

# ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КВАЗІКОГЕРЕНТНОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ OFDM-СИГНАЛУ ПІД ЧАС ОБРОБКИ «В ЦІЛОМУ»

О.М. РОМА, О.М. БЕЛАС, Б.А. НИКОЛАЄНКО

У статті розглянуто оцінювання завадостійкості процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження за допомогою імітаційного моделювання.

*Ключові слова:* квазікогерентна демодуляція, OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, BPSK – Binary Phase-Shift Keying, завадостійкість, імітаційне моделювання.

## ВСТУП

Сучасний рівень бойової готовності силових структур України та його подальше підвищення значно залежать від процесу удосконалення систем та зразків техніки зв'язку спеціального призначення.

В забезпеченні своєчасного, достовірного та прихованого управління важливе значення має радіозв'язок, альтернативи якого у ряді випадків може не бути.

Одним із ключових факторів, що впливають на якість радіозв'язку силових структур, є ненавмисні та навмисні завади.

Тому, в умовах апріорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнально-завадової обстановки, **важливою і актуальною є задача** побудови вискоєфективних систем радіозв'язку, в яких забезпечується передача сигналів з допустимим рівнем адитивних спотворень.

Загальновідомо, що важливим показником ефективності, особливо для систем радіозв'язку спеціального призначення, є показник завадостійкості.

Проведений аналіз існуючих методів підвищення завадостійкості систем радіозв'язку спеціального призначення показав, що перспективним напрямком вирішення цього завдання при передачі сигналів багатопроблемними каналами зв'язку є застосування методу ортогонального частотного розділення – мультиплексування (OFDM), сутність якого полягає в розділенні високошвидкісного потоку даних на множину паралельних низькошвидкісних підпотоків, кожний з яких модулюється своїм цифровим потоком [1–4]. Основними перевагами даного методу є стійкість до завмирань сигналу за умов багатопроблемності, висока частотна ефективність, а також можливість застосування різних схем модуляції окремо для кожної піднесівної частоти, що дозволяє адаптивно варіювати завадостійкість і швидкість передачі.

Характерним прикладом застосування OFDM-технологій в системах зв'язку силових структур є мобільний комплекс «МІК-МКС» фірми «Мікран», призначений для організації та швидкого розгортання цифрових радіорелейних ліній зв'язку, а також мереж ширококутового бездротового доступу, побудованих за стандартом

802.16. Саме наявність даного стандарту дозволяє здійснювати прив'язку мобільних абонентів (у радіусі до 30 км) до базових станцій, які є основною компонентою опорної польової мережі зв'язку.

При цьому слід припустити, що за необхідністю забезпечення радіозв'язку з мобільними абонентами в складній сигнально-завадовій обстановці позиційність модуляції на піднесівних буде невеликою, до мінімальної включно.

При переході до методу модуляції мінімальної позиційності, з'являється можливість застосувати не квадратурну, як це має місце у стандарті 802.16, а квазікогерентну демодуляцію сигналів. А у цьому випадку в області низьких відношень сигнал/шум квазікогерентний демодулятор у порівнянні з некогерентним може надати вигоду у енергетиці сигналу до 2,5 дБ.

Тому, на першочергову увагу заслуговує, реалізація не квадратурної (як це має місце у стандарті 802.16xx), а квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналів з ФМ-2 двійковою фазовою модуляцією.

## 1. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За допомогою методів оптимальної нелінійної фільтрації дискретно-неперервних марківських процесів [5–7] та загальновідомої теорії [5–6] синтезовані деякі процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки «в цілому», на основі «групового» спостереження за усіма піднесівними частотами [8], а також виконано асимптотичну оцінку їх завадостійкості. Однак питання щодо підтвердження роботоздатності синтезованої у [8] процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження залишається не вирішеним, оскільки такі методи аналізу в науковій літературі відсутні, а отримання точних математичних співвідношень для такого аналізу є складною задачею. Одним із шляхів ефективного вирішення цього питання є використання засобів імітаційного моделювання, зокрема – Matlab з пакетом розширення Simulink [9], яка для моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем надає користувачу прості і зручні засоби,

в тому числі візуального об'єктно-орієнтованого програмування.

Зважаючи на вищесказане, для імітаційного моделювання демодулятора OFDM-сигналу під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження використано версію Matlab R2013b з пакетом розширення Simulink.

Виходячи з актуальності питання та наявності невирішених задач, метою статті є розробка інструменту підтвердження роботоздатності синтезованої у [8] процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження.

Постановка завдання дослідження на концептуальному рівні:

- підтвердження роботоздатності синтезованої процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки «в цілому» на основі «групового» спостереження;

- підтвердження результатів оцінювання завадостійкості квазікогерентного прийому сигналу із застосуванням процедури квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження.

Об'єктом моделювання є демодулятор OFDM-сигналу, що реалізує процедуру квазікогерентної демодуляції сигналу з ФМ-2 (BPSK).

Обмеження та припущення:

- вхідне спостереження є адитивною сумішшю корисного OFDM-сигналу з ФМ-2 та АБГШ. Обробка спостереження здійснюється в межах динамічного діапазону приймача;

- канал із постійними (повільно змінними) параметрами порівняно з тривалістю тактового інтервалу;

- початкові фази сигналу аналітично пов'язані;

- питання синхронізації опорного коливання по фазі та частоті, а також тактової синхронізації передавача та приймача уже вирішені;

- відсутнє явище зворотної роботи, яке характерно для всіх практичних способів формування опорного коливання в схемах прийому сигналів з фазовою маніпуляцією;

- у передавачі передбачена можливість штучного внесення неузгодженості за фазою опорного коливання передавача та приймача шляхом додавання до фази опорного коливання передавача постійного або повільно-змінного значення набігу фази. Параметри модулятора підібрані так, що частота несінного коливання в 64 рази вище бітової швидкості інформаційних символів, а частота дискретизації опорного коливання дорівнює 1/8 періоду. Тобто частота дискретизації в 512 разів вища за бітову швидкість інформаційних символів. Ця ситуація відповідає випадку, коли в ході використання несінного коливання 2,4 ГГц, бітова швидкість передавача складає 37,5 Мбіт/с, що характерно для сучасних цифрових пристроїв.

Обмеження та припущення застосовані до тих процесів, які використовуються під час обробки сигналів, досить повно досліджені, мають відомі технічні рішення та практично реалізовані в приймальних радіозасобах.

## 2. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження властивостей, характеристик завадостійкості квазікогерентного прийому OFDM-сигналу, за допомогою пакета Simulink була розроблена «спрощена» імітаційна модель,

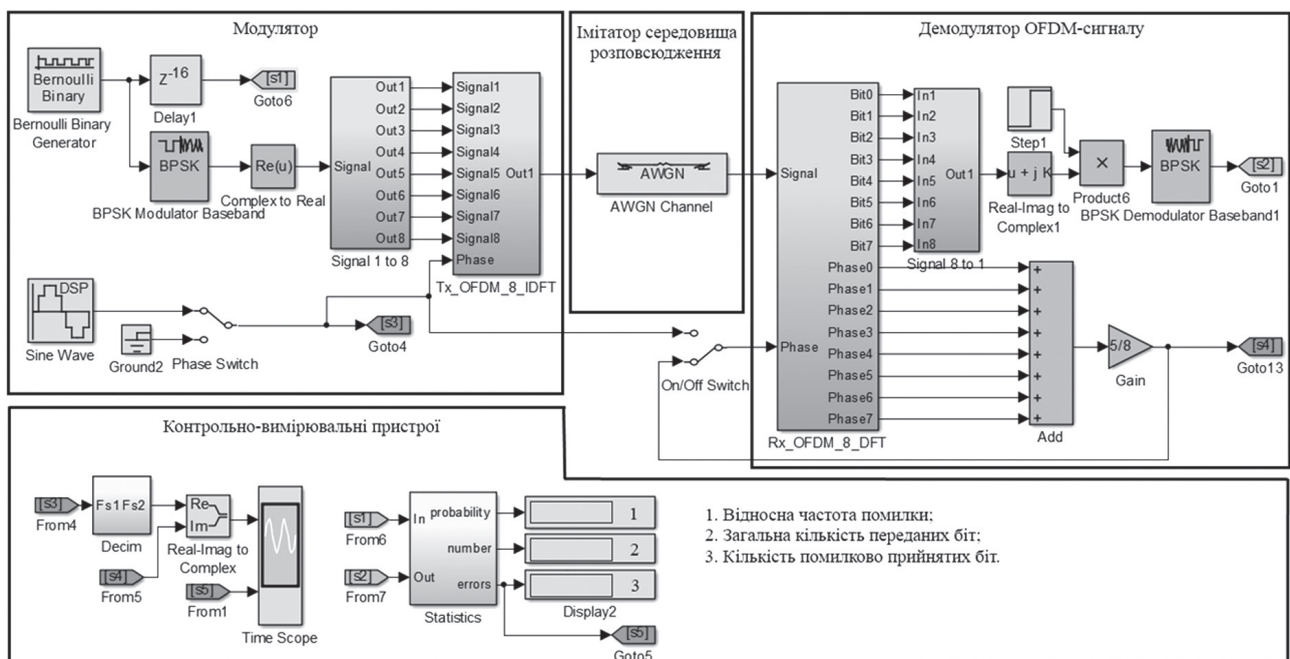


Рис. 1. Структурна схема імітаційної моделі квазікогерентного демодулятора OFDM-сигналу з ФМ-2 під час обробки «в цілому» на основі «групового» спостереження

Позначення, які застосовуються у структурній схемі імітаційної моделі квазікогерентного демодулятора OFDM-сигналу

Елемент	Функція	Призначення
Bernoulli Binary Generator	генератор псевдовипадкової послідовності Бернуллі	генерація випадкових двійкових чисел, використовуючи розподіл Бернуллі
BPSK Modulator Baseband	BPSK модулятор	модуляція методом двійкової фазової маніпуляції
Pulse Generator	генератор імпульсів	генерація послідовності імпульсів
Signal 1 to 8	послідовно-паралельний перетворювач	перетворення послідовного високошвидкісного потоку на множині паралельних низькошвидкісних підпотоків за кількістю піднесівних
Tx_OFDM_8_IDFT	формувавч OFDM-символів	формування радіоімпульсів, шляхом перемноження високо-частотних коливань кожної піднесівної на низькошвидкісні підпотоків
Rx_OFDM_8_DFT	приймач OFDM-символів	демодуляція OFDM-символів з корекцією початкової фази опорних коливань
Delay	затримка сигналу	затримка сигналу на заданий час
Triggered		буферизація сигналу затриманого на період
Complex to Real-Imap	елемент розділення «дійсної» та «уявної» частини	розділення «дійсної» та «уявної» частини сигналу
Sine Wave	генератор синусоїдального коливання	штучне внесення набігу фаз
Product	перемножувач	перемноження сигналів
Add	суматор	сумування сигналів
AWGN Chanel	канал з АБГШ	елемент імітації каналу розповсюдження сигналу з АБГШ
Trigonometric Function	гіперболічний тангенс	виведення результату щодо знаку імпульсу «+» або «-»
Discrete-Time Integrator	дискретний часовий інтегратор	накопичування сигналу впродовж інформаційного тактового інтервалу
Decim	елемент децимації	пониження частоти дискретизації
Gain	підсилювач	підсилення сигналу
Ground	заземлювач	відключення входу
Real-Imap to Complex	елемент об'єднання «дійсної» та «уявної» частини	об'єднання «дійсної» та «уявної» частини сигналу
Step	функція «одиночного стрибка»	включення демодулятора лише у момент початку демодуляції BPSK-сигналу, виключаючи його роботу по чистому шуму
On/off Switch	комутатор	включення / виключення каналу підлаштування фази
Phase Switch	комутатор	включення / виключення блоку внесення набігу фази в канал
OE2	управляючий елемент	формування сигналу фази неузгодженості між переданим та прийнятими сигналами
BPSK Demodulator Baseband	BPSK демодулятор	демодуляція методом двійкової фазової маніпуляції (ФМ-2)
Statistics	контрольно-вимірювальні пристрої	пристрої обчислення частоти помилки (probability), загальної кількості переданих біт (number) та кількості помилково прийнятих біт (errors)
Display	дисплей	відображення даних, що поступають із блоку Statistics
Time Scope	цифровий осцилограф	відображення сигналу в часовій області

яка передбачає роботу з 8-точковим OFDM-сигналом, та використовує BPSK-модуляцію. OFDM-сигнал містить лише 8 піднесівних, без зазначення їх призначення. Тобто присутні лише інформаційні складові сигналу (відсутні: циклічні префікси, пілот-сигнали, захисні інтервали та виключення центральної піднесівної), що не впливає на сам характер когерентного прийому.

Розглянемо компоненти блок-схеми імітаційної моделі.

Модулятор моделі вхідного спостереження формує OFDM-сигнал з BPSK модуляцію.

Сигнал створюється генератором псевдовипадкової послідовності Бернуллі. Перенесення спектра сформованого OFDM-сигналу на несівну частоту відбувається за допомогою високочастотного модулятора.

Для забезпечення імітації реальних умов розповсюдження радіохвиль використовується стандартний елемент (AWGN), який імітує канал з АБГШ та дає можливість встановлювати задане відношення сигнал/шум при введенні вхідних даних для моделювання.



Квазікогерентний демодулятор OFDM-сигналу з BPSK-модуляцією містить два канали: інформаційний та канал підлаштування фази.

Контрольно-вимірювальні пристрої в імітаційній моделі є пристрої обчислення частоти помилки, як оцінки середньої ймовірності помилки прийому інформаційного символу сигналу, а пристроями вимірювання – осцилографи, які відображують осцилограми в контрольних точках імітаційної моделі.

Модель містить обчислювач відповідної частоти помилки – *probability*, лічильник кількості переданих інформаційних біт – *number* та лічильник числа помилково переданих біт – *errors*.

Як показник ефективності використовується величина середньої частоти помилки прийому інформаційного символу сигналу  $P_{\text{пом}}$ , що визначається як відношення кількості помилково прийнятих інформаційних символів (біт)  $N_{\text{пом}}$  до загальної кількості переданих символів сигналу  $N_{\text{заг}}$  [10, 11]. На практиці, для достатньо великих  $N_{\text{заг}}$  частота помилки прийому інформаційного символу визначається як:  $P_{\text{пом}} = \lim_{N_{\text{заг}} \rightarrow \infty} N_{\text{пом}} / N_{\text{заг}}$

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ

Наведемо частоту помилки  $P_{\text{пом}}$  від різних значень відношення сигнал/шум ( $P_c / P_{\text{ш}}$ ) для:

1. Оптимального когерентного приймача сигналів ФМ-2 за формулою [12]:

$$P_{\text{пом(фм)}} = 1 - F(\sqrt{2h^2}), \quad (1)$$

де  $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  – функція Лапласа;

$h = \sqrt{\frac{E}{N_0}}$ ;  $E = E_i = \int_0^T c_i^2(t) dt$ ,  $i = 0, 1, \dots$  – енергія елемента сигналу;  $N_0$  – одностороння спектральна щільність потужності білого шуму.

2. Оптимального некогерентного приймача сигналів ФМ-2 за формулою [12]:

$$P_{\text{пом(фм)}} = \frac{1}{2} e^{-h^2}. \quad (2)$$

3. Розробленого за допомогою імітаційної моделі квазікогерентного демодулятора OFDM-сигналу з ФМ-2 та ВФМ-2 під час обробки сигналу «в цілому» на основі «групового» спостереження з використання різної кількості піднесівних.

У табл. 2 та на рис. 2 отримані за допомогою вищенаведеної імітаційної моделі відношення частоти помилки  $P_{\text{пом}}$  для різних видів прийому сигналів від значень сигнал/шум ( $P_c / P_{\text{ш}}$ ).

Із рис. 2 видно, що застосування усіх піднесівних у OFDM-сигналі під час обробки «в цілому» на основі «групового» спостереження

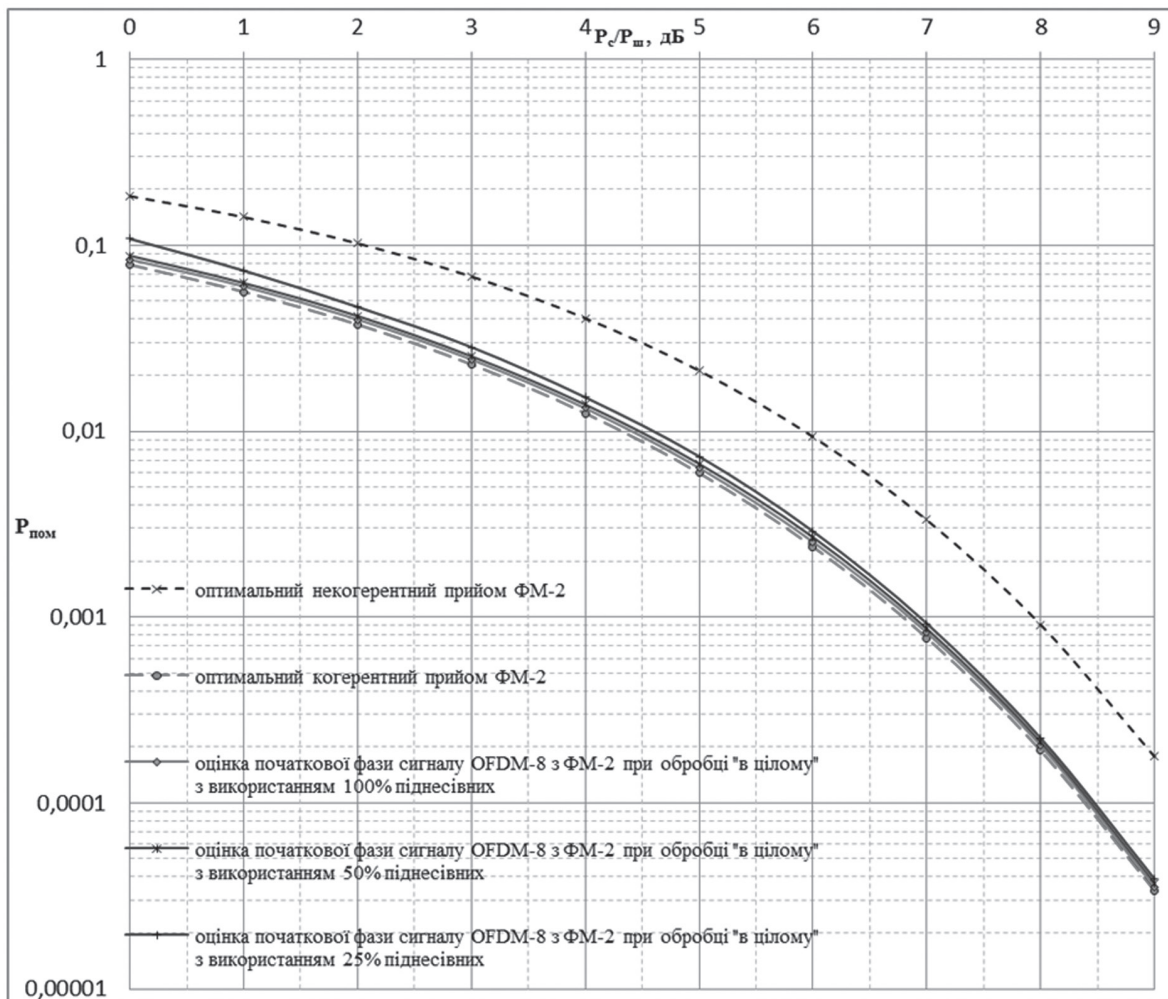


Рис. 2. Залежність частоти помилки  $P_{\text{пом}}$  для різних видів прийому від значень сигнал/шум ( $P_c / P_{\text{ш}}$ )

Таблиця 2

Залежність відносної частоти помилки для різних значень відношення сигнал/шум

Сигнал/шум, $P_c/P_{ш}$ (дБ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h^2$ , (рази)	1	1,25892	1,58489	1,99526	2,51188	3,16227	3,98107	5,01187	6,30957	7,94328
К-ть випробувань (n)	300000	300000	300000	300000	300000	400000	400000	400000	500000	1000000
Опт. ког. прм. ФМ-2	0,07865	0,05628	0,0375061	0,022878	0,012501	0,005954	0,002388	0,000773	0,0001909	0,000034
Опт. нек. прм ФМ-2	0,18394	0,14197	0,1024848	0,067989	0,040558	0,021165	0,009333	0,003329	0,000909	0,000177
OFDM-8 з 100% піднес.	0,08398	0,06024	0,03995	0,02431	0,01329	0,00635	0,002538	0,000825	0,000203	0,000035
OFDM-8 з 50% піднес.	0,08795	0,06273	0,04167	0,0253	0,01391	0,006678	0,00269	0,000865	0,000212	0,000037
OFDM-8 з 25% піднес.	0,1085	0,0732	0,04664	0,02835	0,01522	0,00732	0,002893	0,000923	0,000223	0,000039

дозволяє якомога ближче наблизитися до оптимального когерентного прийому.

Для визначення енергетичного програшу при переході від оптимального когерентного прийому до оптимального некогерентного та від когерентного до синтезованого за допомогою імітаційного моделювання квазікогерентного прийому OFDM-сигналу з ФМ-2 в ході застосування різної кількості піднесівних, використовуємо наступні значення (табл. 3), що були розраховані з рис. 2.

Таблиця 3

Залежність енергетичних витрат відносно оптимального когерентного прийому сигналів ФМ-2 при різних видах прийому

Частота помилки ( $P_{пом}$ )	0,08	0,01	0,001	0,0001
Опт. некогерентний прм.	2,62	1,62	1,13	0,89
OFDM-8 з 100 % піднесівних	0,79	0,31	0,16	0,1
OFDM-8 з 50 % піднесівних	0,41	0,17	0,1	0,07
OFDM-8 з 25 % піднесівних	0,31	0,1	0,06	0,03

Із рис. 3 визначимо енергетичний вигравш (табл. 4), при переході від некогерентного до квазікогерентного приймання OFDM-сигналу з ФМ-2 під час обробки «в цілому» для різної кількості піднесівних (рис. 4).

Таблиця 4

Енергетичні вигравші відносно оптимального некогерентного прийому для різних видів демодуляцій з використанням ФМ-2

Частота помилки ( $P_{пом}$ )	0,08	0,01	0,001	0,0001
Опт. ког. прм. з ФМ-2	2,62	1,62	1,13	0,89
Вигравш OFDM-8 з 100 % піднесівних	1,83	1,31	0,97	0,79
Вигравш OFDM-8 з 50 % піднесівних	2,21	1,45	1,03	0,82
Вигравш OFDM-8 з 25 % піднесівних	2,31	1,52	1,07	0,86

### ВИСНОВКИ

На основі імітаційного моделювання квазікогерентного демодулятора OFDM-сигналу під

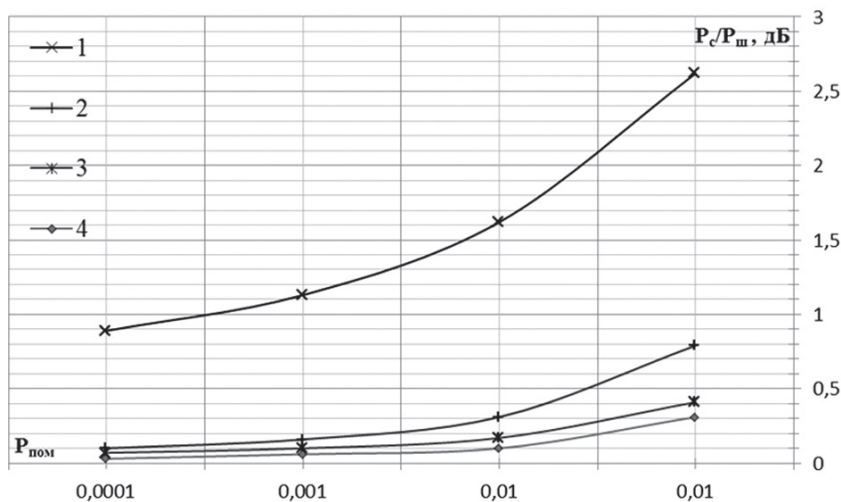


Рис. 3. Залежність енергетичних витрат відносно оптимального когерентного прийому сигналів ФМ-2 при: 1 – оптимальному некогерентному прийомі; 2 – квазікогерентному прийомі сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 25 % піднесівних; 3 – квазікогерентному прийомі сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 50 % піднесівних; 4 – квазікогерентному прийомі сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 100 % піднесівних

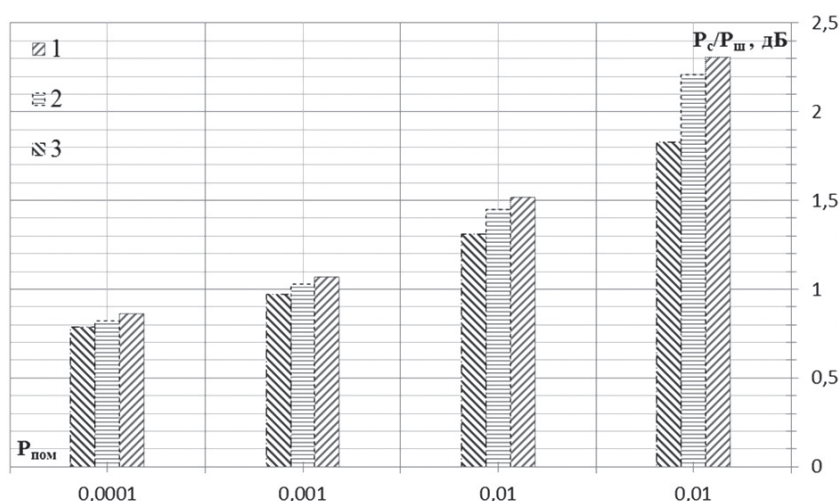


Рис. 4. Энергетичні виграти при переході від некогерентної до квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналів з ФМ-2 під час обробки «в цілому» (для різної кількості піднесівних): 1 – квазікогерентний прийом сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 100 % піднесівних; 2 – квазікогерентний прийом сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 50 % піднесівних; 3 – квазікогерентний прийом сигналу OFDM-8 з оцінкою початкової фази під час обробки «в цілому» з використанням 25 % піднесівних

час обробки «в цілому» здійснено оцінку завадостійкості.

Встановлено, що перехід від квадратурної до квазікогерентної демодуляції OFDM-сигналу в ході використання ФМ-2 дозволяє підвищити показник завадостійкості систем радіозв'язку спеціального призначення на 0,8 – 2,3 дБ (1,20 – 1,69 рази).

Результат вирішення поставленого завдання можна рекомендувати до використання у перспективній технології LTE Advanced та у засобах зв'язку силових структур.

#### Література

[1] Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко – Киев: «ЕКМО». – 2009. – 671 с.

[2] Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://www.comlab.hut.fi/opetus/311/ofdm\\_mod.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/311/ofdm_mod.pdf) Дата доступу: – квітень 2012. – Назва з екрану.

[3] Будущее за технологией LTE [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.nokiamaemo.ru/main/471-budushhee-za-technologiej-lte.html>. Дата доступу: – лютий 2011. – Назва з екрану.

[4] Почему в WiMax и LTE используют OFDM [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://habrahabr.ru/blogs/wireless/129101/> – Дата доступу: – лютий 2011. – Назва з екрану.

[5] Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь. – 1991. – 608 с.

[6] Тихонов В.И. Нелинейная фильтрация и квазікогерентный прием сигналов. / В.И. Тихонов, Н.К. Кульман. – Сов. радио, 1975. – 704 с.

[7] Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

[8] Декл. пат. на кор. мод. України 88964. Пристрій фільтрації початкових фаз складових OFDM-сигналу при обробці «в цілому»; Н04В1/00 / Б.А. Гиндич, В.Ф. Єрохін. – № u 2013 11857; Заявл. 08.10.2013; Опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. – 3 с.

[9] Волков Е. А. Численные методы : учебное пособие для вузов / Е. А. Волков. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 248 с.

[10] Королюк В.С. Справочник по теории вероятности и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – [изд. Второе]. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

[11] Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.: ил.

[12] Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник / В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Шелкунов: Под ред. Л.М. Финка. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.

Надійшла до редколегії 5.08.2014



**Рома Олександр Миколайович**, доктор технічних наук, професор спеціальної кафедри № 3 застосування засобів спеціальних телекомунікаційних систем Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації. Наукові інтереси: телекомунікації.



**Белас Олег Миколайович**, доктор технічних наук, професор спеціальної кафедри № 3 застосування засобів спеціальних телекомунікаційних систем Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації. Наукові інтереси: телекомунікації.



**Ніколаєнко Богдан Анатолійович**, аспірант науково-організаційного відділу науково-дослідного центру Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації. Наукові інтереси: технології 4-го покоління зв'язку LTE – Long Term Evolution, демодуляція складних сигналів типу OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, імітаційне моделювання вищезазначених процесів.

УДК 621.396.1

**Имитационная модель оценки помехоустойчивости квазікогерентной демодуляції OFDM-сигналу при оброботке «в целом»** / А.Н. Рома, О.Н. Белас, Б.А. Ніколаєнко // Прикладная радиоэлектроника: научно-техн. журнал. – 2014. – Том 13. – № 3. – С. 357–363.

В статті була розглянута оцінка помехоустойчивости процедури квазікогерентной демодуляції OFDM-сигналу при оброботке сигнала «в целом» на основі «групового» спостереження з допомогою імітаційного моделювання.

*Ключевые слова:* квазікогерентная демодуляція, OFDM – ортогональное частотное разделение и мультиплексирование, BPSK – двоичная фазовая манипуляція, помехоустойчивость, имитационное моделирование.

Табл.: 04. Ил.: 04. Библиогр.: 12 назв.

UDC 621.396.1

**Simulation model for evaluating noise immunity of OFDM-signal quasicohherent demodulation when processing «in general»** / O.M. Roma, O.M. Belas, B.A. Nikolaienko // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2014. – Vol. 13. – № 3. – P. 357–363.

The paper deals with evaluation of noise immunity of the procedures OFDM-signal quasicohherent demodulation in the signal processing «in general» based on «group» supervision by means of simulation modelling.

*Keywords:* quasicohherent demodulation, OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, BPSK – Binary Phase-Shift Keying, noise immunity, simulation modelling.

Tab.: 04. Fig.: 04. Ref.: 12 items.