac{E_{b6}}{N_0} &= \frac{3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.31. \\ \frac{E_{b7}}{N_0} &= \frac{3.72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.77. & \frac{E_{b8}}{N_0} &= \frac{3.64 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.52. \\ \frac{E_{b9}}{N_0} &= \frac{3.59 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.36. & \frac{E_{b10}}{N_0} &= \frac{3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.23 \end{aligned}$$

Розраховуємо ймовірність бітової помилки:

$$\begin{aligned} P_{b1} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.9 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.57) = 1.274 \cdot 10^{-8}. & P_{b2} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.67 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.44) = 2.664 \cdot 10^{-8}. \\ P_{b3} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.47 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.32) = 5.188 \cdot 10^{-8}. & P_{b4} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.25 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.19) = 1.051 \cdot 10^{-7}. \\ P_{b5} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.07 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.08) = 1.887 \cdot 10^{-7}. & P_{b6} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.89 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.96) = 3.525 \cdot 10^{-7}. \\ P_{b7} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.72 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.85) = 0.6173 \cdot 10^{-6}. & P_{b8} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.64 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.8) = 0.7933 \cdot 10^{-6}. \\ P_{b9} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.59 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.77) = 0.9211 \cdot 10^{-6}. & P_{b10} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.55 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.74) = 1.069 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Таблиця 1

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 1.23 Мбіт/с

Ймовірність помилки, 10^{-7}	0.127	0.266	0.519	1.051	1.887	3.525	6.173	7.933	9.211
Потужність сигналу, дБВт	-122.2	-122.4	-122.6	-122.8	-123	-123.2	-123.4	-123.49	-123.55
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.51	14.78	14.15	13.45	12.88	12.31	11.77	11.52	11.36

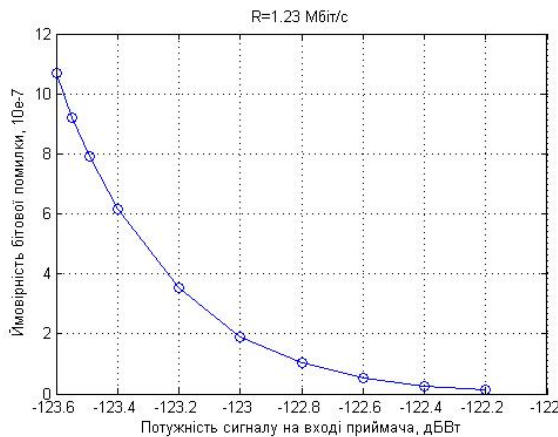


Рис. 1. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача

При швидкості передачі $R=2.048$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($P_{c,max}$) на вході приймача, яка забезпечує якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} (Q(5.6)). По формулі (9) знаходимо значення $E_b = 4.95 \cdot 10^{-19}$ Джс.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/2.048 \cdot 10^6 = 4.88 \cdot 10^{-7}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $P_{c,max}$.

$$P_{c,max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -119.94 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} (Q(4.75)) [1].

$$P_{c,min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -121.36 \text{ дБ Вт}.$$

Визначаємо потужність сигналу на вході приймача.

$$P_{c1} = 10^{0.1 \cdot (-119.94)} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c2} = 10^{0.1 \cdot (-120.3)} = 0.933 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c3} = 10^{0.1 \cdot (-120.7)} = 0.851 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c4} = 10^{0.1 \cdot (-120.77)} = 0.838 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c5} = 10^{0.1 \cdot (-120.8)} = 0.832 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c6} = 10^{0.1 \cdot (-120.84)} = 0.824 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c7} = 10^{0.1 \cdot (-120.9)} = 0.813 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c8} = 10^{0.1 \cdot (-121)} = 0.794 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c9} = 10^{0.1 \cdot (-121.15)} = 0.767 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c10} = 10^{0.1 \cdot (-121.36)} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c1} = P_{c,max} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad P_{c10} = P_{c,min} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2.048 \cdot 10^6 \text{ біт/с}} = 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$E_{b1} = P_{c1} \cdot T_2 = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b2} = P_{c2} \cdot T_2 = 0.933 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.55 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b3} = P_{c3} \cdot T_2 = 0.851 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.15 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b4} = P_{c4} \cdot T_2 = 0.838 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.09 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b5} = P_{c5} \cdot T_2 = 0.832 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.06 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b6} = P_{c6} \cdot T_2 = 0.824 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.02 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b7} = P_{c7} \cdot T_2 = 0.813 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.97 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b8} = P_{c8} \cdot T_2 = 0.794 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.87 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b9} = P_{c9} \cdot T_2 = 0.767 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.74 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b10} = P_{c10} \cdot T_2 = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача.

$$\frac{E_{b1}}{N_0} = \frac{4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.66. \quad \frac{E_{b2}}{N_0} = \frac{4.55 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.44.$$

$$\frac{E_{b3}}{N_0} = \frac{4.15 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.13. \quad \frac{E_{b4}}{N_0} = \frac{4.09 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.94.$$

$$\frac{E_{b5}}{N_0} = \frac{4.06 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.85. \quad \frac{E_{b6}}{N_0} = \frac{4.02 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.72.$$

$$\frac{E_{b7}}{N_0} = \frac{3.97 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.56. \quad \frac{E_{b8}}{N_0} = \frac{3.87 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.25.$$

$$\frac{E_{b9}}{N_0} = \frac{3.74 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.84.$$

$$\frac{E_{b10}}{N_0} = \frac{3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.3.$$

Розраховуємо ймовірність помилки:

$$P_{b1} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.95 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.6) = 1.072 \cdot 10^{-8}, \quad P_{b2} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.55 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.37) = 3.937 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b3} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.15 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.12) = 1.528 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b4} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.09 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.09) = 1.790 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.06 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.07) = 1.989 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b6} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.02 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.04) = 2.328 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b7} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.97 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.01) = 2.722 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b8} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.87 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.95) = 3.711 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b9} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.74 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.87) = 0.5580 \cdot 10^{-6}, \quad P_{b10} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.57 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.75) = 1.017 \cdot 10^{-6}.$$

Таблиця 2

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 2.048 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки, 10^{-7}	0.107	0.394	1.528	1.790	1.989	2.328	2.722	3.711	5.580	10.17
Потужність сигналу, дБВт	-119.94	-120.3	-120.7	-120.77	-120.8	-120.84	-120.9	-121	-121.15	-121.36
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.66	14.44	13.13	12.94	12.85	12.72	12.56	12.25	11.84	11.3

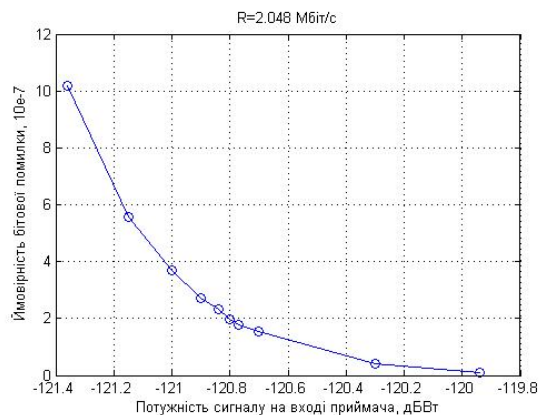


Рис. 2. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача

При швидкості передачі $R=1000$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($p_{c,max}$) на вході приймача, яка забезпечує якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} ($Q(5.58)$). По формулі (9) знаходимо значення $E_b = 4.92 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/10^9 = 10^{-9}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $p_{c,max}$.

$$p_{c,max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{10^{-9} \text{ с}} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} = -93.08 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} ($Q(4.68)$) [1].

$$P_{c, \min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{10^{-9} \text{ с}} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} = -94.61 \text{ дБ Вт}.$$

Визначаємо потужність сигналу на вході приймача.

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 10^{0.1 \cdot (-93.08)} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c2} &= 10^{0.1 \cdot (-93.2)} = 4.79 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \\ P_{c3} &= 10^{0.1 \cdot (-93.4)} = 4.57 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c4} &= 10^{0.1 \cdot (-93.75)} = 4.22 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \\ P_{c5} &= 10^{0.1 \cdot (-93.8)} = 4.17 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c6} &= 10^{0.1 \cdot (-94)} = 3.98 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \\ P_{c7} &= 10^{0.1 \cdot (-94.1)} = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c8} &= 10^{0.1 \cdot (-94.15)} = 3.85 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \\ P_{c9} &= 10^{0.1 \cdot (-94.4)} = 3.63 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c10} &= 10^{0.1 \cdot (-94.61)} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \\ P_{c1} &= P_{c, \max} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, & P_{c10} &= P_{c, \min} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1 \cdot 10^9 \text{ біт/с}} = 10^{-9} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} E_{b1} &= P_{c1} \cdot T_3 = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b2} &= P_{c2} \cdot T_3 = 4.79 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.79 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b3} &= P_{c3} \cdot T_3 = 4.57 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b4} &= P_{c4} \cdot T_3 = 4.22 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.22 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b5} &= P_{c5} \cdot T_3 = 4.17 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.17 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b6} &= P_{c6} \cdot T_3 = 3.98 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b7} &= P_{c7} \cdot T_3 = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b8} &= P_{c8} \cdot T_3 = 3.85 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b9} &= P_{c9} \cdot T_3 = 3.63 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.63 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b10} &= P_{c10} \cdot T_3 = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача.

$$\begin{aligned} \frac{E_{b1}}{N_0} &= \frac{4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.57, & \frac{E_{b2}}{N_0} &= \frac{4.79 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.14, \\ \frac{E_{b3}}{N_0} &= \frac{4.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.46, & \frac{E_{b4}}{N_0} &= \frac{4.22 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.35, \\ \frac{E_{b5}}{N_0} &= \frac{4.17 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.2, & \frac{E_{b6}}{N_0} &= \frac{3.98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.59, \\ \frac{E_{b7}}{N_0} &= \frac{3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.31, & \frac{E_{b8}}{N_0} &= \frac{3.85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.18, \\ \frac{E_{b9}}{N_0} &= \frac{3.63 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.49, & \frac{E_{b10}}{N_0} &= \frac{3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 10.95. \end{aligned}$$

Розраховуємо ймовірність помилки:

$$\begin{aligned} P_{b1} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.92 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.58) = 1.203 \cdot 10^{-8}, & P_{b2} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.79 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.5) = 1.899 \cdot 10^{-8}, \\ P_{b3} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.57 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.38) = 3.724 \cdot 10^{-8}, & P_{b4} &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.22 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.17) = 1.170 \cdot 10^{-7}. \end{aligned}$$

$$P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.17 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.14) = 1.374 \cdot 10^{-7} \quad P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.06 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.07) = 1.989 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b6} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.98 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.02) = 2.584 \cdot 10^{-7} \quad P_{b7} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.89 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.96) = 3.525 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b8} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.85 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.94) = 3.906 \cdot 10^{-7} \quad P_{b9} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.63 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.79) = 0.834 \cdot 10^{-6}.$$

$$P_{b10} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.46 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.68) = 1.434 \cdot 10^{-6}.$$

Таблиця 3

Залежність значення ймовірності біткової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 1000 Мбіт/с

Ймовірність біткової помилки, 10^{-7}	0.120	0.19	0.372	1.170	1.374	2.584	3.525	3.906	8.34	14.34
Потужність сигналу, дБВт	-93.08	-93.2	-93.4	-93.75	-93.8	-94	-94.1	-94.15	-94.4	-94.61
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.57	15.14	14.46	13.35	13.2	12.59	12.31	12.18	11.49	10.95

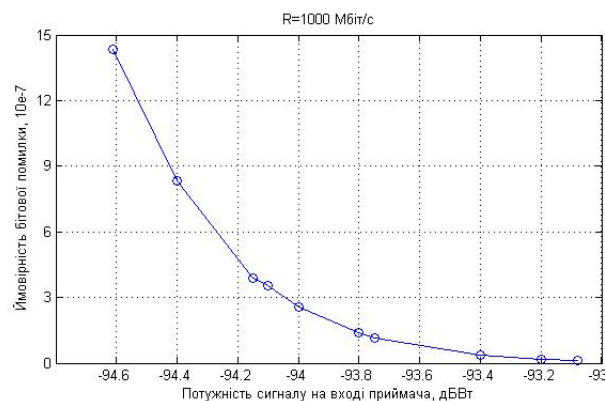


Рис. 3. Залежність значення ймовірності біткової помилки від потужності сигналу на вході приймача

Таблиця 4

Залежність динамічного діапазону потужності сигналу на вході приймача від швидкості передачі інформації в межах ймовірності помилки 10^{-6} до 10^{-8}

швидкість	потужність	$P_{c.min}$, дБ Вт	$P_{c.max}$, дБ Вт
1.23 Мбіт/с		-123.6	-122.2
2.048 Мбіт/с		-121.36	-119.94
1000 Мбіт/с		-94.61	-93.08

Розрахунок числа користувачів в комірковій системі рухомого радіозв'язку з кодовим розподілом каналів. Системні перешкоди прийому базової станції (БС) в технології багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів (БДКР) створюють передавачі сторонніх мобільних станцій (МС) в «своєї» комірці, а також у прилеглих комірках, оскільки всі ці передавачі працюють на одній частоті. Для порівняння зазначимо, що в комірковій системі рухомого радіозв'язку (КСРР) з багатостанційним доступом частотного розподілу каналів і багатостанційним доступом часового розподілу каналів завадовий фон створюється передавачами МС, що знаходяться не в «своєї» комірці, а в осередках сусідніх кластерів, тобто досить віддалених від центральної БС.

Для нормальної роботи зворотної лінії необхідно усунути так званий ефект "близький-далекий". Суть його полягає в тому, що потужність сигналів МС, які близько розташовані до БС, на 30–40 дБ перевищує потужність сигналів віддалених станцій, що повністю маскує роботу останніх. Для периферійних МС якість зв'язку знижується особливо сильно в години найбільшого навантаження. Це призводить до ефекту зміни розмірів зони обслуговування з заданою якістю, відомому під назвою «дихання» комірки (cell).

breathing) [2]. Для максимізації абонентської ємності системи необхідно забезпечити на вході приймача БС рівність рівнів сигналів від всіх МС, що знаходяться в комірці.

Вирівнювання рівнів сигналів активних МС на вході приймача БС реалізує схема із замкнутою петлею регулювання [3, 4]. Точність управління потужністю становить $\pm 0,5$ дБ. Базова станція вимірює (E_b/N_0) 16 разів в кожному кадрі, тобто через 1,25 мс і по прямому каналу посилає команду для зміни потужності МС [5]. Регулювання настільки оперативне, що істотно згладжує навіть швидкі завмирання сигналу.

При ідеальній роботі системи регулювання потужності передавачів МС рівні всіх сигналів на вході приймача БС однакові, тобто $P_{np1} = P_{np2} = \dots = P_{npk} = \dots = P_{npM}$. Тоді відношення сигнал/шум на вході приймача БС можна записати в наступному вигляді:

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}} = \frac{P_{npk}}{P_{ш,np} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^M P_{npi}}, \quad (10)$$

де $P_{ш,np}$ – потужність власних шумів приймача [6].

Зазвичай $P_{ш,np}$, P_{npi} і тепловими шумами можна знехтувати. Тоді (10) можна переписати у вигляді

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}} = \frac{P_{npk}}{(M-1) \cdot P_{npi}} = \frac{1}{M-1}, \quad (11)$$

де M – кількість одночасно працюючих передавачів абонентів мобільного зв'язку.

Фізичний механізм підвищення відношення сигнал / шум 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 зосередженою в смузі частот вихідного цифрового сигналу. Для всіх інших сигналів використовується в кореляторі псевдовипадкова послідовність (ПВП) не є опорним сигналом, тому після обробки в кореляторі їх спектри залишаються широкосмуговими, а частка енергії в основній смузі незначна. Ступінь розширення (стиснення) спектра залежить від бази сигналу, яка визначається наступним чином [7]:

$$B = F \cdot T, \quad (12)$$

де F – ширина спектру цифрового сигналу на вході модулятора передавача; T – тривалість символу інформаційної послідовності.

Наприклад, для стандарту cdmaOne $F = 1.2288 \text{ МГц}$ і $T = 1/9.6 \cdot 10^3 \text{ с}$, тому $B = F \cdot T = 1.2288 \cdot 10^6 \text{ Гц} / 9.6 \cdot 10^3 \text{ с} = 128$. База є однією з найважливіших характеристик сигналу з розширеним спектром, вона визначає вираш при кореляційній обробці, або просто вираш обробки [6]. Тобто,

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вих}} = B \cdot \left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}}. \quad (13)$$

Значення $(c/u)_{\text{вих}}$ відноситься до вузької смугової частини приймача і зазвичай записується еквівалентним виразом E_b/N_0 , де E_b – енергія, витрачена на передачу одного біта; N_0 – спектральна щільність внутрішньо системних завад.

Таким чином, вираз (13) з урахуванням (11) можна переписати як

$$\frac{E_b}{N_0} = B \cdot \frac{1}{M-1}. \quad (14)$$

З (14) легко знайти допустиму кількість активних абонентів в комірці, при якій ще виконуються задані якісні показники:

$$M_n = \frac{B}{E_{bn}/N_{0n}} + 1. \quad (15)$$

де M_n – допустима кількість активних абонентів в комірці; B – база сигналу; E_{bn} – енергія, витрачена на передачу одного біта в комірці; N_{0n} – спектральна щільність внутрішньо системних завад в комірці.

Отже, максимальне число одночасно працюючих МС залежить від бази сигналу B і допустимої величини відношення E_b/N_0 .

Визначимо абонентську ємність – максимальне число активних абонентів в комірці мобільної мережі рухомого радіозв'язку стандарту cdmaOne [1]. Відомо що: $E_b/N_0 = 6 \text{ дБ}$ (4 рази)

$$M = \frac{128}{4} + 1 = 33 \text{ абонента.}$$

Згідно формули (9) при співвідношенні $E_b/N_0 = 6 \text{ дБ}$ (4 рази) знайдемо ймовірність бітової помилки:

$$P_b = Q(\sqrt{E_b/N_0}) = Q(2.83) = 2.33 \cdot 10^{-3}.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірці при швидкості $R=1.23 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.51} + 1 = 9; \quad M_2 = \frac{128}{14.78} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{14.15} + 1 = 10. \quad M_4 = \frac{128}{13.45} + 1 = 10.$$

$$M_5 = \frac{128}{12.88} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.34} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{11.77} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{11.52} + 1 = 12. \quad M_9 = \frac{128}{11.36} + 1 = 12.$$

$$M_{10} = \frac{128}{11.23} + 1 = 12.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірці при швидкості $R=2.048 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.66} + 1 = 9. \quad M_2 = \frac{128}{14.44} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{13.13} + 1 = 10. \quad M_4 = \frac{128}{12.94} + 1 = 10.$$

$$M_5 = \frac{128}{12.85} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.72} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{12.56} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{12.25} + 1 = 11. \quad M_9 = \frac{128}{11.84} + 1 = 11.$$

$$M_{10} = \frac{128}{11.3} + 1 = 12.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірці при швидкості $R=1000 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.57} + 1 = 9. \quad M_2 = \frac{128}{15.14} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{14.46} + 1 = 9. \quad M_4 = \frac{128}{13.35} + 1 = 10. \quad M_5 = \frac{128}{13.2} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.59} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{12.31} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{12.18} + 1 = 11. \quad M_9 = \frac{128}{11.49} + 1 = 12.$$

$$M_{10} = \frac{128}{10.95} + 1 = 12.$$

Таким чином в прямому каналі (БС-МС) можна організувати роботу з 55 абонентами та у зворотному напрямку(каналі) зможуть працювати тільки 33 абонента з ймовірністю бітових помилок $2.33 \cdot 10^{-3}$.

Технічні характеристики стандарту cdmaOne допускають можливість підключення 55 мобільних станцій до БС, проте якість обслуговування абонентів буде при цьому невисокою. Таким чином, рівень взаємних завад безпосередньо визначає абонентську ємність КСРР при БДКР. У зв'язку з цим необхідно зупинитися на цікавій особливості систем з асинхронним кодовим поділом, що отримала назву «м'яке блокування». Відомо, що в системах з багатостанційним доступом частотного розподілу каналів і багатостанційним доступом часового розподілу каналів число фізичних каналів в комірці жорстко фіксоване.

Коли всі канали трафіку зайняті користувачами, відбувається відмова в обслуговуванні, тобто блокування виклику. Можливість блокування з ймовірністю 2% зазвичай вважається допустимою, і виходячи з неї розраховується номінальне число каналів. Інша картина характерна для мереж БДКР. Якщо число активних абонентів вже дорівнює максимальному, який визначається виразом (15), то знову заявки які надходять можна задовольнити, надаючи абонентам в зворотному каналі довгі і короткі ПВП з широким набором циклічних зрушень. Це призведе до деякого зменшення відношення сигнал/шум і зниження якості обслуговування всіх активних користувачів. Таким чином, замість прямої відмови відбувається «м'яке блокування».

Висновки

Динамічний діапазон зміни потужностей на вході приймача знаходиться в межах 1.4 дБ – 1.52 дБ при швидкостях $R_1=1.23 \text{ Мбіт/с}$, $R_2=2.048 \text{ Мбіт/с}$, $R_3=1000 \text{ Мбіт/с}$, який забезпечує ймовірність бітових помилок від 10^{-6} до 10^{-8} .

Отже, при збільшенні швидкості передачі цифрової інформації в мережах мобільного зв'язку від 1.23 Мбіт/с до 1000 Мбіт/с (813 разів) необхідно потужність сигналу на вході приймача підвищити в середньому в 816.5 разів (29.12 дБ), для забезпечення високої якості прийому інформації. При заданих швидкостях передачі кількість активних абонентів в комірці складає від 9 до 12, для яких забезпечується ймовірність

бітових помилок $10^{-6} - 10^{-8}$.

Прямий трафік багатостанційного доступу з кодовим розподілом системи cdmaOne складає 55 каналів. Максимальне число активних абонентів в комірни мобільної мережі рухомого радіозв'язку стандарту cdmaOne буде складати 33 абонента при ймовірності бітрової помилки $2.33 \cdot 10^{-3}$, а при 12 активних абонентах – 10^{-6} .

Отже, система cdmaOne буде знаходити раціональний компроміс між максимальною кількістю активних абонентів та допустимо якісним зв'язком.

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [2-е изд., испр. и доп.]. – Одесса : УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 119 с.
3. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Ратынский М.В. – М. : Радио и связь, 2000. – 248 с.
4. Системы мобильной связи : учеб. пособ. для вузов / [Ипатов В.П., Орлов В.И., Самойлов И.М. и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
5. Берлин А.Н. Сотовые системы связи : учеб. пособ. / Берлин А.Н. – М. : БИНОМ, 2009. – 360 с.
6. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / Феер К. ; пер. с англ. ; под ред. В.И. Журавлева. – М. : Радио и связь, 2000. – 520 с.
7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л.Е. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.

Рецензія/Peer review : 2.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк