

ються с F- центрами или в результате диффузии  $V_3$  –центров, вследствие чего и происходит электронно-дырочная рекомбинация. Термическое обесцвечивание может еще происходить путем термоионизации F- центров в результате которой осуществляется рекомбинация электронов с  $V_3$  –центрами. Не исключена возможность третьего механизма электронно-дырочной рекомбинации, заключающегося в осуществлении обоих вышеупомянутых процессов.

Таим образом, под действием  $\gamma$ - излучения ( $Co^{60}$ ) или рентгеновского излучения в кристаллах KCl происходят сложные ионно-электронные процессы, в результате которых образуются электронные и дырочные центры.

#### Список использованных источников

1. W. Känzig. Phys. Rev., 99,1890, 1955.
2. W. Känzig, O.T. Woodruff. Phys. Chem. Sol., 9, 70, 1958.
3. R. Gazzinelli, R.L. Miehler. Phys. Rev., 175,395,1968.
4. D.F. Daly, R.L. Miehler. Phys. Rev., 175, 412,1968.
5. D. Dutton, R. Maurer. Phys. Rev., 90, 126,1953.
6. T. Castner, W. Känzig. J. Chem. Sol., 3, 178, 1957.
7. C.J. Delbecq, B. Smaller, P.H. Yuster. Phys. Rev., 111, 1235, 1958.
8. E.F. Gucker, Yelvetika Phys. Acta, 41,493,1968.
9. Пунг Л. А. Температурная стабильность автолокализованных дырок в некоторых щелочногалогенидных монокристаллах / Л. А. Пунг, Ю. Ю. Халдре // Известия АН СССР. Серия. Физика. – 1966. – № 30. – С.1446-1447.
10. Горбенко П. К. Природа и свойства дырочных центров кристаллов KCl / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун // ФТТ. – 1971. – Т. 13.
11. Адуев Б. П. Температурная зависимость радиационно-индуцированной проводимости кристаллов CsI при возбуждении пикосекундными пучками электронов / Б. П. Адуев, Э. Д. Алукер, В. Н. Швайко, В. М. Фомиченко // ФТТ. – 2001. – Т. 43, вып. 7. – С. 1185-1188.

УДК 681.325

**М.І. Козленко**, канд. техн. наук

Приватний вищий навчальний заклад “Галицька академія”, м. Івано-Франківськ, Україна

### ЯКІСТЬ ЦИФРОВОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ З КЕРОВАНОЮ ЕНТРОПІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

*Проведено дослідження залежності відношення сигнал/завада на виході демодулятора від такого відношення на його вході при цифровому опрацюванні широкосмугових сигналів з керованою ентропією в розподілених комп’ютерних та телекомунікаційних системах. Отримано кількісні показники завадостійкості для сигналів з базою 17 дБ.*

**Ключові слова:** широкосмуговий сигнал, керована ентропія, комп’ютерна система.

*Проведено исследование зависимости отношения сигнал/помеха на выходе демодулятора от такого отношения на его входе при цифровой обработке широкополосных сигналов с управляемой энтропией в распределенных компьютерных и телекоммуникационных системах. Получены количественные показатели помехоустойчивости для сигналов с базой 17 дБ.*

**Ключевые слова:** широкополосный сигнал, управляемая энтропия, компьютерная система.

*Noise proof feature index of the variable entropy spread spectrum signals digital demodulation in form of dependences of the signal/noise ratio at the demodulators input and output has been obtained. Noise proof feature index has been obtained for 17 dB base signals.*

**Key words:** spread spectrum signal, variable entropy, computer system.

**Вступ.** Одним з найгостріших питань надійного функціонування розподілених телекомунікаційних і комп’ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення є стабільність та якість обміну даними. Як правило, завадозахищеність передачі даних у сучасних умовах забезпечується використанням широкосмугових сигналів [1; 2]. Традиційні методи формування широкосмугових сигналів мають низку недоліків, зокрема,

нерівномірність розподілу енергії сигналів за частотами [3], суттєва апаратна та алгоритмічна складність та інші, що не дозволяє повною мірою використати їх переваги. Отже, розроблення нових методів формування та опрацювання ширококутових сигналів є актуальною науковою задачею.

**Постановка проблеми в цілому.** Необхідність у якісному та швидкому обміні даними у розподілених телекомунікаційних і комп'ютерних системах та мережах зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих прийнятно-передавальних каналоутворюючих пристроїв. Результативне вирішення цього завдання можливе за умови успішного розв'язання наукових проблем створення та розвитку нових ефективних методів передавання та приймання інформації в таких системах, зокрема, способів формування та опрацювання ширококутових сигналів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Започаткування розв'язання проблеми шляхом використання ширококутових сигналів зі змінною (керованою) ентропією міститься у [4; 5]. Запропонований метод формування та опрацювання ширококутових сигналів, що базується на використанні як носія ширококутового шумоподібного випадкового сигналу з близьким до нормального розподілом амплітуд і рівномірною спектральною щільністю енергії, значення ентропії якого поставлені у відповідність до символів інформаційного повідомлення, що передається. На цей час проведено дослідження впливу завад, що діють у каналі, на такі сигнали [6]. Оцінена рівномірність розподілу енергії таких сигналів за частотами [3].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Раніше невирішеною частиною загальної проблеми є отримання кількісних показників завадостійкості методу, саме цьому і присвячена ця робота.

**Формулювання цілей даної роботи.** Отже, об'єктом дослідження є завадостійкість методу у вигляді залежності відношення сигнал/завада на виході демодулятора від такого відношення на його вході, а отримання кількісних показників і їх порівняння з класичними підходами основною метою роботи.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Одним з основних показників завадостійкості обміну даними, що знайшов поширення, є залежність відношення сигнал/завада за потужністю  $S_{вих}/N_{вих}$  на виході демодулятора в точці ухвалення рішень (переддетекторній точці [1]) від такого відношення на вході пристрою оброблення  $S/N$  [2] (усі потужності вважаються такими, що виділяються на опорі величиною 1 Ом).

Дослідження цього показника проведено для випадку опрацювання повідомлення у вигляді послідовності інформаційних символів, що змінюються (не повторюються), і яке представлено сигналом у вигляді прямокутних імпульсів з однаковими середніми часовими інтервалами одного та іншого стану двійкового інформаційного символу. Процес формування сигналу обрано таким чином, що одному стану двійкового інформаційного символу повідомлення відповідає сформований сигнал у вигляді реалізації випадкового процесу з характеристиками наближеними до фільтрованого "білого" шуму, а саме, з нормальним ймовірнісним розподілом амплітудних значень, рівномірною спектральною щільністю енергії, та певним сталим рівнем ентропії розподілу амплітудних значень. Іншому стану двійкового символу повідомлення відповідає пасивна пауза з нульовою ентропією. Як відношення сигнал/завада  $S_{вих}/N_{вих}$  в точці прийняття рішень, для дискретних повідомлень, зручно використати величину (1), яка не представляє це відношення для одного  $s_1(t)$  чи іншого  $s_2(t)$  сигналів, що переносять двійкові стани інформаційного повідомлення, а показує характеристику різниці сигналів у цій точці [1]:

$$\frac{S_{вих}}{N_{вих}} = \frac{(a_1 - a_2)^2}{\sigma_0^2}, \quad (1)$$

де  $a_1$  – бажана сигнальна компонента для одного стану двійкового символу повідомлення на виході демодулятора;

$a_2$  – бажана сигнальна компонента для другого стану двійкового символу повідомлення на виході демодулятора;

$\sigma_0$  – середній квадратичний відхил (СКВ) завади на виході демодулятора.

Потужність сигналу в точці прийняття рішень є квадрат різниці бажаних сигнальних компонент, а потужність завади – квадрат її СКВ (вважається, що процес центрований). Для цього методу різницею значень сигнальних компонент є різниця значень ентропії  $H_1$  суміші сигналу  $s_1(t)$  з завадою  $n(t)$  каналу та значення ентропії  $H_2$  завади каналу ( $s_2(t)$  – пасивна пауза). Потужність завади на виході є СКВ оцінки ентропії і визначається випадковою складовою похибки статистичного оцінювання ентропії [7].

Це дослідження проведено для розміру вибірки 100 відліків (база сигналів 17 дБ, швидкість 480 біт/с), оскільки відомо [8], що саме такий розмір вибірки є оптимальним для даного способу. Дослідження проведено шляхом моделювання в обчислювальному експерименті в середовищі MATLAB 6.5.

На рисунку 1 представлена залежність СКВ оцінок ентропії від розміру вибірки в межах до 4000 відліків. Величини  $s_{01}$  та  $s_{02}$  є оцінками СКВ оцінок ентропії при опрацюванні відповідно сигналів  $s_1(t)$  та  $s_2(t)$ . На рисунку 2 така залежність більш детально подана в межах розмірів від 50 до 150. Величина  $s_0$  на рисунку 2 є максимумом з поміж  $s_{01}$  та  $s_{02}$  і характеризує ефективне значення завади на виході демодулятора. Оцінки ентропії  $\hat{H}_{r(t)}$  вхідного сигналу  $r(t)$  обчислені за таким виразом:

$$\hat{H}_{r(t)} = \log_2 \sqrt{2\pi e s^2_{r(t)}}, \quad (2)$$

де  $s_{r(t)}$  – оцінка СКВ сигналу на вході демодулятора.

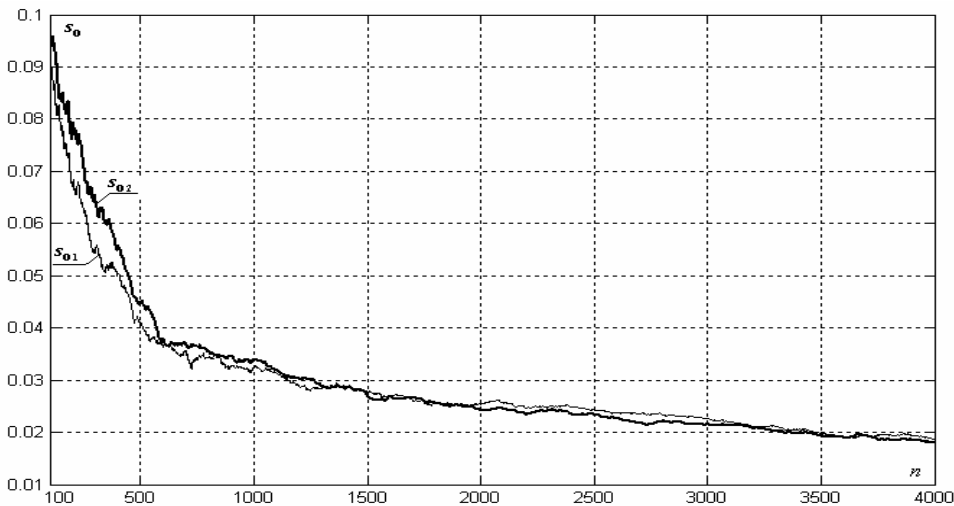


Рис. 1. Залежність  $s_{01}$  та  $s_{02}$  від розміру вибірки  $n$

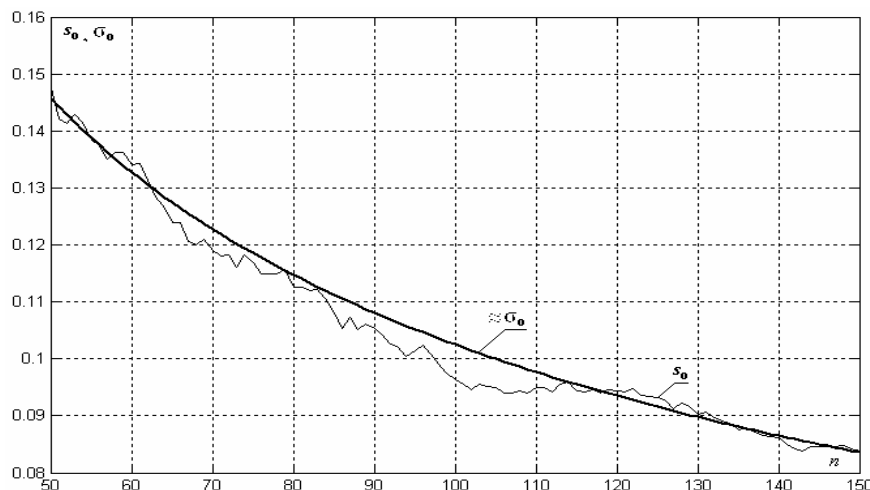


Рис. 2. СКВ завади на виході блоку оцінювання ентропії в межах розмірів 50-150 відліків

На рисунку 2 також показана залежність величини СКВ завади на виході демодулятора  $\sigma_0$  від розміру вибірки, обчисленої за таким виразом [8]:

$$\sigma_0 \approx \frac{1,02}{\sqrt{n-1}}. \quad (3)$$

Можна побачити, що результати моделювання практично збігаються з отриманими аналітично. СКВ завади в точці прийняття рішень у таких умовах (означена кількість відліків на символний інтервал) складає величину близько 0,1.

На основі проведених досліджень і отриманих даних побудовано графік завадостійкості в межах від  $-20$  до  $+20$  дБ вхідного відношення, який показано на рисунку 3. Для порівняння, також зображено криву завадостійкості оптимального когерентного опрацювання ортогональних сигналів (зокрема, це характерно для складового частотно-модульованого FSK-FHSS широкопугового сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти). Ця крива отримана виходячи з наступного. Відношення сигнал/завада (1) за оптимального оброблення складає величину  $2E_d/N_0$ , де  $E_d$  – енергія різницевого сигналу на вході пристрою оброблення, яка визначається за допомогою виразу [1]:

$$E_d = \int_0^T (s_1(t) - s_2(t))^2 dt. \quad (4)$$

Величина  $E_d$  для ортогональних сигналів складає величину  $2E_b$  [1]. У свою чергу, зв'язок між величинами  $E_b/N_0$  та  $S/N$  визначається згідно з виразом:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{W}{R}, \quad (5)$$

де  $S$  – середня потужність сигналу на вході демодулятора;

$N$  – середня потужність завади на вході демодулятора;

$W$  – ширина частотного спектра;

$R$  – швидкість обміну даними.

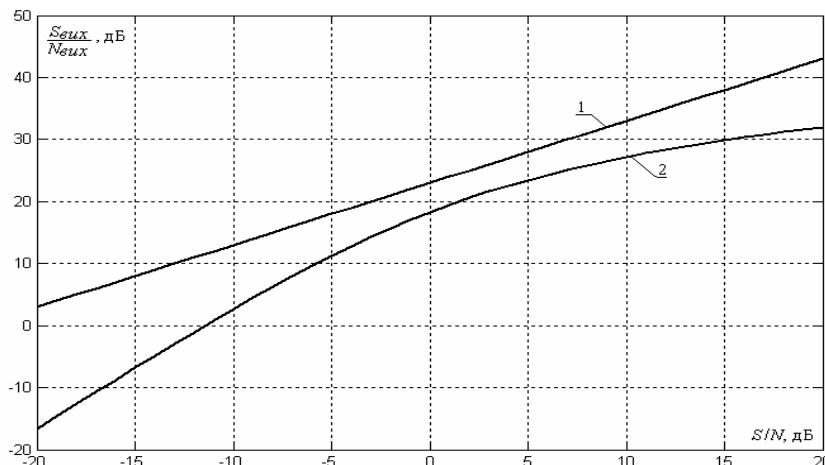


Рис. 3. Завадостійкість: 1 – оптимальне оброблення ортогональних сигналів, 2 – завадостійкість розробленого методу ( $W/R = 17$  дБ)

**Основні результати досліджень.** Як можна побачити з рисунка 3, завадостійкість цього методу за відношеннями сигнал/завада наближається до завадостійкості оптимального кореляційного оброблення ортогональних сигналів. Зокрема, в діапазоні відношення  $S/N$  від 0 до 5 дБ, з різницею від  $\approx 4,5$  до 5 дБ.

**Висновки.** Завадостійкість методу обміну даними широкосмуговими сигналами з керованою ентропією є нижчою від теоретичної завадостійкості оптимального кореляційного опрацювання ортогональних сигналів, проте реалізація апаратної частини приймально-передавального обладнання є значно простішою.

**Перспективи подальших досліджень.** Основними напрямками подальшого дослідження є вдосконалення процедури оцінювання ентропії, з метою мінімізації помилки, пошук типів сигналів, які забезпечують вищу ефективність демодуляції, розробка ефективних способів демодуляції, реалізація способів синхронізації тощо.

#### Список використаних джерел

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Бернард Скляр. – Изд. 2-е, испр. – М.: Вільямс, 2003. – 1004 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Козленко М. І. Дослідження ефективності використання частотного ресурсу при формуванні широкосмугових сигналів / М. І. Козленко // Наукові вісті. – 2010. – № 1(17). – С. 32-37.
4. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / С. І. Мельничук, М. І. Козленко (Україна). – заявка № а 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
5. Козленко М. І. Аналіз сучасного рівня розробки статистичних методів обміну даними на основі шумоподібних сигналів / М. І. Козленко, С. І. Мельничук // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – 2006. – № 2(10). – С. 33-38.
6. Мельничук С. І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю / С. І. Мельничук, М. І. Козленко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Частина 1. – Том 2. – С. 62-65.
7. Козленко М. І. Склад похибки статистичного оцінювання ентропії при демодуляції сигналів у комп'ютерних системах / М. І. Козленко // Тези доповідей Третьої Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія", м. Вінниця, 29-31 травня 2012 р. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 258-260.
8. Козленко М. І. Метод та засоби формування і оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією в розподілених комп'ютерних системах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / М. І. Козленко; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів, 2008. – 20 с.