

## БЕЗПЕКА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ТА ІНТЕРНЕТ / NETWORK & INTERNET SECURITY

### МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАЧІ МОВНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ ЧЕРЕЗ БЕЗПРОВОДОВИЙ КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ

Георгій Конахович, Володимир Чуприн, Юлія Беженар

*Національний авіаційний університет, Україна*



**КОНАХОВИЧ Георгій Філімонович**, д.т.н., професор

*Рік та місце народження:* 1944 рік, м. Васильків, Київська область, Україна.  
*Освіта:* Київський інститут інженерів цивільної авіації (з 2000 року – Національний авіаційний університет), 1968 рік.  
*Посада:* завідувач кафедри телекомунікаційних систем Інституту аеронавігації.  
*Наукові інтереси:* системи захисту інформації, інформаційно-комунікаційні системи.  
*Публікації:* більше 200 наукових та навчально-методичних праць, серед яких монографії, підручники, навчальні посібники, наукові статті та патенти на винаходи.  
*E-mail:* [tko@nau.edu.ua](mailto:tko@nau.edu.ua)



**ЧУПРИН Володимир Михайлович**, д.т.н., професор

*Рік та місце народження:* 1946 рік, м. Київ, Україна.  
*Освіта:* вища.  
*Посада:* професор кафедри телекомунікаційних систем Інституту аеронавігації.  
*Наукові інтереси:* системи захисту інформації, інформаційно-комунікаційні-системи.  
*Публікації:* більше 50 наукових та навчально-методичних праць.  
*E-mail:* [tko@nau.edu.ua](mailto:tko@nau.edu.ua)



**БЕЖЕНАР Юлія Вікторівна**

*Рік та місце народження:* 1990 рік, м. Вінниця, Україна.  
*Освіта:* Національний авіаційний університет, 2012 рік.  
*Посада:* аспірант кафедри телекомунікаційних систем Інституту аеронавігації.  
*Наукові інтереси:* якість відновлення мови в захищених телекомунікаційних каналах зв'язку.  
*Публікації:* 6 наукових публікацій.  
*E-mail:* [el1ce@mail.ru](mailto:el1ce@mail.ru)

**Анотація.** Обробка й передача мовної інформації залишається актуальною науковою задачею. У цій статті авторами було розроблено комп'ютерну модель передачі мовного повідомлення через безпроводовий канал зв'язку. Основні положення статті реалізовані у вигляді розрахункової моделі, яку можна використовувати для проектування безпроводових систем зв'язку. Для передачі сигналу використано наступні види модуляції: QAM-16, QAM-64, BPSK та QPSK, для яких розраховано залежність параметра BER від SNR та порівняно їх із теоретичними значеннями.

**Ключові слова:** безпека інформації в мережі, безпроводовий канал зв'язку, мовне повідомлення, модуляція, QAM-16, QAM-64, BPSK, QPSK, BER, SNR.

#### Вступ

Нині в теорії передачі інформації існує досить обширна база знань про передачу сигналу, яка підкріплена математичними моделями. Однак,

більшість із них являються складними для розуміння, через це складно представити весь процес передачі даних через канал зв'язку (КЗ). Тому в час потужних обчислювальних можливостей, комп'ютерне моделювання, спираючись на теоретичні

знання, дає можливість розкрити всю повноту процесу. В даній роботі представлено модель, що імітує передачу сигналу по безпроводовому КЗ.

В сучасних системах безпроводового зв'язку таких як Wi-Fi, Wi-Max та LTE, використовуються найчастіше схеми модуляції BPSK (бінарна фазова модуляція), QPSK (квадратурна фазова модуляція), QAM-16 та QAM-64 (квадратурна амплітудна модуляція із числом позицій сигналу 16 та 64 відповідно), оскільки вони є найбільш ефективними. Тому в даній статті наведено модель передачі мовного повідомлення (МП) за допомогою даних схем модуляції. В якості КЗ вибрано ідеальний канал. Моделювання здійснено за допомогою програмного пакета MathCad 15.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні положення роботи реалізовані у вигляді розрахункової моделі, яку можна використовувати для проектування безпроводових систем. Також в роботі розраховано залежності параметра BER (коефіцієнт бітових помилок) від відношення сигнал/шум (с/ш, SNR) в КЗ та порівняно їх із теоретичними значеннями для зазначених видів модуляції.

#### Аналіз існуючих досліджень

Дослідження в області обробки, передачі і оцінювання мовної інформації проводяться вітчизняними науковцями Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Національного аерокосмічного університету «ХАІ» ім. М.Є. Жуковського, Харківського національного університету радіоелектроніки, Української асоціації по обробці інформації і розпізнавання образів (УАСОІРО), Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Донецького інституту проблем штучного інтелекту, Вінницького національного технічного університету.

Серед закордонних науково-дослідних організацій необхідно виділити робочі групи Міжнародного союзу Електрозв'язку (МСЕ). Провідними закордонними закладами, де проводяться

дослідження по обробці і оцінюванню МС, є: центр цифрової обробки сигналів СПБГУТ, СибГУТИ, CMU, Univevsity of Sheffield.

Значний внесок у наукові досягнення в області обробки та оцінки якості МС внесли: Дж.М. Уайт, М.Р. Самбур, Дж.Л. Фланаган, С.Я. Левінсон, Л.Р. Рабінер, А.Х. Грей, Ф. Ітакура, А.І. Розенберг, Дж.Д. Маркел, Т.К. Вінцок та ін.

**Метою** даної роботи є розробка комп'ютерної моделі передачі мовного повідомлення через безпроводовий канал зв'язку.

#### Основна частина дослідження

Загальна схема моделювання зображена на рис. 1. Розглянемо більш детально кожен із елементів схеми.

1. Джерело повідомлення (ДП). Первинне повідомлення – це мовне повідомлення, записане у аудіофайл.

2. Оцифровка повідомлення. Для отримання інформації відносно аудіо файлу використовується вбудована функція MathCad GETWAVEINFO («файл»), яка повертає 4-х елементний вектор з інформацією про дані, що містяться в файлі. Перший елемент вектора ( $N_k$ ) характеризує кількість каналів; другий ( $f_d$ ) - частоту дискретизації (в герцах); третій ( $Q$ ) - кількість біт, якими кодується один відлік; четвертий ( $B$ ) - середню кількість біт в секунду, яку повинен обробляти аудіо програвач, щоб відтворити цей файл в реальному часі. Представимо вектор  $b$  як:  $b := \text{GETWAVEINFO}(\text{«03\_16000\_8.wav»})$ .

Використовуючи отриману інформацію, знайдемо часовий вектор, який відповідає амплітудам аудіосигналу в окремі відліки дискретизації (рис. 2). Дані амплітуди можуть бути зчитані за допомогою функції READWAV («файл»), яка повертає масив, кожний стовпчик якого представляє собою окремих канал (так, наприклад, для моносигналу масив буде містити тільки 1 стовпчик, для стерео – 2 і т.д.), а кожний рядок масиву відповідає моменту часу, який визначається номером відліку і частотою дискретизації сигналу.

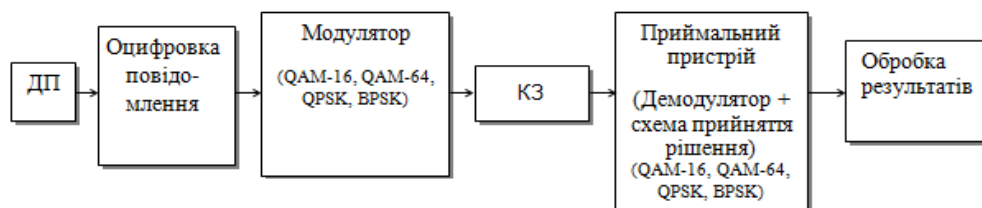


Рис. 1. Загальна схема моделювання

Окремий елемент масиву, в залежності від кількості біт кодування  $Q$ , може приймати значення від 0 до  $2^8 - 1$  (при  $Q=1..8$ ), або ж від  $-2^{16-1} = -32768$  до  $2^{16-1} - 1 = 32767$  (при  $Q=9..16$ ).

Амплітудні відліки сигналу представимо у вигляді вектора  $a := \text{READWAV}(\text{«03\_16000\_8.wav»})$ .

Загальна кількість відліків на кожен із каналів:

$$n_{\text{кан}}^C := \text{rows}(a).$$

	1
8798	78
8799	93
8800	116
8801	141
8802	148
8803	134
8804	113
8805	105
8806	106
8807	106
8808	...

Рис. 2. Амплітуди аудіосигналу в окремі відліки дискретизації

Часові координати кожного із відліків:

$$n := 1..N_{\text{кан}}, \quad t_n := \frac{n}{f_{\text{д}}}$$

Інтервал дискретизації:  $\Delta t = \frac{1}{f_{\text{д}}}$

Загальна тривалість звучання аудіофайлу:

$$t_{\Sigma} := \max(t) = 3.268 \text{ с.}$$

Володіючи інформацією про часові координати кожного із відліків і знаючи відповідні цим відлікам амплітуди (в квантованому вигляді), можна зобразити «осцилограму» імпортованого аудіофайлу (рис. 3):

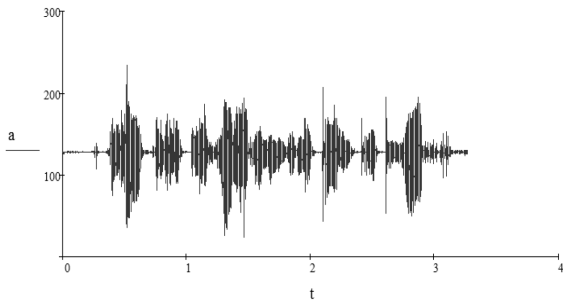


Рис. 3. Осцилограма імпортованого аудіофайлу

Для подальших розрахунків також буде необхідне перетворення форматів чисел із десятичного виду в двійковий і навпаки. Модулі для вказаних перетворень можна знайти в [6].

Використовуючи дані перетворення отримаємо вектор бітового потоку (позначимо як  $a$ ), який надалі і буде використовуватись для моделювання.

Розглянемо модель на прикладі модуляції QAM-16.

Вхідні параметри:

– кількість точок у сигнальному сузір'ї:  $N := 16$  точок;

– кількість бітів, що передається за допомогою одного символу:  $n := \frac{\log(N)}{\log(2)}$ ,  $n := 4$  біта,  $p := 1..n$ ;

– кількість бітів, що передаються:  $L$ , біт;

– кількість символів, що передаються:  $\frac{L}{n}$ ,

симв.;  $k := 1.. \frac{L}{n}$ ,  $i := 1..L$ ;

– значення швидкості передавання інформації:  $R$ , біт/с;

– частота несучого гармонічного коливання:

$$f := 5 \cdot 10^9 \text{ Гц.}$$

Швидкість модуляції:  $R_0 := \frac{R}{n}$ , бод.

Час передачі одного біта інформації:  $\Phi = \frac{1}{R}$ ,

$$\Phi_{\text{мкс}} := \Phi \cdot 10^6 \text{ мкс.}$$

Формування бітів, що передаються (рис. 4):

$$\text{INF}_i := \begin{cases} 1 & \text{if } a_i \geq 0.5; \\ -1 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\text{Lin}f(t) := \sum_{i=1}^L \left[ \left[ \Pi[t - \Phi(i-1)] - \Pi[t - \Phi(i)] \right] \cdot \text{INF}_i \right]$$

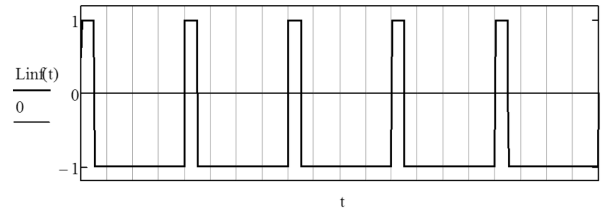


Рис. 4. Графічне зображення бітів, що передаються

### 3. Модулятор

Формування послідовностей  $x(t)$  та  $y(t)$ .

– розбиття вектору бітового потоку на 2 таблиці (рис. 5):

$$d_{k,p} := \text{INF}_{n \cdot (k-1) + p}, \quad j := 1.. \frac{n}{2}, \quad dx_{k,j} := d_{k,2 \cdot j}, \\ dy_{k,j} := d_{k,2 \cdot j - 1}$$

$$dx1 := dx^T, \quad dy1 := dy^T$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$dx1 =$	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	...

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$dy1 =$	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	...

Рис. 5. Розбиття вектору бітового потоку на дві таблиці

– таблиці умовних рівнів:

$$b_I := \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}, \quad b_Q := b_I, \quad I := \begin{pmatrix} -3 \\ -1 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad Q := I$$

– послідовності  $X$  та  $Y$  (рис. 6):

$$X := \begin{cases} \text{for } i \in 1.. \text{cols}(dx1) \\ \text{for } j \in 1.. \text{cols}(bx) \\ f_i \leftarrow I_j \text{ if } dx1^{<i>} = bx^{<j>} \\ f \end{cases}$$

$$Y := \begin{cases} \text{for } i \in 1.. \text{cols}(dy1) \\ \text{for } j \in 1.. \text{cols}(by) \\ f_i \leftarrow Q_j \text{ if } dy1^{<i>} = by^{<j>} \\ f \end{cases}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X^T =$	1	3	3	3	3	3	3	3	3	...

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y^T =$	1	-1	3	-1	3	-1	3	-1	3	-1

Рис. 6. Послідовності  $X$  та  $Y$

Графічне зображення послідовностей  $X$  та  $Y$  зображено на рис. 7 та рис. 8.

$$X_{QAM}(t) := \sum_{k=1}^{\frac{L}{n}} \left[ \begin{matrix} \Phi[t - \phi \cdot n \cdot (k-1)] \\ -\Phi(t - \phi \cdot n \cdot k) \end{matrix} \right] \cdot X_k$$

$$Y_{QAM}(t) := \sum_{k=1}^{\frac{L}{n}} \left[ \Phi[t - \phi \cdot n \cdot (k-1)] - \Phi(t - \phi \cdot n \cdot k) \right] \cdot Y_k$$

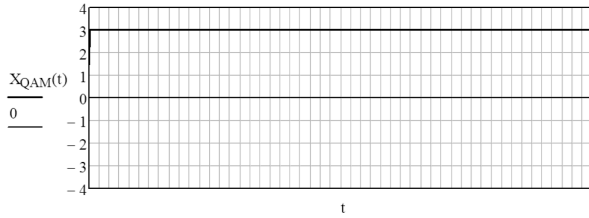


Рис. 7. Графічне зображення  $X_{QAM}$

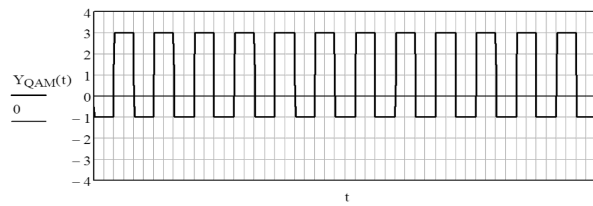


Рис. 8. Графічне зображення  $Y_{QAM}$

Моделювання сигналу з N-QAM:

$$Z(t) := \sum_{k=1}^{\frac{L}{n}} \left[ \Phi[t - n \cdot \phi \cdot (k-1)] - \Phi(t - n \cdot \phi \cdot k) \right] \cdot$$

$$\left( X_k \cdot \cos(2 \cdot p \cdot f \cdot t) + Y_k \cdot \sin(2 \cdot p \cdot f \cdot t) \right)$$

Амплітуда результуючого коливання:

$$B_{k,1} := \sqrt{(X_k)^2 + (Y_k)^2}$$

Фазовий зсув результуючого коливання (рис. 9):

$$B_{k,2} := \frac{180}{p} \cdot \text{atan}\left(\frac{Y_k}{X_k}\right)$$

$$B^T = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{matrix} 3.162 \\ -18.435 \end{matrix} & \begin{matrix} 4.243 \\ 45 \end{matrix} & \begin{matrix} 3.162 \\ -18.435 \end{matrix} & \begin{matrix} 4.243 \\ 45 \end{matrix} & \begin{matrix} 3.162 \\ -18.435 \end{matrix} & \begin{matrix} 4.243 \\ 45 \end{matrix} & \begin{matrix} 3.162 \\ \dots \end{matrix} \end{matrix}$$

Рис. 9. Фазовий зсув результуючого коливання

Час передачі L бітів:  $\Delta t = L \cdot \phi$

Інтервал дискретизації QAM-сигналу [1]:

$$\Delta t = \frac{1}{4 \cdot f}$$

Кількість відліків сигналів:  $\frac{T}{\Delta t} = 66964$

відліків,  $m = 1 \dots \text{floor}\left(\frac{T}{\Delta t}\right)$ ,  $S_m := Z(m \cdot \Delta t)$ .

4. Канал зв'язку

Реалізовано у вигляді суматора сигналу і завади.

Розглянемо генератор завади.

Внесення завади у канал зв'язку:

$$z := \text{norm}\left(\text{floor}\left(\frac{T}{\Delta t}\right), 0, 0.9\right)$$

Функція  $\text{norm}(m, \mu, \sigma)$  повертає вектор з  $m$  випадкових чисел, що мають нормальний розподіл із середнім  $\mu$  і середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ .

Потужність модульованого сигналу:

$$P_s := \frac{\sum_{j=1}^{\text{floor}\left(\frac{T}{\Delta t}\right)} (S_j)^2}{\left(\frac{T}{\Delta t}\right)}$$

Потужність завади в каналі зв'язку:

$$P_z := \frac{y^2 \cdot 2 \cdot \Delta t \cdot R}{n}$$

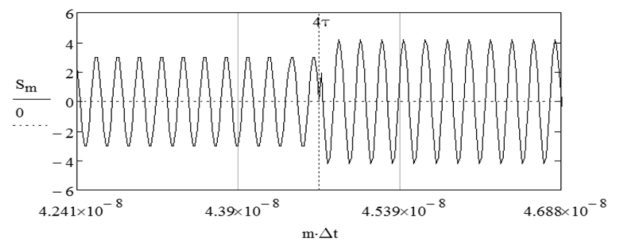
Відношення сигнал/завада:  $h = \frac{P_s}{P_z}$ .

Відношення сигнал/завада у децибелах:

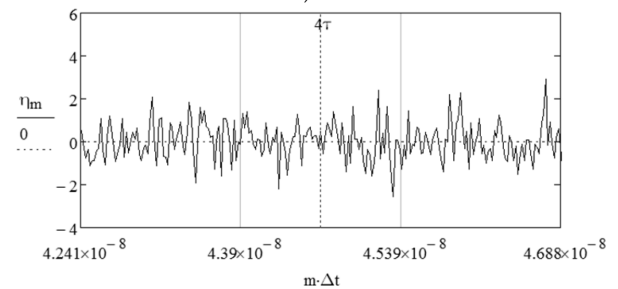
$$h_{\text{дБ}} := 10 \cdot \log(h)$$

Графіки сигналу (при модуляції QAM-16), завади та (сигнал + завада) зображено на рис. 10.

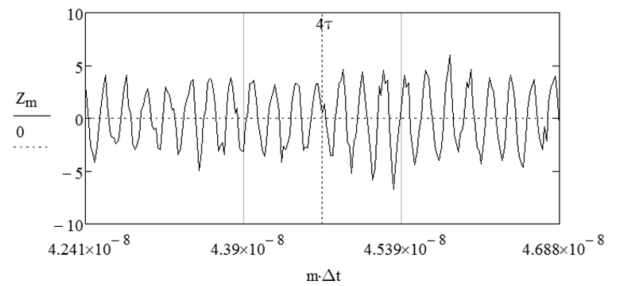
$$Z_m := S_m + z_m$$



а)



б)



в)

Рис. 10. Графіки а) сигналу (при модуляції QAM-16), б) завади, в) сигнал (QAM-16) + завада

5. Алгоритм роботи приймального пристрою

$$X_{\Phi\text{НЧ}}_k := \frac{2 \cdot \Delta t}{n \cdot \phi} \cdot \sum_{m=\text{floor}[\frac{n \cdot \tau}{\Delta t} \cdot (k-1)+1]}^{\text{floor}(\frac{n \cdot \tau}{\Delta t} \cdot k)} (Z_m \cdot \cos(2 \cdot p \cdot f \cdot m \cdot \Delta t)),$$

$$Y_{\Phi\text{НЧ}}_k := \frac{2 \cdot \Delta t}{n \cdot \phi} \cdot \sum_{m=\text{floor}[\frac{n \cdot \tau}{\Delta t} \cdot (k-1)+1]}^{\text{floor}(\frac{n \cdot \tau}{\Delta t} \cdot k)} (Z_m \cdot \sin(2 \cdot p \cdot f \cdot m \cdot \Delta t)).$$

Порогова схема прийняття рішення:

$$X1 := X_{\Phi\text{НЧ}}, \quad Y1 := Y_{\Phi\text{НЧ}},$$

$$X' := \begin{cases} \text{for } i \in 1..\text{rows}(X1) \\ f \leftarrow \begin{cases} -3 & \text{if } -\infty < X1_1 \leq -2 \\ -1 & \text{if } -2 < X1_1 \leq 0 \\ 1 & \text{if } -2 < X1_1 \leq 0 \\ 3 & \text{if } 2 < X1_1 \leq \infty \end{cases} \\ f \end{cases}$$

$$Y' := \begin{cases} \text{for } i \in 1..\text{rows}(Y1) \\ f \leftarrow \begin{cases} -3 & \text{if } -\infty < Y1_1 \leq -2 \\ -1 & \text{if } -2 < Y1_1 \leq 0 \\ 1 & \text{if } -2 < Y1_1 \leq 0 \\ 3 & \text{if } 2 < Y1_1 \leq \infty \end{cases} \\ f \end{cases}$$

Перетворення умовних рівнів у послідовність бітів:

$$dx' := \begin{cases} C \leftarrow X' \\ \text{for } i \in 1..\text{rows}(C) \\ \text{for } j \in 1..\text{rows}(C) \\ S^{<i>} \leftarrow bx^{<j>} \text{ if } I_j = X'_1 \\ S^T \end{cases}$$

$$dy' := \begin{cases} C \leftarrow Y' \\ \text{for } i \in 1..\text{rows}(C) \\ \text{for } j \in 1..\text{rows}(C) \\ S^{<i>} \leftarrow by^{<j>} \text{ if } Q_j = Y'_1 \\ S^T \end{cases}$$

$$d' := \text{augment}(dy'^{<1>}, dx'^{<1>}, dy'^{<2>}, dx'^{<2>}).$$

Прийняті біти:

$$INF_{\text{ПР}} := \begin{cases} F \leftarrow d'^T \\ A \leftarrow F^{<1>} \\ \text{for } i \in 2..\text{cols}(F) \\ A \leftarrow \text{stack}(A, F^{<i>}) \\ A \end{cases}$$

6. Обробка результатів

Кількість бітів, що були передані по КЗ з помилкою:

$$\text{- для N-QAM: } Q = \frac{\sum_{i=1}^L |INF_i - INF_{PC_i}|}{2},$$

$$\text{- для M-PSK: } Q = \frac{\sum_{i=1}^L |INF_i - INF_{PC_i}|}{L}.$$

Оцінка імовірності неправильної передачі біта по КЗ:  $BER = \frac{Q}{L}$ .

Запис отриманих даних в аудіо файл.

Використовуючи розроблену модель, описану вище, знайдено залежності параметра BER від відношення с/ш в КЗ (див. табл. 1).

Таблиця 1  
Значення параметра BER при різних відношеннях с/ш в КЗ (знайдено за допомогою розробленої моделі)

Відношення с/ш в КЗ (h)		Ймовірності помилки на біт інформації (BER)			
раз	дБ	QAM-16	QAM-64	BPSK	QPSK
1	0	245.528·10 <sup>-3</sup>	241.167·10 <sup>-3</sup>	156.767·10 <sup>-3</sup>	157.785·10 <sup>-3</sup>
5	6.99	118.967·10 <sup>-3</sup>	181.535·10 <sup>-3</sup>	1.895·10 <sup>-3</sup>	12.984·10 <sup>-3</sup>
10	10	58.945·10 <sup>-3</sup>	142.952·10 <sup>-3</sup>	~0	775.71·10 <sup>-6</sup>
50	16.99	5.63·10 <sup>-4</sup>	34.789·10 <sup>-3</sup>	~0	~0
100	20	2.904·10 <sup>-6</sup>	8.301·10 <sup>-3</sup>	~0	~0
150	21.76	~0	1.999·10 <sup>-3</sup>	~0	~0
200	23.01	~0	6.016·10 <sup>-4</sup>	~0	~0

Розраховано теоретичні значення параметра BER від відношення с/ш. Для цього використано формули із [1].

Таблиця 2  
Теоретичні значення параметра BER при різних відношеннях с/ш в КЗ

Відношення с/ш в КЗ (h)		Ймовірності помилки на біт інформації (BER)			
раз	дБ	QAM-16	QAM-64	BPSK	QPSK
1	0	245.520·10 <sup>-3</sup>	241.284·10 <sup>-3</sup>	157.299·10 <sup>-3</sup>	158.655·10 <sup>-3</sup>
5	6.99	118.991·10 <sup>-3</sup>	182.462·10 <sup>-3</sup>	1.565·10 <sup>-3</sup>	12.674·10 <sup>-3</sup>
10	10	58.987·10 <sup>-3</sup>	142.961·10 <sup>-3</sup>	7.744·10 <sup>-6</sup>	782.701·10 <sup>-6</sup>
50	16.99	5.87·10 <sup>-4</sup>	35.823·10 <sup>-3</sup>	7.413·10 <sup>-12</sup>	765.277·10 <sup>-12</sup>
100	20	2.904·10 <sup>-6</sup>	8.486·10 <sup>-3</sup>	~0	~0
150	21.76	16.202·10 <sup>-9</sup>	2.195·10 <sup>-3</sup>	~0	~0
200	23.01	9.524·10 <sup>-11</sup>	5.916·10 <sup>-4</sup>	~0	~0

Звичайна величина відношення с/ш (особливо у мобільних клієнтів) знаходиться приблизно на рівні 13 - 20 дБ, в залежності від умов, і знижується до країв відведеної частотної смуги, щоб менше заважати пристроям в інших діапазонах.

Звичайна величина відношення с/ш (особливо у мобільних клієнтів) знаходиться

приблизно на рівні 13 - 20 дБ, в залежності від умов, і знижується до країв відведеної частотної смуги, щоб менше заважати пристроям в інших діапазонах. Тому знайдено залежності параметра BER від відношення  $c/\pi$  саме для вказаного діапазону та декількох точок, де відношення  $c/\pi$  більше/менше від зазначених величин.

Для наглядності зобразимо графіки залежності параметра BER від відношення  $c/\pi$  для даних видів модуляції (див рис. 11 та рис. 12).

На рис. 11 та рис. 12 пунктирною лінією зображено залежність параметра BER від відношення  $c/\pi$ , що отримана із використанням розробленої моделі, а неперервною – теоретичні значення, розраховані за формулами [1].

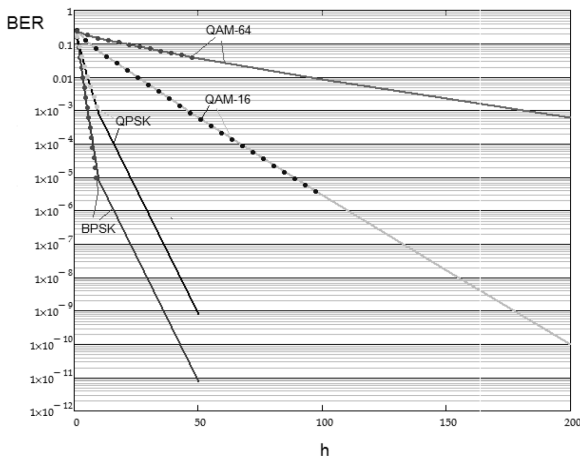


Рис. 11. Графік залежності параметра BER від відношення  $c/\pi$  (рази) в КЗ

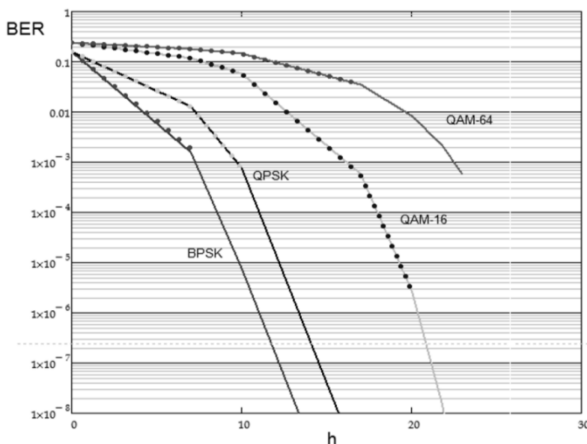


Рис. 12. Графік залежності параметра BER від відношення  $c/\pi$  (дБ) в КЗ

Із графічного представлення видно, що теоретично розраховані значення та значення знайдені із використанням розробленої моделі мають не суттєві відмінності, що свідчить про адекватну поведінку спроектованої моделі та можливість використання її на практиці для проектування безпроводового КЗ.

Однак, розбіжності все таки існують. Проте, вони зумовлені ні чим іншим, як малою кількістю біт, що передавалася по КЗ.

Параметр BER оцінюється як відношення числа помилково інтерпретованих біт до загального їх числа. Якість отриманої таким чином оцінки

коефіцієнта помилок збільшується пропорційно до загального числа переданих біт. У граничному випадку, коли число переданих біт прямує до нескінченності, отримане в результаті вимірювання значення збігається з точним значенням імовірності появи помилки.

Із отриманих результатів видно, що найкраща якість відновлення повідомлення буде для модуляції BPSK, оскільки при однаковому значенні  $c/\pi$  в каналі зв'язку при її використанні параметр BER – найменший.

Отримані результати можна прослухати. Якість звуку для різних видів модуляції (при однаковому відношенні  $c/\pi$  в КЗ) – різна. Із прослуханих файлів, можна зробити висновок, що найкраща якість звуку в тому випадку, коли використовується модуляція BPSK.

### Висновки

У даній роботі розроблено модель передачі мовного повідомлення по безпроводовому КЗ.

Передачу сигналів здійснено за допомогою наступних схем модуляції: QAM-16, QAM-64, QPSK та BPSK. Моделювання здійснено в програмному пакеті MathCad 15.

У процесі моделювання в КЗ внесено заваду, розподілену за нормальним законом розподілу.

У результаті моделювання отримано оцінку ймовірності неправильної передачі біта (BER) по КЗ в залежності від відношення  $c/\pi$  в КЗ для зазначених видів модуляції.

Із отриманих результатів видно, що найкраща якість відновлення повідомлення буде для модуляції BPSK, оскільки при однаковому значенні  $c/\pi$  в КЗ при її використанні параметр BER – найменший.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні положення роботи реалізовані у вигляді розрахункової моделі, яку можна використовувати для проектування без проводових систем.

### Література

- [1] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
- [2] Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
- [3] Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
- [4] Теорія електричного зв'язку: Підруч. для студентів вищ. навч. закл. I та II рівнів акредитації за напрямом «Телекомунікації»/ І.П. Панфілов, В.Ю. Дирда, А.В. Капацін. – К.: «Техніка», 1998. – 328 с.
- [5] Іващенко С.В., Мішин В.В. Дослідження параметрів радіоканалу мережі широкосмугового радіодоступу на основі технології LTE. – Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – вип. 126.
- [6] Конахович Г.Ф., Пузиренко О.Ю. Комп'ютерна стенографія. Теорія і практика. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.

УДК 621.396 (045)

*Конахович Г.Ф., Чуприн В.М., Беженар Ю.В. Моделирование передачи речевого сообщения через беспроводной канал связи*

**Аннотация.** Обработка и передача речевой информации остается актуальной научной задачей. В этой статье авторами была разработана компьютерная модель передачи речевого сообщения через беспроводной канал связи. Основные положения статьи реализованы в виде расчетной модели, которую можно использовать для проектирования беспроводных систем связи. Для передачи сигнала были использованы следующие виды модуляции: QAM-16, QAM-64, BPSK и QPSK, для которых рассчитана зависимость параметра BER от SNR и сделано её сравнение с теоретическими значениями.

**Ключевые слова:** безопасность информации в сети, канал связи, передача речевого сообщения, модуляция, QAM-16, QAM-64, BPSK, QPSK, BER, SNR.

*Konakhovych G.F., Chuprin V.M., Bezhenar Yu.V. The transmission of voice messages modeling through a wireless communication channel*

**Abstract.** Processing and transmission of voice information remains actual scientific problem. In this article, authors developed a computer model of voice messages transfer through a wireless communication channel. The major issues of the article are implemented as a computational model that can be used to design wireless systems. To transmit a signal the following types of modulation were used: QAM-16, QAM-64, BPSK and QPSK, a dependence between BER parameter and SNR were calculated and compared with theoretical values.

**Key words:** security of information in network, wireless communication channel, voice message, modulation, QAM-16, QAM-64, BPSK, QPSK, BER, SNR.

---

Отримано 02 вересня 2013 року, затверджено редколегією 18 вересня 2013 року