

УДК 621.396.2

Семенко А.І., д.т.н.; Гринкевич Г.О., асп.

(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)

**ПОТУЖНІСТЬ ПЕРЕДАВАЧА В БЕЗПРОВОДОВІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ, НЕОБХІДНА ДЛЯ ЗАДАНОЇ ПОМИЛКИ ПРИЙОМУ СИГНАЛУ**

Семенко А.І., Гринкевич Г.О. Потужність передавача в безпроводовій телекомунікаційній системі, необхідна для заданої помилки прийому сигналу. Розроблена математична модель безпроводової телекомунікаційної системи, яка дозволяє визначити потужність передавача, необхідну для одержання заданої ймовірності помилки прийому сигналу при врахуванні всіх параметрів системи з багатопозиційною маніпуляцією сигналу MPSK при  $M=2, 4, 8, 16, 32, 64$ . Визначена взаємна залежність інформаційно-енергетичного критерію з ймовірністю помилки прийому та кількості позицій сигналу.

**Ключові слова:** ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОТУЖНІСТЬ ПЕРЕДАВАЧА, МОДУЛЯЦІЯ, АПРОКСИМАЦІЯ, 3D-ФОРМАТ

Семенко А.И., Гринкевич А.А. Мощность передатчика в беспроводной телекоммуникационной системе, необходимая для заданной ошибки приема сигнала. Разработана математическая модель беспроводной телекоммуникационной системы, которая позволяет определить мощность передатчика, необходимую для получения заданной вероятности ошибки приема сигнала при учете всех параметров системы с многопозиционной манипуляцией сигнала MPSK при  $M=2, 4, 8, 16, 32, 64$ . Определена взаимная зависимость информационно-энергетического критерия с вероятностью ошибки приема и количества позиций сигнала.

**Ключевые слова:** ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, МОЩНОСТЬ ПЕРЕДАТЧИКА, МОДУЛЯЦИЯ, АПРОКСИМАЦИЯ, 3D-ФОРМАТ

Semenko A.I., Hrynkevych H.O. Transmitter power in wireless to the telecommunication system, necessary for the set error of signal reception. Worked out mathematical model of wireless of the telecommunication system, which allows to define power of transmitter, necessary for the receipt of the set probability of error of reception of signal at the account of all parameters of the system with multiposition manipulation of signal of MPSK at  $M=2, 4, 8, 16, 32, 64$ . Certain mutual dependence of informatively-power criterion is with probability of error of reception and amount of positions of signal.

**Keywords:** POWER-INFORMATIVE EFFICIENCY, TRANSMITTER POWER, MODULATION, APPROXIMATION, 3D-FORMAT

Основним завданням при проектуванні безпроводової телекомунікаційної системи є реалізація необхідної потужності передавача, яка забезпечує задані пропускну здатність та помилку прийому сигналу в системі. Причому, завжди прагнуть використати мінімальну потужність передавача з огляду на досягнення найкращої електромагнітної сумісності системи з сусідніми електронними засобами, максимальну економію живлення та мінімального впливу системи на здоров'я людей.

В загальному вигляді потужність передавача системи визначається формулою [1]:

$$P = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot D^\mu \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot \gamma \cdot L}{D_0^{\mu-2} \cdot \lambda^2 \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \rho}, \quad (1)$$

де  $P$  – потужність передавача;  $G_1, G_2$  – коефіцієнт підсилення антени передавача та приймача;  $T$  – приведена до опромінювача антени шумова температура приймальної системи;  $D$  – протяжність лінії зв'язку;  $D_0$  – базова відстань;  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Вт/(Гц·Град) – стала Больцмана;  $\Delta f$  – смуга пропускання приймача;  $L$  – загасання сигналу в лінії зв'язку;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\mu$  – коефіцієнт, що залежить від умов розповсюдження сигналу;  $\gamma$  – відношення сигнал/шум на вході приймача;  $\rho$  – енергетичний виграш від кодування сигналу.

Найважливішим параметром при аналізі та синтезі телекомунікаційної системи є ймовірність помилки прийому сигналу  $p_{\text{пом}}$ .

В формулі (1) потужність передавача в неявному вигляді залежить від ймовірності помилки прийому сигналу через відношення сигнал/шум. В літературі наводиться безліч графічних залежностей ймовірності помилки прийому сигналу для різних видів модуляції та кодування, побудованих за доволі складним Гаусовим інтегралом помилок [2, 3]. Використання таких залежностей ускладнює енергетичний розрахунок системи.

В роботі вирішена задача одержання аналітичної залежності потужності передавача від заданої ймовірності помилки прийому сигналу, важливої для аналізу та синтезу систем. При цьому застосовані наближені графіки та апроксимуючі функції з прийнятною для

практичного використання похибкою.

На рис. 1 наведена взята із [2] приблизна залежність відношення ймовірності помилки прийому сигналу  $p_{\text{пом}}$  від величини  $\gamma$  для фазоманіпульованого сигналу BPSK.

На основі даного графіка побудована зворотна залежність  $\gamma(p_{\text{пом}})$ , яка, як показав попередній розгляд, може бути приблизно апроксимована частиною косинусоїди (рис. 3). Апроксимація даної залежності здійснена косинусоїдальною функцією  $f(x)=z \cos x$  в межах аргументу  $x=0$  при  $p_{\text{пом}}=10^{-1}$  та  $x=\pi/2$  при  $p_{\text{пом}}=10^{-11}$ . При цьому використані позначення:  $y=10 \lg \gamma$ ;  $x=\lg(n \cdot p_{\text{пом}})$  при  $n=10^8$ ;  $z$  – значення у при  $x=0$ ,  $z=11$  дБ (табл.1).

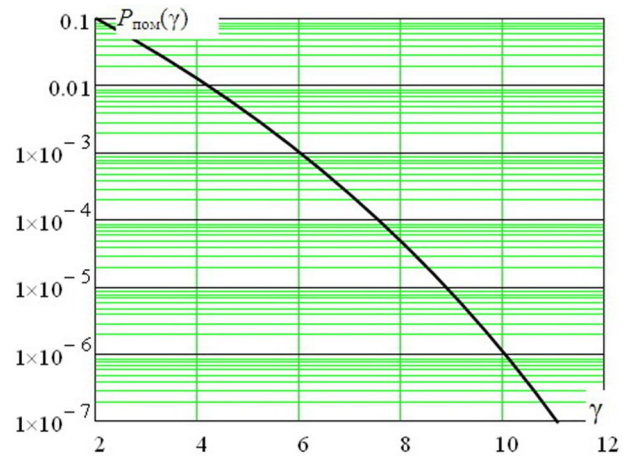


Рис. 1. Залежність  $p_{\text{пом}}(\gamma)$  для BPSK

Значення параметрів залежності  $f(x)=z \cos x$  для BPSK Табл. 1

$p_{\text{пом}}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
$x=\log(p_{\text{пом}} \cdot 10^7)$	0	1	2	3	4	5	6
$\varphi$	0 0°	0,262 15°	0,523 30°	0,785 45°	1,047 60°	1,309 75°	1,57 90°
$\cos x$	1	0,96	0,87	0,7	0,5	0,25	0
$f(x)=z \cos x$ ( $z=11$ дБ)	11	10,56	9,57	7,7	5,5	2,75	0

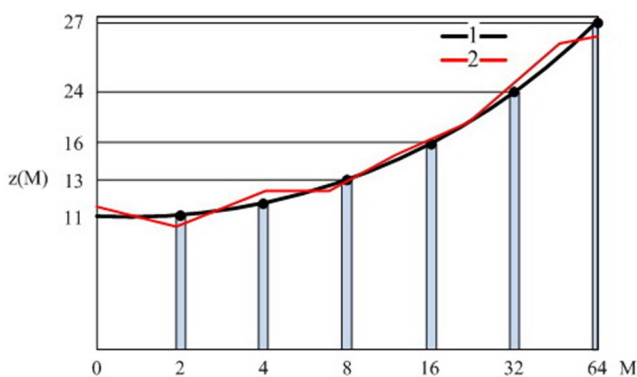


Рис.2. Залежність  $z(M)$ : 1 – табличні значення з [2]; 2 – розрахункові значення

На рис. 2 наведені значення  $z$  для багатопозиційних ФМ-сигналів при кількості позицій сигналу  $M=2, 4, 8, 16, 32, 64$  [2, 3].

З використанням графіка огинаючої (крива 1 на рис. 2) визначена апроксимуюча функція  $z(M)$  (крива 2 на рис.2)

$$z(M) = 8,4 \cdot M^{0,27} \quad (2)$$

Оскільки на рис.1 наведена логарифмічна залежність виду  $y=10 \lg \gamma$ , використаємо зворотне перетворення  $\gamma=10^{0,1y}$ .

Співвідношення (2, 3) та табл.1 дозволяють визначити  $\gamma$  у вигляді:

$$\gamma = 10^{0,84 \cdot M^{0,27} \cdot \cos[0,26 \cdot \lg(p_{\text{пом}} \cdot 10^8)]} \quad (4)$$

На рис. 3 наведена апроксимована залежність  $\gamma(p_{\text{пом}})$  для BPSK.

Використавши дане значення  $\gamma$  із формули (1) одержимо потужність передавача у вигляді:

$$P = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot D^\mu \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot L \cdot \left[ 10^{0,84 \cdot M^{0,27} \cdot \cos[0,26 \cdot \lg(p_{\text{пом}} \cdot 10^8)]} \right]}{\lambda^2 \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \rho \cdot D_0^{\mu-2}} \quad (5)$$

Формула (5) являє собою математичну модель безпроводової телекомунікаційної системи, яка дозволяє визначити потужність передавача, необхідну для одержання заданої ймовірності помилки прийому сигналу при врахуванні всіх параметрів системи.

Для синтезу систем за даними вимогами доцільно використовувати запропонований критерій інформаційно-енергетичної ефективності [4]:

$$S = \frac{C}{P} \left[ \frac{\delta \text{im}/c}{Bm} \right], \quad (6)$$

де  $C$  – пропускна здатність системи (максимальна швидкість передачі інформації).

Очевидно, що при проектуванні систем доцільно прагнути до реалізації максимальної величини  $S$ , тобто до досягнення максимальної швидкості передачі інформації  $C$  при мінімальному значенні потужності передавача  $P$ .

Відомо [2, 3], що швидкість передачі інформації при найбільш поширеній фазовій маніпуляції може бути збільшена при даній смузі пропускання приймача шляхом використання багатопозиційного сигналу

$$C = \Delta f \log M, \text{ де } M - \text{кількість позицій сигналу.} \quad (7)$$

З використанням формул (5, 7) одержимо значення критерію інформаційноенергетичної ефективності радіо-системи з використанням всіх параметрів системи

$$S = \frac{\lambda^2 \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \rho \cdot \log M \cdot D_0^{\mu-2}}{16 \cdot \pi^2 \cdot D^\mu \cdot k \cdot T \cdot L \cdot \left[ 10^{0,84 \cdot M^{0,27} \cdot \cos(0,224 \cdot \lg(P_{\text{пом}} \cdot 10^8))} \right]} \quad (8)$$

Найбільш важливо оцінити взаємну залежність величин  $S$ ,  $P_{\text{пом}}$  та  $M$  при певних значеннях решти параметрів.

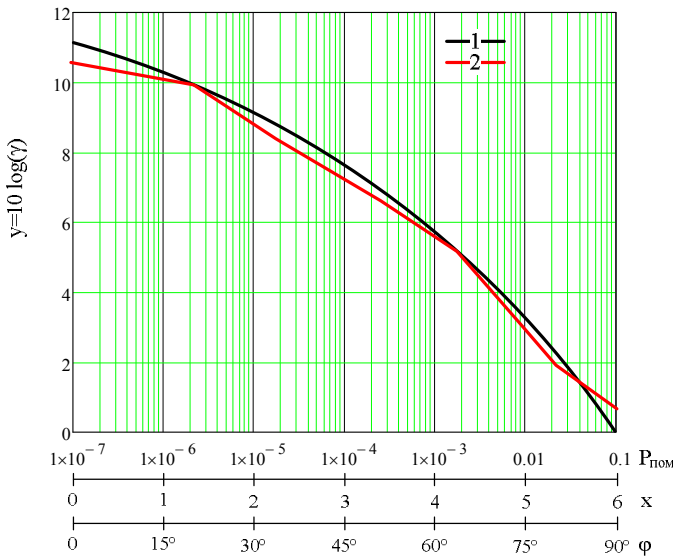


Рис. 3. Апроксимована залежність  $\gamma(P_{\text{пом}})$  для BPSK: 1 – табличні значення з [2]; 2 – розрахункові значення

затухання в атмосфері 0,5 дБ/км ( $L=10$  дБ).

Виконавши розрахунки за формулою (8) при вказаних значеннях параметрів одержимо коефіцієнт інформаційно-енергетичної ефективності системи  $S=1,42 \cdot 10^5$ .

За таких умов, залежність необхідної потужності передавача даної системи від пропускної спроможності каналу та кількості позицій сигналу при ймовірності помилки прийому сигналу  $P_{\text{пом}}=10^{-5}$  наведена в табл. 2.

На рис. 4 наведена взаємна залежність параметрів системи  $S$ ,  $P_{\text{пом}}$  та  $M$  в форматі 3D. Переваги методу представлення розрахованих величин в 3D-форматі полягають в тому, що він практично не вимагає збільшення обчислювальних витрат на побудову необхідних характеристик порівняно з затратами на формування типових характеристик в стандартному форматі (2D). Із рис. 4 видно, що інтегральний критерій інформаційно-енергетичної ефективності для багатозафазової передачі даних  $S$  залежить від параметра  $P_{\text{пом}}$  та від параметра  $M$ .

Узагальнимо переваги представлення розрахованих величин в 3D-форматі [5, 6]:

- їх побудова практично не вимагає збільшення обчислювальних витрат порівняно з побудовою типових характеристик;
- одна 3D-модель замінює сімейство багатьох характеристик;
- 3D-модель значно спрощує процес проектування ефективних систем, дозволяючи наглядно обрати найбільш ефективний параметр;
- 3D-модель наглядно демонструє шляхи розроблення рекомендацій до технічних

Табл. 2	
$C$ , Мбіт/с	$P$ , мВт
75	154
61	128
46,2	100
32	82
17,5	59
3	22

вимог, яким система повинна відповідати при можливості їх зміни та дозволяє збільшити при цьому швидкість передачі інформації.

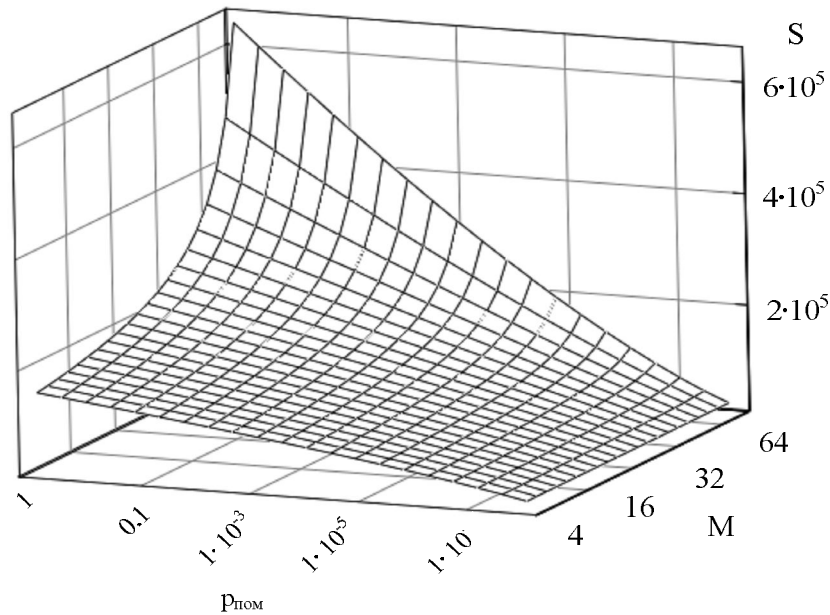


Рис.4. Взаємна залежність параметрів S,  $p_{\text{пом}}$  та M в форматі 3D

Із рис. 4 легко одержати шляхом перетину відповідними площинами об'ємної фігури попарну залежність параметрів. Такі залежності наведені на рис. 5 та рис. 6.

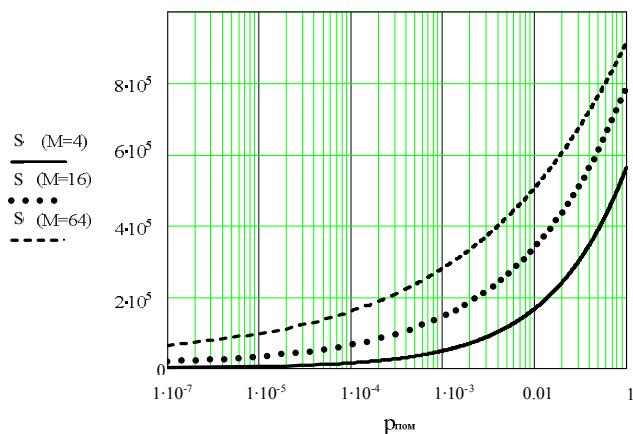


Рис. 5. Залежність S від  $p_{\text{пом}}$  при M=4, 16, 64

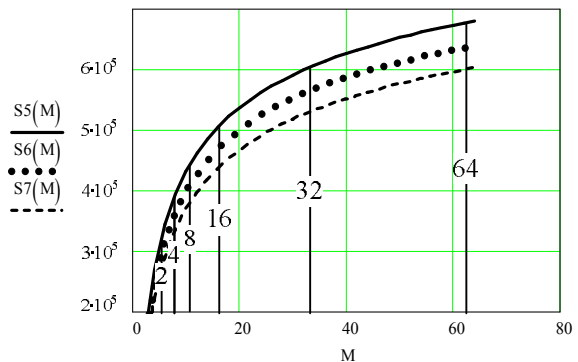


Рис.6. Залежність S від M при  $p_{\text{пом}}=1 \cdot 10^{-7}$  ( $S_7(M)$ );  $p_{\text{пом}}=1 \cdot 10^{-6}$  ( $S_6(M)$ );  $p_{\text{пом}}=1 \cdot 10^{-5}$  ( $S_5(M)$ )

**Висновки.** 1. Одержана аналітична залежність потужності передавача безпроводової телекомунікаційної системі від необхідної ймовірності помилки прийому сигналу забезпечує суттєве спрощення енергетичного розрахунку системи.

2. Використання інформаційно-енергетичного критерію з врахуванням пов'язаних з ним параметрів – ймовірності помилки прийому сигналу та кількості позицій сигналу дозволяє здійснювати аналіз та синтез систем з одержанням найбільш ефективних їх характеристик.

3. Помітне підвищення інформаційно-енергетичної ефективності радіосистем досягається шляхом збільшення кількості позицій сигналу до  $M=32$ .

**Література**

1. Семенко А. І. Сучасний стан створення безпроводних телекомунікаційних систем / А.І. Семенко // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2009. – № 645. – С. 56-67.  
 2. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / Вильямс Столлингс. – М.: С-Пб.: К.: Вильямс, 2003. – 639 с.

3. Скляр Б. Цифровая связь / Б. Скляр. – М.: СПб.: К.: Вильямс, 2004. – 1104 с.

4. Семенко А.І. Оцінка інформаційно-енергетичної ефективності телекомунікаційних радіосистем // А. І. Семенко, Г. О. Гринкевич // Зб. тез VII Міжнар. наук.-технічної конф. «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» COMINFO'2011-LIVADIA. АР Крим, Ялта-Лівадія, 10-14 жовтня 2011 р. – С. 64-65.

5. Семенко А. І. Визначення потужності передавача в безпроводовій телекомунікаційній системі, необхідної для заданої помилки прийому сигналу / А. І. Семенко, Г. О. Гринкевич // Сб. тез. VI Міжнарод. научно-технич. симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях» ГУИКТ-КАРПАТЫ'2013. – Вышков. – 21-24 января 2013 г.

6. Семенко А. І. Залежність інформаційно-енергетичної ефективності телекомунікаційних радіосистем від помилки прийому сигналу / А. І. Семенко, Г. О. Гринкевич // Сб. тезисов VI Міжнарод. научно-технич. симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях» ГУИКТ-КАРПАТЫ'2013. – Вышков. – 21-24 января 2013 г.

УДК 621.391

**Жураковський Б.Ю.**, к.т.н. (*Державний унів-т інформаційно-комунікаційних технологій*)

**Хахлюк О.А.** (*Алкатель-Луцент*)

### **ВИБІР ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

**Жураковський Б.Ю., Хахлюк О.А. Вибір завадостійкого коду для систем управління.** В роботі приведені обмеження при передаванні управляючої інформації по каналу, а також можливості зменшення дисперсії ймовірності помилки в повідомленні та дисперсії затримки повідомлень в каналі. Обґрунтований вибір завадостійкого коду для систем управління, приведені порівняння деяких кодів. Розрахована залежність ймовірності невиявленої помилки від кодової відстані для цих кодів.

**Ключові слова:** БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЙНА ЗАДАЧА, ЗАВАДОСТІЙКИЙ КОД, ЙМОВІРНІСТІ НЕВИЯВЛЕНОЇ ПОМИЛКИ, КОДОВА ВІДСТАНЬ

**Жураковский Б.Ю., Хахлюк А.А. Выбор помехоустойчивого кода для систем управления.** В статье приведены ограничения при передаче управляющей информации по каналу, а также возможности уменьшения дисперсии вероятности ошибки в сообщении и дисперсии задержки сообщений в канале. Обоснован выбор помехоустойчивого кода для систем управления, проведено сравнение некоторых кодов. Расчитана зависимость вероятности не выявленной ошибки от кодового расстояния для этих кодов.

**Ключевые слова:** МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА, ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ КОД, ВЕРОЯТНОСТИ НЕВИЯВЛЕННОЙ ОШИБКИ, КОДОВОЕ РАССТОЯНИЕ

**Zhurakovskiy B.Iu., Khakhliuk O.A. Choice of antijamming code for control system.** In the article resulted limitation at the transmission of managing information on a channel, and also possibility of diminishing of dispersion of probability of error in a report and dispersion of delay of report in a channel. The choice of antijamming code is reasonable for the systems of control. Comparison of some codes is conducted. Calculated the dependence of the probability of indefinite errors with the code distance for these codes.

**Keywords:** MULTICRITERION OPTIMIZATION TASK, ANTIJAMMING CODE, PROBABILITIES of the UNEDUCED ERROR, CODE DISTANCE

Відповідно до ієрархії взаємодії відкритих систем (ВВС) канал передавання управляючої інформації складається з фізичного і каналного рівнів.

Фізичний рівень каналу забезпечує узгодження параметрів сигналу з такими характеристиками фізичного каналу, як АФЧХ і розподіл щільності потужності шуму, і має забезпечувати задану постійну складову затримки сигналу та ймовірність помилки у двійковому розряді переданого цифрового потоку, що, у свою чергу, визначає вимоги до середньої швидкості передавання.

Побудова підсистеми фізичного рівня є багатокритеріальною оптимізаційною задачею, критеріями якої є [1]: *постійна* величина затримки цифрового потоку в каналі; *значення* ймовірності помилки в двійковому розряді цифрового потоку; *середня* швидкість передавання цифрового потоку; *вартість* підсистеми фізичного рівня.