

**Козленко М. І.**

## **ВПЛИВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОМІЖНИХ ЗНАЧЕНЬ СИГНАЛІВ ЗІ ЗМІННОЮ ЕНТРОПІЄЮ НА ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ ОБМІНУ ДАНИМИ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ**

В статті подано результати дослідження впливу відновлення проміжних відліків сигналів зі змінною ентропією на завадостійкість обміну даними.

*Ключові слова:* широкосмуговий сигнал, відновлення, проміжне значення, інтерполяція, ентропія, завадостійкість, система управління.

### **Вступ**

Одним з найважливіших питань надійного функціонування автоматизованих систем управління є стабільність обміну даними. Як правило, завадозахищеність передачі даних в 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 ін., що не дозволяє повною мірою використати їх переваги. Отже, розроблення нових методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів є актуальною науковою задачею.

### **Постановка проблеми в цілому**

Необхідність у якісному та швидкому обміні даними у автоматизованих системах управління зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих приймально-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, методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів.

### **Аналіз досліджень та публікацій**

Започаткування розв'язання проблеми шляхом використання широкосмугових сигналів зі змінною ентропією міститься у [4, 5]. Запропонований метод формування та опрацювання широкосмугових сигналів базується на використанні носія у вигляді шумоподібного випадкового сигналу з близьким до нормального розподілом амплітуд і рівномірною спектральною щільністю енергії, ентропія розподілу якого поставлена у відповідність до символів інформаційного повідомлення, що передається. На даний час проведено дослідження впливу завад, що діють у каналі, на такі сигнали [6]. Оцінена рівномірність розподілу енергії таких сигналів за частотами [3]. Отримані експериментально показники завадостійкості обміну даними за допомогою сигналів з керованою ентропією [7].

### **Виокремлення раніше невирішеної частини загальної проблеми**

Раніше невирішеною частиною загальної проблеми є покращення завадостійкості при залученні до статистичної вибірки проміжних відліків сигналу при демодуляції, саме цьому і присвячена дана робота.

### **Формулювання цілей даної роботи**

Отже, об'єктом дослідження є завадостійкість обміну даними сигналами зі змінною ентропією за умови залучення відновлених проміжних відліків сигналу до статистичної вибірки при демодуляції сигналів, а отримання кількісних показників і їх порівняння є основною метою цієї роботи.

## Викладення основного матеріалу досліджень

Однією з основних задач при реалізації автоматизованих систем управління є забезпечення високоякісного обміну даними між елементами таких систем. Широке використання бездротових технологій в сучасних умовах при побудові автоматизованих систем управління в різних галузях промисловості, що функціонують в умовах інтенсивних завод техногенного походження, визначає необхідність застосування широкосмугових сигналів. Традиційні алгоритми опрацювання широкосмугових сигналів ґрунтуються на використанні псевдовипадкових послідовностей, що зумовлює необхідність збереження еталонів форми таких послідовностей при формуванні сигналів та подальшому опрацюванні. Крім того, отримання псевдовипадкових послідовностей з прийнятними ймовірнісними та кореляційними характеристиками потребує проведення ґрунтовних наукових досліджень методів, а також апаратних та програмних засобів для їх генерування. Демодуляція таких сигналів здійснюється, як правило, за кореляційною методологією.

Перспективним є формування та опрацювання широкосмугових сигналів основане на використанні повністю випадкових шумоподібних сигналів, ентропія розподілу ймовірностей станів яких поставлена у відповідність до символів інформаційного повідомлення, що передається. В такому випадку демодуляція зводиться до статистичного оцінювання ентропії суміші сигналу і завади протягом символного інтервалу з подальшим ухваленням рішення про дискретне значення прийнятого символу. Це забезпечує високу якість, надійність та стабільність обміну даними і є простим з погляду апаратної та програмної складності реалізації [4, 5].

Оскільки із збільшенням розміру вибірок підвищується ефективність методу обміну даними сигналами зі змінною ентропією, то для покращення його характеристик, запропоновано збільшувати кількість відліків, на підставі яких відбувається формування сигналу  $z(T)$  на виході демодулятора. Одним зі шляхів такого покращення є отримання проміжних значень за допомогою підвищеної швидкості дискретизації сигналів. Іншим варіантом є обчислення проміжних значень за допомогою інтерполяційної формули теореми відліків [8]. Також, можливе застосування методів інтерполяції для обчислення проміжних значень сигналів.

Для визначення ефективності такого підходу здійснено дослідження впливу залучення значень проміжних відліків сигналу до вибірки, яка використовується для формування сигналу  $z(T)$ , на значення оцінки  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  обраного критерію завадостійкості. У якості критерію завадостійкості використовується частка різниці оцінок бажаних сигнальних компонент на виході демодулятора і подвоєної оцінки стандартного відхилення завади у цій точці [1]. Дослідження проведено шляхом обчислення оцінки означеного критерію для змодельованих випадкових сигналів, що поширювались у каналі з AWGN завадою за різних відношень сигнал/завада з подальшим порівнянням отриманих значень критерію для різних типів інтерполяції і для випадку коли інтерполяція не застосовується. При застосуванні інтерполяції розмір вибірки збільшувався у два рази. Після отримання інтерполяційні значення заокруглювались до найближчого цілого.

На рис. 1 подано залежності оцінки  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  критерію від розміру вибірки як без інтерполяції, так і для випадку збільшення кількості відліків (у 2 рази) за допомогою лінійної інтерполяції. Як можна побачити з рис. 1, в цьому випадку, покращення ефективності досягається при застосуванні ентропії,

обчисленої за формулою Шеннона, починаючи від досить малих значень розміру вибірки ( $n \approx 200$ ). В той же час, покращення ефективності за допомогою інтерполяції, в разі застосування ентропії вираженої через середній квадратичний (стандартний) відхил (СКВ) не виявлено.

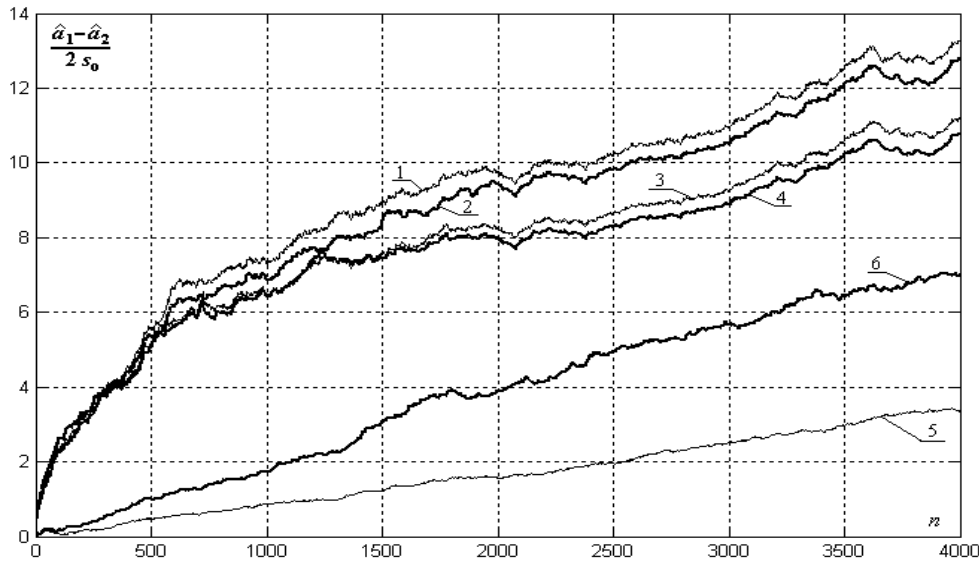


Рис. 1. Залежність співвідношення  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  від розміру вибірки: 1 – ентропія обчислена за СКВ без інтерполяції, 2 – ентропія обчислена за СКВ з інтерполяцією, 3 – СКВ без інтерполяції, 4 – СКВ з інтерполяцією, 5 – ентропія за Шенноном без інтерполяції, 6 – ентропія за Шенноном з 2-кратною інтерполяцією

Процедура знаходження проміжних значень для різних типів інтерполяцій представлена на рис. 2. Розглянуто лінійну інтерполяцію, інтерполяцію кубічними сплайнами, інтерполяцію поліномами Лагранжа 3-го степеня та процедуру відновлення за допомогою інтерполяційної формули теореми відліків для дискретизованих сигналів (1), (2).

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n \cdot T_s) \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - n \cdot T_s}{T_s}\right), \quad (1)$$

де  $n$  – часовий індекс,  
 $T_s$  – інтервал дискретизації за часом.

Функція  $\text{sinc}$ , в свою чергу, визначається згідно наступного виразу:

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}. \quad (2)$$

Слід зауважити, що на практиці реалізація останнього способу значно ускладнена, необхідністю задіяти в розрахунку кожного інтерполяційного

значення всі відомі відліки. Простішим рішенням є отримання проміжних значень за допомогою збільшення частоти дискретизації АЦП при опрацюванні.

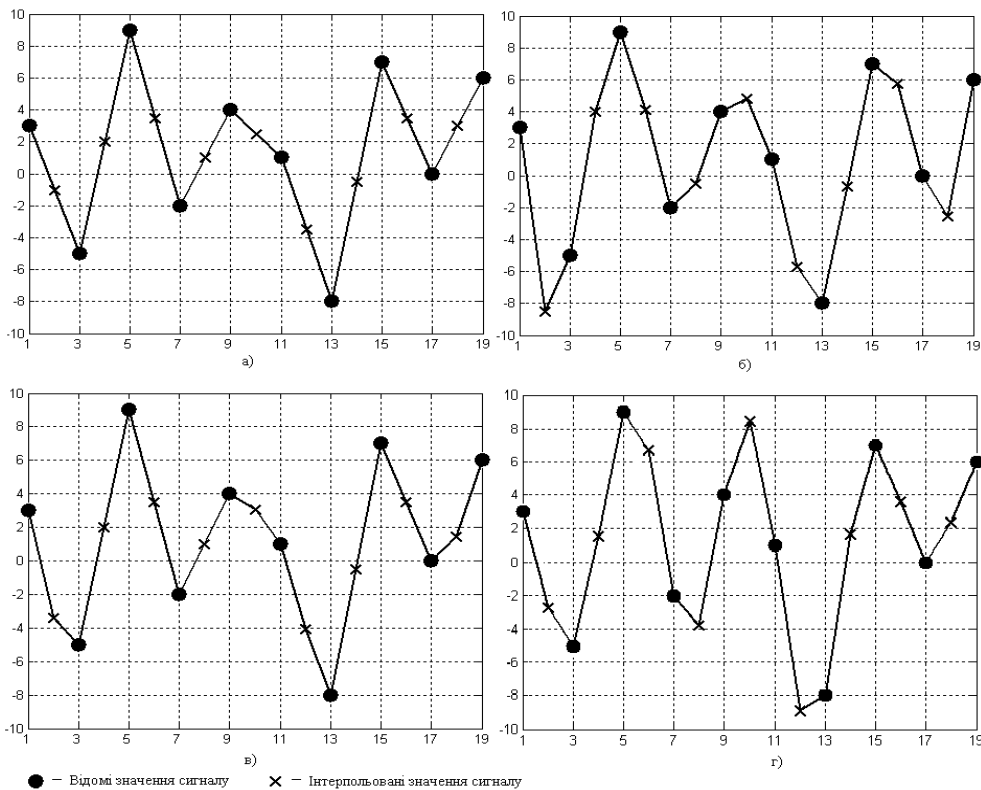


Рис. 2. Процедура визначення проміжних значень інтерполяцією: а) лінійною, б) кубічними сплайнами, в) кубічна, г) за формулою теореми відліків

Потужність  $S_1$  сигналу  $s_1(t)$  обрано на рівні 0, мінус 3, мінус 6, мінус 9, мінус 12, мінус 15 та мінус 18 дБ відносно потужності завади  $n(t)$ , величина якої складає  $N = -18$  дБВт, а потужність сигналу  $s_2(t)$  обрано на рівні  $S_2 = 0$  Вт. Таким чином, відношення сигнал/завада  $S/N$  складає мінус 3, мінус 6, мінус 9, мінус 12, мінус 15, мінус 18 та мінус 21 дБ при однаковій частоті появи сигналів  $s_1(t)$  та  $s_2(t)$ . Тривалість сигналів  $s_1(t)$  та  $s_2(t)$  обрана однаковою і такою, що складає 0,08(3) с (4000 відліків при обраній частоті дискретизації). Результати наведено в табл. 1. Програма для розрахунків реалізована в середовище MatLab.

Як можна побачити з табл. 1, застосування інтерполяції суттєво покращує (спостерігається збільшення значення оцінки критерію від 1,759 до 2,086 раза) якість обміну даними. Проте, істотної різниці у якості обміну даними у випадках застосування різних типів інтерполяції не встановлено.

Найкращу ефективність забезпечує інтерполяція за допомогою формули теореми відліків. За помірно низьких відношень сигнал/завада (до мінус 9 дБ) спостерігається незначна перевага лінійної інтерполяції у порівнянні з інтерполяцією кубічними сплайнами, при значно низьких відношеннях (від мінус 12 дБ і нижче) спостерігається незначна перевага інтерполяції кубічними сплайнами. Отже, на практиці, доцільно застосовувати такий тип інтерполяції,

який є найбільш простим з погляду апаратної та програмної реалізації, зокрема, лінійну інтерполяцію.

Таблиця 1

Оцінка сигнальної компоненти, оцінка СКВ завади та оцінка  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  критерію завадостійкості для різних типів інтерполяції.

Тип інтерполяції	Показник	S/N, дБ						
		-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21
Теорема відліків	$\hat{a}_1$	12,608	12,560	12,525	12,504	12,489	12,485	12,483
	$s_0$	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010
	$(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$	7,035	4,356	2,546	1,258	0,519	0,342	0,222
Лагранж (3 ст.)	$\hat{a}_1$	12,560	12,506	12,467	12,444	12,429	12,422	12,420
	$s_0$	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
	$(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$	6,750	4,237	2,403	1,211	0,610	0,269	0,164
Кубіч. сплайни	$\hat{a}_1$	12,586	12,535	12,496	12,476	12,463	12,455	12,452
	$s_0$	0,011	0,010	0,010	0,011	0,012	0,010	0,010
	$(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$	6,4803	4,187	2,313	1,277	0,618	0,335	0,201
Лінійна	$\hat{a}_1$	12,552	12,497	12,456	12,431	12,418	12,412	12,407
	$s_0$	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
	$(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$	6,975	4,269	2,433	1,182	0,619	0,324	0,103
Без інтерпол.	$\hat{a}_1$	11,778	11,753	11,733	11,722	11,713	11,711	11,709
	$s_0$	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
	$(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$	3,372	2,189	1,247	0,715	0,254	0,174	0,109

З метою встановлення залежності ефективності лінійної інтерполяції від збільшення розміру вибірки проведено дослідження поведінки обраного критерію при збільшенні розміру у 2, 4, 8, 16 та 32 рази. Дослідження проведено для початкового розміру у 4000 відліків при відношенні сигнал/завада мінус 3 дБ. Результати наведено на рис. 3.

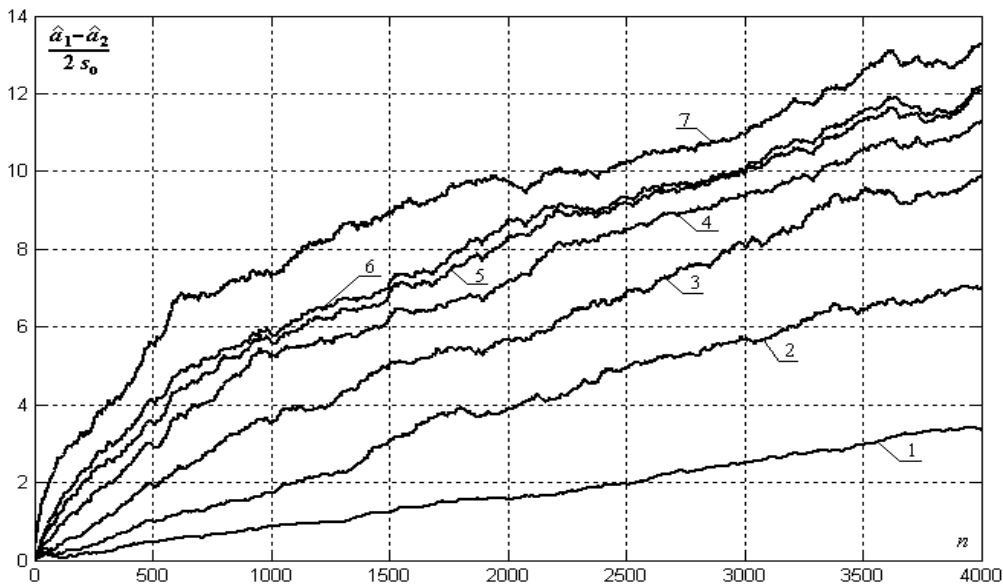


Рис. 3. Вплив інтерполяції на оцінювання ентропії за формулою Шеннона: 1 - без інтерполяції, 2 - збільшення вибірки у 2 рази, 3 – у 4 рази, 4 – у 8 разів, 5 – у 16 разів, 6 – у 32 рази, 7 – оцінка обчислена за дисперсією

Як можна побачити, збільшення розмірів вибірок більш ніж у 32 рази є недоцільним, оскільки подальше збільшення вже не приводить до суттєвого збільшення значення критерію.

#### Висновки

Завадостійкість методу обміну даними сигналами зі змінною ентропією є нижчою від теоретичної завадостійкості оптимального кореляційного оброблення, проте реалізація апаратної частини прийнятно-передавального обладнання є значно простішою, а застосування відновлення проміжних відліків сигналів при демодуляції сигналів дозволяє суттєво покращити завадостійкість. Встановлено, що збільшення вибірки за допомогою інтерполяції суттєво покращує завадостійкість (спостерігається збільшення значення критерію завадостійкості майже у 2 рази) у випадку застосування формули Шеннона для оцінювання ентропії і не приводить до покращення в разі застосування ентропії вираженої через дисперсію. Встановлено, що суттєвої різниці між способами реалізації інтерполяції немає. Встановлено, що збільшувати кількість відліків у вибірці доцільно не більше ніж у 32 рази.

#### Перспективи подальших досліджень

Основними напрямками подальшого дослідження є вдосконалення процедури оцінювання ентропії, з метою мінімізації помилки і збільшення швидкості, пошук типів сигналів, які забезпечують вищу ефективність демодуляції, розроблення ефективних способів демодуляції, реалізація способу ефективної бітової синхронізації тощо.

#### Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Бернанд. – Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вільямс", 2003. – 1004 с. : ил. – Парал. тит. англ.

2. Прокис Дж. Цифровая связь / Прокис Дж.: Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 598 с.
3. Козленко М. І. Дослідження ефективності використання частотного ресурсу при формуванні широкосмугових сигналів / Козленко М. І. // Наукові вісті. Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія". – 2010. – № 1(17). – Івано-Франківськ: Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія", 2010. – С. 32 – 37.
4. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / Мельничук С. І., Козленко М. І. (Україна). – заявка № а 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
5. Козленко М. І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу імовірностей станів / Козленко М. І., Мельничук С. І. // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – 2006. – № 1(9). – Івано-Франківськ: Інститут менеджменту та економіки "Галицька академія", 2006. – С. 28 – 31.
6. Мельничук С. І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю / Мельничук С. І., Козленко М. І. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Частина 1. – Том 2. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – С. 62 – 65.
7. Козленко М. І. Дослідження завадостійкості способу передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів зі змінною ентропією для дискретних повідомлень / Козленко М. І., Мельничук С. І. // Електроніка та зв'язок. – 2007. – № 2(37). – Київ, 2007. – С. 82 – 92. – ISSN 1811–4512.

**Kozlenko M. I. Noise proof feature index of the variable entropy spread spectrum signals data exchange with intermediate signal sample values regeneration in automation control systems.**

Noise proof feature index of the variable entropy spread spectrum signals data exchange with intermediate signal sample values regeneration has been researched. This procedure positive influencing processing efficiency while using Shannon formula for the entropy estimation has been proved. At the same time, efficiency depending on intermediate calculation ways has been proved to be of no serious importance.

*Keywords:* spread spectrum signal, regeneration, intermediate signal sample value, interpolation, entropy, noise proof feature, automation control system.

**Козленко Н. И. Влияние восстановления промежуточных значений сигналов с переменной энтропией на помехоустойчивость обмена данными в автоматизированных системах управления.**

В статье приводятся результаты исследования влияния восстановления промежуточных отсчетов сигналов с переменной энтропией на помехоустойчивость обмена данными.

*Ключевые слова:* широкополосный сигнал, восстановление, промежуточное значение, интерполяция, энтропия, помехоустойчивость, система управления.

Рецензент Кузь М. В., к.т.н., доцент, ПВНЗ "Галицька академія".

*Стаття подана*  
31.03.2011