УДК 621.396.12

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, В.А. ВОЛОШИНА
Хмельницький національний університет

ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ В СИСТЕМАХ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОГО ТЕРМІНАЛУ ТА ВІДСТАНІ МІЖ НИМИ

Стаття присвячена дослідженню впливу основних технічних параметрів базової станції (БС) на ймовірність бітової помилки, співвідношення сигнал/шум на вході приймача мобільної станції (МС) при відповідній швидкості передачі цифрового потоку. Наводяться розрахункові формули для визначення необхідної відстані між базовою станцією та мобільним терміналом залежно від заданої ймовірності бітової помилки та потужності сигналу на вході приймача.

Ключові слова: ймовірність бітової помилки, співвідношення сигнал/шум,швидкість цифрового потоку, відстань між БС та МС, системи рухомого радіозв'язку.

V.I. LUZHANSKIY, L.V. KARPOVA, V.A. VOLOSHYNA
Khmelnytsky National University

THE INFLUENCE OF THE MAIN PARAMETERS OF THE BASIC STATION IN THE SYSTEMS OF MOBILE RADIO COMMUNICATION ON THE POSSIBILITY OF BITE ERROR ON THE MOBILE TERMINAL RECEIVER AND BETWEEN THE MOBILE TERMINAL

The development of wireless technologies has allowed users to have a connection anywhere in the world. The growth of advances in research and development of wireless communication technologies, the increasing capacity of electronic devices contribute to the spread of services for mobile users. Wireless networks are becoming more interactive, which contributes to the paradigm shift to new generations of mobile networks where continuous mobility in heterogeneous networks is the basic principle. 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 influence of the basic technical parameters of the base station (BS) on the probability of a bit error rate, the signal/noise ratio at the input of the receiver of the mobile station (MS) at the appropriate digital transmission rate. The calculation for mulasare used to determine the required distance between the base station and the mobile terminal, depending on the given probability of the biterr or rate and the signals trength of the receiver input. The probability of a bit error rate in the systems of the mobile communication with the phase modulation of the BPSK and the energy expended on the transmission of one bitis calculated. 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: bit error probability, signal/noise ratio, digitals tream speed, distance between BS and MS, mobile radiosystem.

Вступ

Протягом останніх тридцяти років процес комунікації між людьми значно змінився та перейшов на значно вищий, у розуміння можливостей, рівень. Розвиток бездротових технологій дозволив користувачам мати зв'язок у будь-якій точці світу. Найближчим часом розвиток бездротових технологій матиме ще більший вплив на спілкування людей та їх взаємодію. Зростання досягнень в галузі досліджень і розробки технологій бездротового зв'язку, збільшення можливостей електронних пристроїв сприяють розповсюдженню послуг для мобільних користувачів. Бездротові мережі стають все більш взаємодіючими, що сприяє зрушенню парадигми до нових поколінь мобільних мереж, де безперервна мобільність в неоднорідних мережах стає основним принципом. Це покоління згадується як четверте покоління (4G).

Створення глобальної мережі Інтернет та виникнення масового сервісу в області мобільних телекомунікацій призвело до збільшення швидкості передачі цифрових потоків інформації. Разом з тим підвищення швидкості передачі даних в мережах мобільного зв'язку потребує заданої якості при допустимій ймовірності бітових помилок.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Аналіз публікацій (наприклад, [1–4]) показує недостатність проведених досліджень у цьому напрямку.

Постановка задачі. Метою даної статті є дослідження впливу основних параметрів базової станції в системах рухомого радіозв'язку та ймовірності бітової помилки на вході приймача мобільного терміналу та відстані між БС та МС в умовах забудови міста.

Результати дослідження. Потужність сигналу на вході приймача визначається як:

$$P_{np} = 10^{0.1 \cdot p_{np}}, \quad (1)$$

де P_{np} – потужність сигналу на вході приймача МС, Вт; p_{np} – потужність, що задається на вході приймача, дБВт.

Тактовий інтервал Т має вигляд:

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

де R– швидкість передачі даних .

Енергію, яка витрачається на передачу одного біта(E_b), визначаємо як:

$$E_b = P_{пр} \cdot T. \quad (3)$$

По формулі (4) визначимо потужність шумів на вході приймача МС:

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

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

Спектральна щільність потужності білого шуму буде представлена наступним чином:

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

звідси:

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

Результат можна записати у вигляді:

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

Відношення сигнал/шум на вході приймача МС:

$$E_b / N_0. \quad (6)$$

Розраховуємо ймовірність бітової помилки за наступною формулою:

$$P_{пом} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_b}{N_0}}\right). \quad (7)$$

Визначимо ймовірність бітової помилки в системах стільникового зв'язку з фазовою маніпуляцією ФМ-2 (BPSK) в межах ймовірності бітової помилки 10^{-2} - 10^{-8} .

При швидкості передачі R_1=10Мбіт/с визначимо допустиму потужність сигналу ($p_{пр}$) на вході приймача МС, яка забезпечує ймовірність бітової помилки 10^{-2} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-2} (Q(2.32)). По формулі (7) знаходимо значення $E_{b1} = 8.5 \cdot 10^{-20}$ $Дж$. Аналогічно визначаємо Q-функції для ймовірності помилок 10^{-3}-10^{-8} та значення E_{b2}-E_{b7}.

Таблиця 1

Q-функція при швидкості 10 Мбіт/с

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
2.32	3.07	3.71	4.26	4.75	5.19	5.61

Тактовий інтервал Т дорівнює:

$$T_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10^7 \ біт/с} = 10^{-7} \ с.$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС при швидкості R_1=10 Мбіт/с:

$$P_{пр1} = \frac{E_{b1}}{T_1} = \frac{8.5 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 8.5 \cdot 10^{-13} \ Вт. \ P_{пр5} = \frac{E_{b5}}{T_1} = \frac{35.6 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 35.6 \cdot 10^{-13} \ Вт.$$

$$P_{пр2} = \frac{E_{b2}}{T_1} = \frac{14.9 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 14.9 \cdot 10^{-13} \ Вт. \ P_{пр6} = \frac{E_{b6}}{T_1} = \frac{42.6 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 42.6 \cdot 10^{-13} \ Вт.$$

$$P_{пр3} = \frac{E_{b3}}{T_1} = \frac{21.7 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 21.7 \cdot 10^{-13} \ Вт. \ P_{пр7} = \frac{E_{b7}}{T_1} = \frac{49.7 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 49.7 \cdot 10^{-13} \ Вт.$$

$$P_{пр4} = \frac{E_{b4}}{T_1} = \frac{28.7 \cdot 10^{-20}}{10^{-7}} = 28.7 \cdot 10^{-13} \ Вт.$$

Енергія, що витрачається на передачу одного біта розраховується таким чином:

$$E_{b1} = \frac{Q_1^2 \cdot N_0}{2} = \frac{2.32^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 8.5 \cdot 10^{-20} \ Дж.$$

$$E_{b2} = \frac{Q_2^2 \cdot N_0}{2} = \frac{3.07^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 14.9 \cdot 10^{-20} \ Дж.$$

$$E_{b3} = \frac{Q_3^2 \cdot N_0}{2} = \frac{3.71^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 21.7 \cdot 10^{-20} \ Дж.$$

$$E_{b4} = \frac{Q_4^2 \cdot N_0}{2} = \frac{4.26^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 28.7 \cdot 10^{-20}\ Дж.$$

$$E_{b5} = \frac{Q_5^2 \cdot N_0}{2} = \frac{4.75^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 35.6 \cdot 10^{-20}\ Дж.$$

$$E_{b6} = \frac{Q_6^2 \cdot N_0}{2} = \frac{5.19^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 42.6 \cdot 10^{-20}\ Дж.$$

$$E_{b7} = \frac{Q_7^2 \cdot N_0}{2} = \frac{5.61^2 \cdot 3.16 \cdot 10^{-20}}{2} = 49.7 \cdot 10^{-20}\ Дж.$$

Використовуючи формулу (6) визначимо співвідношення сигнал/шум на вході приймача МС при швидкості R_1=10 Мбіт/с. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача МС при швидкості 10 Мбіт/с надані в таблиці 2.

$$\frac{E_{b1}}{N_0} = \frac{8.5 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 2.68. \quad \frac{E_{b5}}{N_0} = \frac{35.6 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 11.27.$$

$$\frac{E_{b2}}{N_0} = \frac{14.9 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 4.72. \quad \frac{E_{b6}}{N_0} = \frac{42.6 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 13.48.$$

$$\frac{E_{b3}}{N_0} = \frac{21.7 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 6.87. \quad \frac{E_{b7}}{N_0} = \frac{49.7 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 15.73.$$

$$\frac{E_{b4}}{N_0} = \frac{28.7 \cdot 10^{-20}\ Дж}{3.16 \cdot 10^{-20}\ Вт / Гц} = 9.08.$$

Таблиця 2

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача при швидкості 10 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача, дБВт	-120.7	-118.3	-116.6	-115.4	-114.48	-113.7	-113.036
Співвідношення сигнал/шум, E_b / N_0	2.68	4.72	6.87	9.08	11.27	13.48	15.73

При швидкості передачі R_2=50 Мбіт/с визначимо потужність сигналу ($p_{пр1}$) на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-2} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-2} (Q(2.17)). По формулі (7) знаходимо значення $E_{b1} = 7.44 \cdot 10^{-20}\ Дж$. Аналогічно визначаємо Q-функції для ймовірності помилок 10^{-3}-10^{-8} та значення E_{b2}-E_{b7}.

Таблиця 3

Q-функція при швидкості 50 Мбіт/с

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
2.17	2.96	3.6	4.17	4.66	5.12	5.54

Тактовий інтервал T_2дорівнює:

$$T_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{5 \cdot 10^7} = 2 \cdot 10^{-8}\ с.$$

Визначимо потужність сигналу на вході приймача МС за формулою (1), енергію, яка витрачається на передачу одного біта за формулою (3) та співвідношення сигнал/шум на вході приймача МС за формулою (6) при швидкості R_2=50 Мбіт/с. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача МС при швидкості 50 Мбіт/с надані в таблиці 4.

Таблиця 4

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача при швидкості 50 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача, дБВт	-114.3	-111.6	-109.9	-108.6	-107.7	-106.8	-106.15
Співвідношення сигнал/шум, $E_в/N_0$	2.35	4.38	6.48	8.69	10.86	13.11	15.35

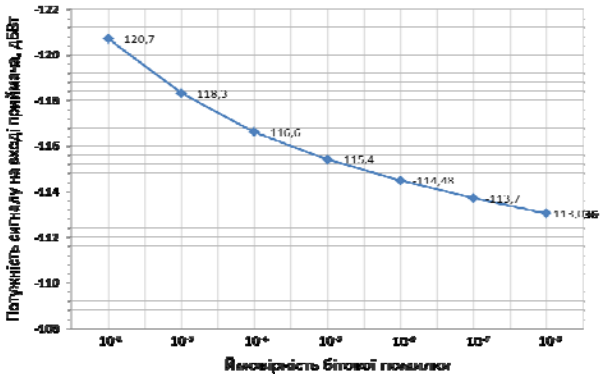

Рис. 1. Залежність значення потужності сигналу на вході приймача від ймовірності бітової помилки при швидкості 10 Мбіт/с

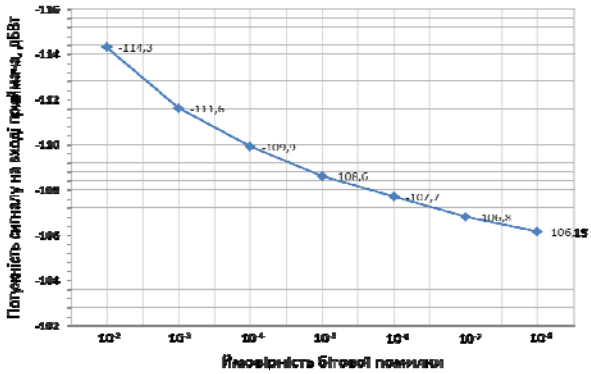

Рис. 2. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача при швидкості 50 Мбіт/с

При швидкості передачі R_3=500 Мбіт/с визначимо потужність сигналу ($p_{пр1}$) на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-2} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-2} (Q(2.11)). По формулі (7) знаходимо значення $E_{b1} = 7.03 \cdot 10^{-20}$ *Дж*.

Таблиця 5

Q-функція при швидкості 500 Мбіт/с

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
2.11	2.92	3.58	4.14	4.64	5.09	5.5

Тактовий інтервал дорівнює: $T_3 = 1/R_3 = 1/5 \cdot 10^8 = 2 \cdot 10^{-9}$ *с*.

Визначимо потужність сигналу на вході приймача МС за формулою (1), енергію, яка витрачається на передачу одного біта за формулою (3) та співвідношення сигнал/шум на вході приймача МС за формулою (6) при швидкості R_3=500 Мбіт/с. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача МС при швидкості 500 Мбіт/с надані в таблиці 6.

Таблиця 6

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача при швидкості 500 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача, дБВт	-104.5	-101.7	-99.9	-98.7	-97.7	-96.9	-96.2
Співвідношення сигнал/шум, $E_в/N_0$	2.22	4.26	6.4	8.57	10.77	12.95	15.13

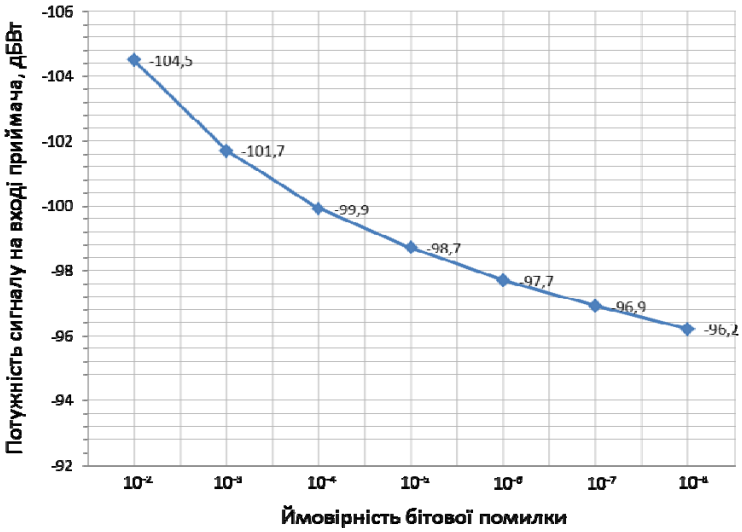

Рис. 3. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача при швидкості 500 Мбіт/с

Застосуємо емпіричну формулу для розрахунку середнього рівня сигналу на вході приймача МС за відомою моделлю Окамури-Хати, яка побудована на графічній та аналітичній апроксимації результатів натурних вимірів. Розрахуємо необхідні відстані r між БС та МС при відповідних потужностях сигналу на вході приймача мобільного терміналу та заданих імовірностях бітових помилок 10^{-5} – 10^{-8}, що забезпечить високу якість мобільного зв'язку. Крім цього визначимо максимальне значення відстані r_{max} БС та МС, яка відповідає пороговому значенню потужності сигналу на вході приймача мобільного терміналу при імовірності бітової помилки 10^{-2}. Емпірична формула Окамури-Хати в умовах забудови міста виглядає наступним чином [2]:

$$P_{прМС} = P_{перБС} + G_{БС} - 69{,}55 - 26{,}16 \lg f_{ср} + 13{,}82 \lg h_{БС} - [45 - 6.55 \lg h_{БС}] \lg r, \quad \text{дБВт} \qquad (8)$$

Потужність сигналу на вході приймача, виражена в ватах, може бути розрахована за формулою:

$$P_{прМС} = 10^{0{,}1 P_{перБС}} \cdot 10^{0{,}1 G_{БС}} \cdot 10^{-6{,}955} \cdot 10^{-2{,}616 \lg f_{ср}} \times \times 10^{1{,}382 \lg h_{БС}} \cdot 10^{-[45 - 6.55 \lg h_{БС}] \lg r}, \text{ Вт.} \qquad (9)$$

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилок 10^{-8} -10^{-2},визначаємо потужності сигналу на вході приймача МС при заданих значеннях висот антен БС ($h_{БС}$), коефіцієнтів підсилення антен БС ($G_{БС}$). Розраховуємо необхідні відстані r між БС та МС за формулою (9).

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості передачі даних 10Мбіт/с (варіант 1) надані в таблиці 7.

Таблиця 7

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 10Мбіт/с, $G_{перБС}$=3.98 (варіант 1)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-120.7	-118.3	-116.6	-115.4	-114.48	-113.7	-113.036
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$8.5 \cdot 10^{-20}$	$14.9 \cdot 10^{-20}$	$21.7 \cdot 10^{-20}$	$28.7 \cdot 10^{-20}$	$35.6 \cdot 10^{-20}$	$42.6 \cdot 10^{-20}$	$49.7 \cdot 10^{-20}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	10	10	10	10	10	10	10
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	1.3702	1.2353	1.1525	1.0945	1.0518	1.0175	0.989
Співвідношення сигнал/шум	2.68	4.72	6.87	9.08	11.27	13.48	15.73

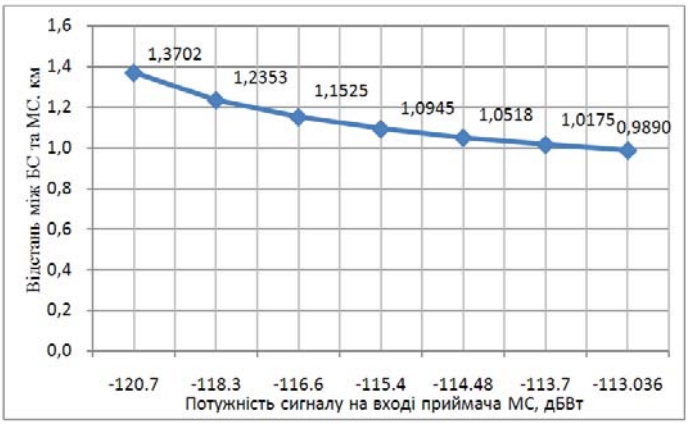

Рис. 4. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 1)

Таблиця 8

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 10Мбіт/с, $G_{перБС}$=15,8 (варіант 2)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-120.7	-118.3	-116.6	-115.4	-114.48	-113.7	-113.036
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$8.5 \cdot 10^{-20}$	$14.9 \cdot 10^{-20}$	$21.7 \cdot 10^{-20}$	$28.7 \cdot 10^{-20}$	$35.6 \cdot 10^{-20}$	$42.6 \cdot 10^{-20}$	$49.7 \cdot 10^{-20}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	30	30	30	30	30	30	30
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	5.3009	4.779	4.4585	4.2342	4.069	3.9364	3.8259
Співвідношення сигнал/шум	2.68	4.72	6.87	9.08	11.27	13.48	15.73

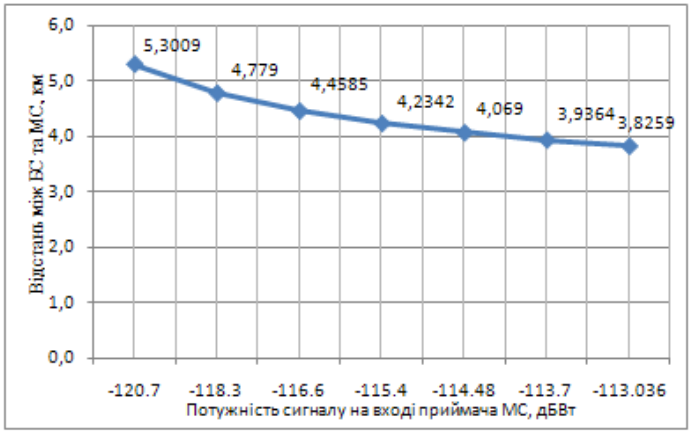

Рис. 5. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 2)

Таблиця 9

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 50Мбіт/с, $G_{перБС}$=3.98 (варіант 3)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-114.3	-111.6	-109.9	-108.6	-107.7	-106.8	-106.15
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$3.72\cdot10^{-12}$	$6.92\cdot10^{-12}$	$10.24\cdot10^{-12}$	$13.74\cdot10^{-12}$	$17.155\cdot10^{-12}$	$20.709\cdot10^{-12}$	$24.246\cdot10^{-12}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	10	10	10	10	10	10	10
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	1.0433	0.9303	0.8654	0.8197	0.7864	0.7599	0.7381
Співвідношення сигнал/шум	2.35	4.38	6.48	8.69	10.86	13.11	15.35

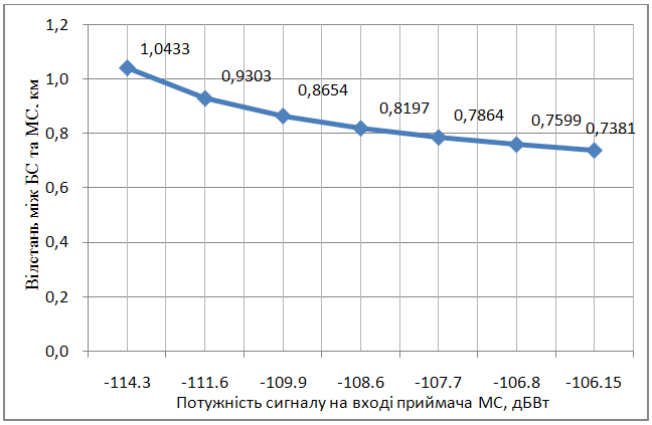

Рис. 6. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 3)

Таблиця 10

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 50Мбіт/с, $G_{перБС}$=15.8 (варіант 4)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-114.3	-111.6	-109.9	-108.6	-107.7	-106.8	-106.15
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$3.72\cdot10^{-12}$	$6.92\cdot10^{-12}$	$10.24\cdot10^{-12}$	$13.74\cdot10^{-12}$	$17.155\cdot10^{-12}$	$20.709\cdot10^{-12}$	$24.246\cdot10^{-12}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	30	30	30	30	30	30	30
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	4.0361	3.5991	3.3481	3.1709	3.0436	2.9396	2.8552
Співвідношення сигнал/шум	2.35	4.38	6.48	8.69	10.86	13.11	15.35

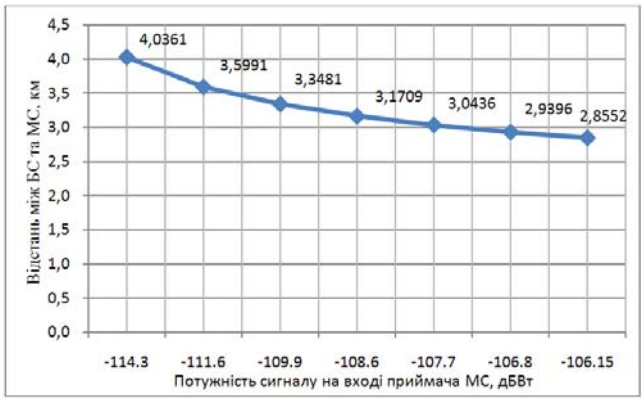

Рис. 7. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 4)

Таблиця 11

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 500Мбіт/с, $G_{перБС}$=3.98 (варіант 5)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-104.5	-101.7	-99.9	-98.7	-97.7	-96.9	-96.2
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$3.51\cdot10^{-11}$	$6.735\cdot10^{-11}$	$10.125\cdot10^{-11}$	$13.54\cdot10^{-11}$	$17.01\cdot10^{-11}$	$20.47\cdot10^{-11}$	$23.9\cdot10^{-11}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	10	10	10	10	10	10	10
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	0.6891	0.6112	0.5668	0.5372	0.5151	0.4978	0.4837
Співвідношення сигнал/шум	2.22	4.26	6.4	8.57	10.77	12.95	15.13

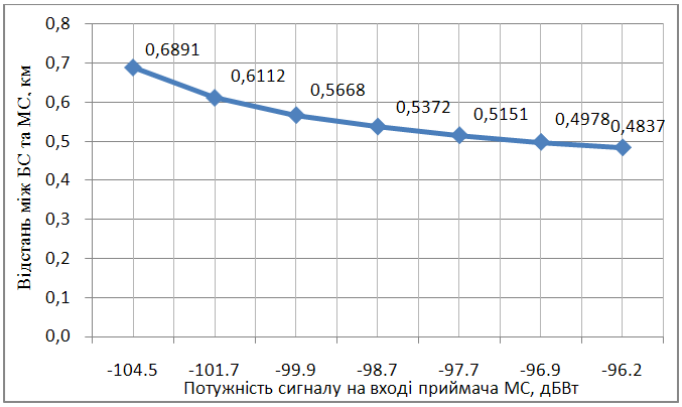

Рис. 8. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 5)

Таблиця 12

Технічні характеристики параметрів сигналу при швидкості 500Мбіт/с, $G_{перБС}$=15.8 (варіант 6)

Ймовірність бітової помилки	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Потужність сигналу на вході приймача МС, дБВт	-104.5	-101.7	-99.9	-98.7	-97.7	-96.9	-96.2
Потужність сигналу на вході приймача МС, Вт	$3.51\cdot10^{-11}$	$6.735\cdot10^{-11}$	$10.125\cdot10^{-11}$	$13.54\cdot10^{-11}$	$17.01\cdot10^{-11}$	$20.47\cdot10^{-11}$	$23.9\cdot10^{-11}$
Потужність сигналу передавача БС, Вт	30	30	30	30	30	30	30
Висота антени БС, м	25	25	25	25	25	25	25
Відстань між БС та МС, км	2.666	2.3644	2.1929	2.0783	1.9926	1.9256	1.8713
Співвідношення сигнал/шум	2.22	4.26	6.4	8.57	10.77	12.95	15.13

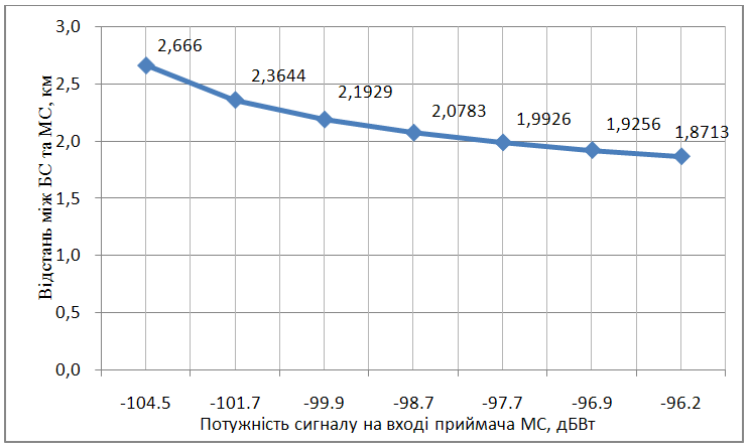

Рис. 9. Залежність значення відстані між БС та МС від потужності сигналу на вході приймача (варіант 6)

Висновки

По-перше, при швидкості передачі 10 Мбіт/с (варіант 1) при потужності сигналу на вході приймача МС від -113,036 дБВт до -115,4 дБВт, ймовірності бітових помилок від 10^{-8} до 10^{-5}, співвідношенні сигнал/шум від 15,73 до 9,08 при відповідних відстанях між БС та МС від 0,989 км до 1,0945 км, забезпечується висока якість мобільного зв'язку. При потужності сигналу на вході приймача МС -120,7 дБВт, ймовірність бітової помилки 10^{-2}, відстані між БС та МС 1,3702 км, співвідношення сигнал/шум складає 2,68 (при нормі 3,98 для системи CDMA), що є недопустимим і призведе до зриву радіозв'язку.

По-друге, при швидкості передачі 50 Мбіт/с (варіант 3) при потужності сигналу на вході приймача МС від -106,15 дБВт до -108,6 дБВт, ймовірності бітових помилок від 10^{-8} до 10^{-5}, співвідношенні сигнал/шум від 15,35 до 8,69, при відповідних відстанях між БС та МС від 0,7381 км до 0,8197 км забезпечується висока якість зв'язку.При потужності сигналу на вході приймача МС -114,3 дБВт, ймовірності бітової помилки 10^{-2}, відстані між БС та МС 1,0433 км, співвідношення сигнал/шум складає 2,35, що є недопустимим.

По-третє, при швидкості передачі 500 Мбіт/с (варіант 5) при потужності сигналу на вході приймача МС від -96,2 дБВт до -98,7 дБВт, ймовірності бітових помилок від 10^{-8} до 10^{-5}, співвідношенні сигнал/шум від 15,13 до 8,57 при відповідних відстанях між БС та МС від 0,4837 км до 0,5372 км забезпечується висока якість зв'язку. При потужності сигналу на вході приймача МС -104,5 дБВт, ймовірності помилки 10^{-2}, відстані між БС та МС 0,6891 км, співвідношення сигнал/шум приймає значення 2,22, що є недопустимим.

Надані науково обґрунтовані рекомендації щодо побудови розмірів комірок (r) системи CDMA в умовах забудови міста. Разом з тим на розміри комірок мереж мобільного зв'язку буде впливати очікувана максимальна кількість активних абонентів, що потребує подальших наукових досліджень.

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – С. 250–252.

2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 157 с.

3. Карпова Л.В. Вплив швидкості передачі даних в системах мобільного зв'язку при відповідних співвідношеннях сигнал/шум на ймовірність бітової помилки та числа максимально активних абонентів / В.І. Лужанський, Л.В. Карпова, Ю.В. Маріїна // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6. – С. 146–157.

4. 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.

References

1. Sukachev Je.A. Sotovye seti radiosvjazi s podvizhnymi obektami: ucheb. posob. / Sukachev Je.A. – Odessa: ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 250-252 c.

2. Sukachev Je.A. Sotovye seti radiosvjazi s podvizhnymi obektami: ucheb. posob./ Sukachev Je.A.: – Odessa: ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 157 s.

3. Karpova L.V. Vplyv shvydkosti peredachi danyh v systemah mobil'nogo zv'jazku pryvidpovidnyh spivvidnoshennjah sygnal/shum na jmovirnist' bitovoi' pomylky ta chysla maksymal'no aktyvnyh abonentiv / V.I. Luzhans'kyj, L.V. Karpova, Ju.V. Mari'i'na // Herald of Khmelnytskyi National University. – Hm., 2016. – Issue 6. – S. 146–157.

4. Feer K. Besprovodnaja cifrovaja svjaz'. Metody moduljacii i rasshirenij aspektra / Feer K.; per. s angl. podred. V.I. Zhuravleva. – M.: Radio i svjaz', 2000. – 520 s.

Рецензія/Peer review : 21.11.2017 р. Надрукована/Printed :06.12.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк