

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Козленко Микола Іванович

УДК 621.325

**МЕТОД ТА ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ І ОБРОБЛЕННЯ  
ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ЗІ ЗМІННОЮ ЕНТРОПІЄЮ В  
РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Приватному вищому навчальному закладі "Галицька академія" (м. Івано-Франківськ).

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Мельничук Степан Іванович**,  
Приватний вищий навчальний заклад  
„Галицька академія” (м. Івано-Франківськ),  
завідувач кафедри програмного забезпечення  
та штучного інтелекту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Николайчук Ярослав Миколайович**,  
Тернопільський національний економічний  
університет,  
завідувач кафедри спеціалізованих  
комп'ютерних систем.

доктор технічних наук, доцент  
**Дунець Роман Богданович**,  
Національний університет "Львівська  
політехніка", завідувач кафедри  
спеціалізованих комп'ютерних систем.

Захист відбудеться 27 березня 2009 р. о 14<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.08 у Національному університеті "Львівська політехніка" МОН України (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "25" лютого 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, доктор технічних наук, професор

**Луцик Я. Т.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню в області створення нових високоефективних комунікаційних технологій в розподілених комп'ютерних системах та мережах загального і спеціального призначення.

**Актуальність теми** обґрунтована зростаючими вимогами до сучасних розподілених комп'ютерних систем та мереж в різних галузях промисловості. Останні досягнення комунікаційних технологій, поліпшення якості каналів обміну даними зумовило виникнення нового покоління бездротових комунікаційних засобів комп'ютерних систем і мереж, реалізованих на основі широкосмугових сигналів, що підтверджується значною кількістю публікацій на згадану тему.

Широке використання бездротових технологій при побудові розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового призначення, які функціонують в умовах інтенсивних промислових завод, визначає необхідність пошуку нових рішень на методичному, структурному та алгоритмічному рівнях при створенні цифрових засобів реалізації комунікацій.

Традиційно забезпечення високої достовірності обміну даними в комунікаційних каналах ґрунтується на методах формування та оброблення широкосмугових сигналів з великою базою, при цьому найширше застосування отримали засоби реалізовані на основі формування дискретних псевдовипадкових послідовностей та кореляційного оброблення сигналів. Проте згадані технології мають низку недоліків, які обмежують їх практичну реалізацію, пов'язану з необхідністю застосування складних апаратних та алгоритмічних методів формування псевдовипадкових послідовностей, необхідністю зберігання еталонів сигналів в пристроях оброблення, використанням складних алгоритмів кореляційного оброблення та переважним використанням неоптимальних методів оброблення синусоїдних сигналів-носіїв. При цьому, як правило, в якості маніпульованих ознак таких сигналів використовують амплітуду, частоту, фазу або комбінації цих ознак. Використання в якості маніпульованої ознаки ентропії сигналу-носія раніше не використовувалось.

Застосування альтернативних підходів до формування і оброблення широкосмугових сигналів в каналах обміну даними, зокрема представлення символів повідомлення значеннями ентропії випадкових сигналів при формуванні і статистичного оцінювання значень ентропії при обробленні, створює низку суттєвих переваг, а саме: більш ефективне використання смуги частот каналу, спрощення апаратного і програмного забезпечення, забезпечення належної заводостійкості за малих відношень сигнал/завада і надає можливість реалізації надійних, недорогих, малогабаритних комунікаційних засобів в розподілених комп'ютерних системах.

Розвиток сучасних технологій традиційно направлений на підвищення швидкості обміну даними. Проте при реалізації розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового призначення високі швидкісні параметри є менш важливими ніж забезпечення надійності, стабільності та живучості системи при високій достовірності обміну а також задоволенні вимог щодо відстані в умовах дії інтенсивних завод техногенного походження та низького відношення сигнал/завада.

Отже, тема розробки і дослідження нових підходів до питань реалізації комунікаційних технологій в комп'ютерних системах і мережах, спрямованих на підвищення заводостійкості обміну даними та спрощення апаратного і програмного забезпечення є актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Розроблений в роботі метод та засоби формування і оброблення сигналів, а також їх використання у каналах обміну даними розподілених комп'ютерних систем і мереж пов'язані з науково-дослідними роботами, що здійснювались Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу та Івано-Франківським Науково-дослідним і проектним інститутом ВАТ "Укрнафта":

ІФДТУНГ – НД "Комп'ютерні системи для діагностування технічних засобів і біологічних об'єктів та для управління технологічними процесами".

НДПІ ВАТ "Укрнафта" – НД і ДКР № 711466 "Розробка та обґрунтування сучасних технологічних схем збору та підготовки продукції на Бориславському родовищі з метою зниження рівня загазованості (01.07.2006 – 31.12.2009)".

Участь автора полягала в розробці методу обміну даними за допомогою ширококутових сигналів зі змінною ентропією, а також реалізації структурних рішень, принципів схем, алгоритмів та програмного забезпечення засобів формування та оброблення сигналів в промислових комп'ютерних системах.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою роботи є розробка методу формування та оброблення ширококутових випадкових сигналів, маніпульовані значення ентропії яких представляють символи інформаційного повідомлення для створення засобів реалізації комунікацій в розподілених комп'ютерних системах та мережах.*

Основні задачі дослідження:

- порівняльний аналіз сучасних методів та засобів реалізації комунікацій в промислових розподілених комп'ютерних системах і мережах;
- аналіз структур і характеристик засобів формування та оброблення ширококутових сигналів;
- розроблення методу формування та оброблення ширококутових сигналів на основі використання випадкових сигналів зі змінною ентропією;
- отримання характеристик завадостійкості розробленого методу;
- розроблення структурних, схемотехнічних, алгоритмічних та програмних рішень комунікаційних засобів на основі розробленого методу;
- розроблення структур і реалізація апаратного та програмного забезпечення розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів віддалених об'єктів промислового, корпоративного та побутового призначення.

*Об'єкт дослідження:* методи реалізації комунікацій в розподілених комп'ютерних системах та мережах.

*Предмет дослідження:* методи та засоби формування і оброблення ширококутових випадкових сигналів зі змінною ентропією.

*Методи дослідження:* основні наукові результати і висновки зроблено на основі теорії інформації, теорії сигналів і систем, теорії ймовірностей та математичної статистики, методів спектрального та статистичного аналізу, цифрового оброблення сигналів, моделювання в обчислювальному експерименті.

**Наукова новизна отриманих результатів.** – вперше запропоновано метод встановлення відповідності між двійковими символами вихідного повідомлення та реалізаціями випадкового сигналу керованої ентропії при формуванні ширококутових сигналів, що дозволило відмовитись від використання дискретних псевдовипадкових послідовностей для збільшення бази сигналів і спростити реалізацію засобів формування ширококутових сигналів;

– отримав подальший розвиток метод оброблення широкосмугових випадкових сигналів, за яким виділення повідомлення запропоновано здійснювати шляхом статистичного оцінювання значень ентропії відповідних фрагментів таких сигналів, що на відміну від кореляційних методів не потребує зберігання еталонів форми оброблюваних сигналів та спрощує засоби оброблення широкосмугових сигналів;

– вперше отримані характеристики розробленого методу, за якими встановлено збільшення швидкості оброблення сигналів у 8 разів, підвищення завадостійкості на 2дБ за однакової часової складності комунікаційних засобів комп'ютерних систем, а також рівномірніше використання смуги частот у порівнянні з традиційними кореляційними методами.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати стали основою для побудови високоефективних засобів формування та оброблення випадкових широкосмугових сигналів в розподілених комп'ютерних системах та мережах. Практичну цінність мають такі результати:

– створено структуру спецпроцесора формування та оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією;

– розроблені структурні та принципові схеми цифрових пристроїв формування та оброблення широкосмугових випадкових сигналів зі змінною ентропією на основі універсального однокристального мікрокомп'ютера;

– розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення для формування та оброблення сигналів зі змінною ентропією;

– розроблена розподілена комп'ютерна система контролю критичних параметрів віддалених об'єктів промислового, корпоративного та побутового призначення та реалізовані цифрові засоби реалізації комунікацій в ній.

**Впровадження результатів роботи.** Представлені в дисертаційній роботі дослідження і розробки проводились в рамках науково-дослідних робіт ІФНТУНГ та НДПІ ВАТ "Укрнафта". Результати дисертаційної роботи передано НДПІ ВАТ "Укрнафта" для створення каналів обміну даними розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів віддалених об'єктів, зокрема, передано принципові схеми та пакет програмного забезпечення цифрового оброблення випадкових широкосмугових сигналів зі змінною ентропією. Теоретичні, методологічні і технічні результати досліджень, що розроблені в дисертаційній роботі, використовуються при викладанні курсів "Комп'ютерні системи" та "Мережні інформаційні технології", які читаються згідно вимог освітньо-професійної програми напряму "Комп'ютерна інженерія" у Приватному вищому навчальному закладі "Галицька академія" (м. Івано-Франківськ).

**Особистий внесок здобувача.** Основний зміст роботи, усі її положення та результати, теоретичні та практичні розробки і висновки отримані здобувачем особисто. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – організація експериментальних досліджень, аналіз отриманих статистичних закономірностей завад у каналах обміну даними комп'ютерних систем та мереж; [2] – розробка методу формування та оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією; [4] – теоретичне обґрунтування взаємодії широкосмугових сигналів зі змінною ентропією з адитивною білою гаусовою завадою каналу; [5] – аналіз сучасного стану розробки методів формування та оброблення широкосмугових сигналів, їх класифікація та розроблення методу формування і оброблення сигналів зі

змінними ймовірнісними характеристиками; [6] – моделювання в обчислювальному експерименті, отримання, систематизація та аналіз результатів; [8] – розроблення методу формування та оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією; [9] – розроблення методу формування та оброблення сигналів зі змінними ймовірнісними характеристиками; [10] – концепція та основні ідеї системи бездротового контролю витрати енергоносіїв; [11] – організація експериментальних досліджень у комутованих каналах комп'ютерних систем, розроблення методики дослідження, аналіз отриманих результатів; [12] – розроблення методики досліджень, дослідження впливу форми періодичних сигналів на ентропію у дротових каналах обміну даними між комп'ютерами; [13] – розроблення методики досліджень, моделювання в обчислювальному експерименті, отримання, систематизація та аналіз результатів; [14] – основні результати: показники завадостійкості; [15] – розроблення структурних схем, експериментальні дослідження часової складності, отримання та аналіз результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати досліджень і положень дисертаційної роботи доповідались та отримали схвалення на: V науково-технічній конференції "Приладобудування 2006: стан і перспективи" (м. Київ, 2006); VIII Міжнародній конференції з математичного моделювання (МКММ' 2006) (м. Херсон, 2006); XIII Міжнародній конференції з автоматичного управління "Автоматика-2006" (м. Вінниця, 2006); VI науково-технічній конференції "Приладобудування 2007: стан і перспективи" (м. Київ, 2007); VII Міжнародній науково-технічній конференції "Приладобудування 2008: стан і перспективи" (м. Київ, 2008); проблемно-науковій міжгалузевій конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання" (м. Бучач, 2008 р.), а також на наукових конференціях та семінарах факультету електроніки та комп'ютерних технологій Приватного вищого навчального закладу "Галицька академія" (м. Івано-Франківськ, 2007 - 2008 рр.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 15 робіт, серед яких 7 статей, в т. ч. 5 статей у фахових наукових виданнях за переліком ВАК України (з них 2 статті одноосібні), 1 патент України на винахід, 1 зареєстрована і опублікована заявка на патент України на винахід, а також 6 публікацій тез доповідей у матеріалах конференцій, в т. ч. міжнародних.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та 13 додатків. Загальний обсяг роботи складає 192 сторінки, з яких 137 сторінок основного тексту, що містить 86 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел містить 154 найменування.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** розкрито стан наукової задачі та її значимість, обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок обраного напрямку досліджень з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та основні задачі досліджень, подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про впровадження результатів роботи, її апробацію, про публікації за темою роботи, про її структуру та обсяг.

**У першому розділі** проведено аналіз стану сучасного рівня розроблення і впровадження розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового

призначення і комунікаційних технологій в них. Досліджено характеристики методів та засобів реалізації комунікацій, в результаті чого підтверджено ефективність застосування широкосмугових сигналів в системах промислового призначення, які забезпечують стабільну роботу за низьких відношень потужностей сигнал/завада, високу завадозахищеність, ефективність в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів, електромагнітну сумісність з існуючими вузькосмуговими системами тощо. Проведено порівняльний аналіз методів та засобів формування і оброблення широкосмугових сигналів, який показав, що засоби, що базуються на традиційних методах мають значну складність апаратної та програмної реалізації.

Розглянуто найпоширеніші практичні реалізації бездротових комунікаційних технологій реалізованих на основі широкосмугових сигналів, які не потребують ліцензування використання радіочастот або послуг сторонніх організацій, з погляду відстані  $L$  та швидкості обміну даними  $R$  (рис. 1).

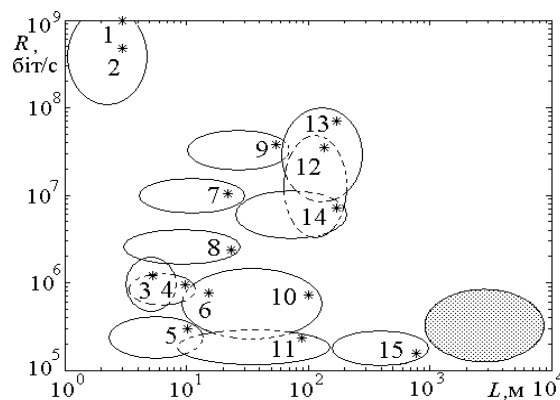


Рис. 1. Характеристики бездротових комунікаційних технологій в комп'ютерних системах та мережах: 1 – UWB (DS), 2 – UWB (MB OFDM), 3 – ISMLink, 4 – Wibree, 5 – NFC, 6 – Bluetooth 1 (802.15.1), 7 – HomeRF 2.0, 8 – HomeRF 1.0, 9 – WPAN (802.15.3), 10 – Bluetooth 2, 11 – ZigBee (802.15.4), 12 – Wi-Fi (802.11a), 13 – Wi-Fi (802.11g), 14 – Wi-Fi (802.11b), 15 – радіомодем типу РМД – 400

Отже, існуючі, добре розроблені та поширені технології забезпечують обмін даними на відстані від 3 до 1000 м зі швидкостями порядку від  $10^5$  до  $10^9$  біт/с. Проте, для побудови низових рівнів розподілених комп'ютерних систем і мереж промислового призначення важливим є збільшення відстані, живучість в умовах дії інтенсивних завад техногенного походження, що можливе при стабільній працездатності за низьких відношень сигнал/завада. В той же час, вимоги щодо швидкості обміну даними, як правило, можуть бути знижені до величини від  $10^2$  до  $10^3$  біт/с. Отже, є необхідність в розробці комунікаційних технологій для задоволення таких вимог при одночасному суттєвому зменшенні складності апаратної та програмної реалізації засобів обміну даними. Окреслені перспективні напрямки розвитку методів формування та оброблення сигналів на основі ентропійного підходу, здійснено постановку задач досліджень.

**В другому розділі** роботи проведено дослідження та здійснено розроблення нового методу формування широкосмугових сигналів, в яких значення ентропії сформованого випадкового сигналу змінюється в залежності від символів вихідного повідомлення. Це дає можливість використовувати ентропію для ідентифікації символів повідомлення і не вимагає використання складних алгоритмів генерування псевдовипадкових послідовностей для розширення спектру сигналів. Оброблення

таких широкосмугових сигналів ґрунтується на статистичному оцінюванні значень ентропії відповідних фрагментів сигналу (символьних інтервалів) з подальшим прийняттям рішення про дискретне значення символу повідомлення, що на відміну від кореляційних методів не потребує зберігання еталонів форми оброблюваних сигналів (рис. 2). В розробленому методі використовується ентропія сигналу-носія, а не інформаційна ентропія самого повідомлення.

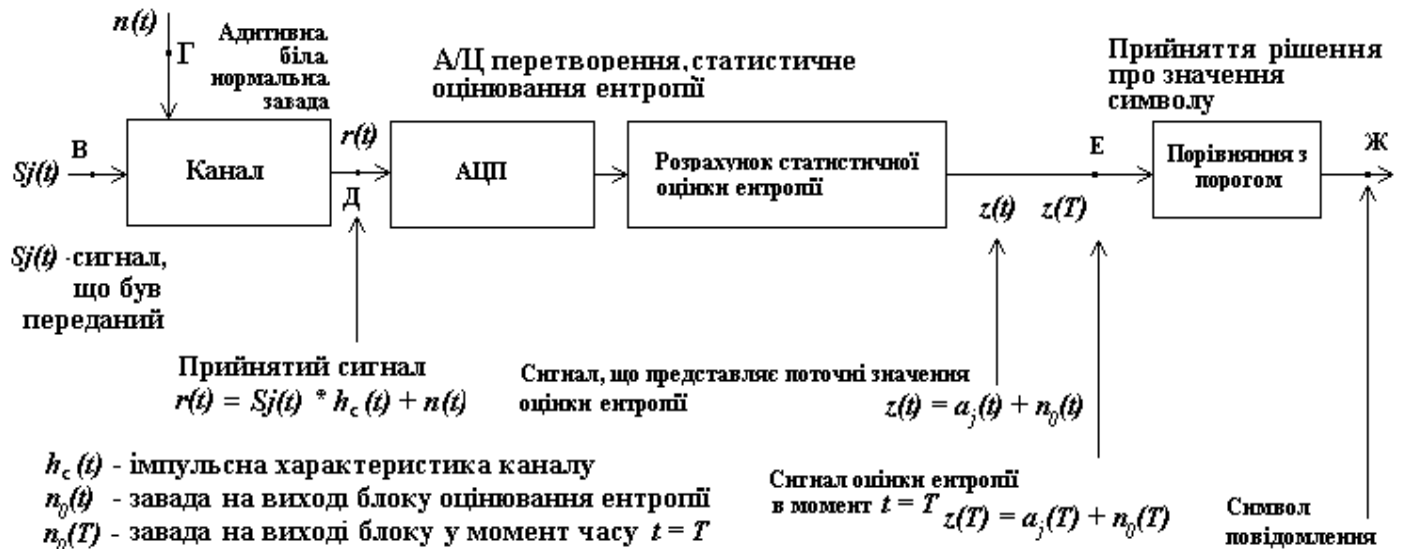


Рис. 2. Схема оброблення сигналу на основі ентропійного методу.

Проведено порівняльний аналіз коефіцієнту ефективності використання смуги частот широкосмугових сигналів, що формуються на основі традиційних та розробленого методів  $K_{\text{эф.вик}} = E_x / E_{\text{max}}$ , де  $E_{\text{max}}$  - максимально можлива енергія сигналу, в разі рівномірної спектральної щільності,  $E_x$  - енергія досліджуваного сигналу  $x(t)$  (рис. 3, 4).

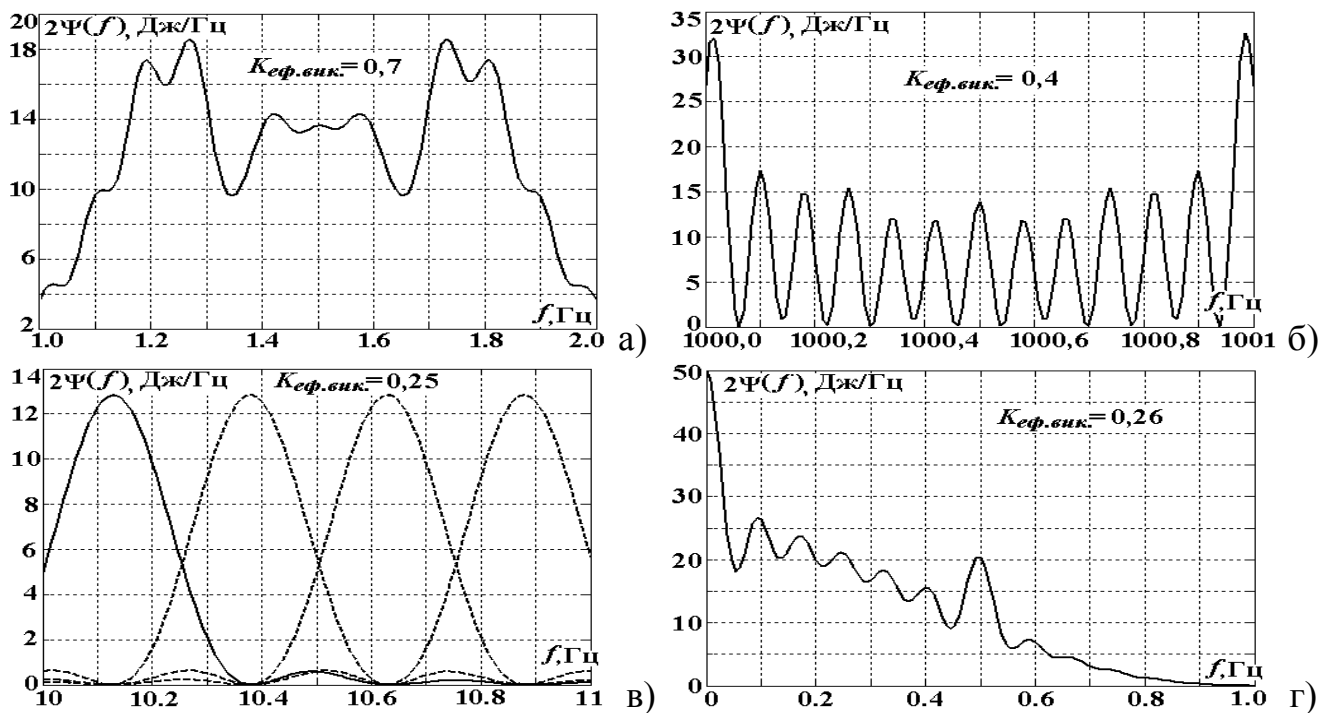


Рис. 3. Спектральна щільність енергії широкосмугових сигналів а) частотно модульованих, б) багаточастотних, в) сигналів із стрибкоподібною зміною частоти (FHSS), г) фазоманіпульованих сигналів (DSSS) 13-бітовим кодом Баркера



Встановлено, що коефіцієнт ефективності використання смуги частот розробленого методу (значення 0,81) перевищує значення для традиційних методів формування широкосмугових сигналів (найкраще значення 0,7).

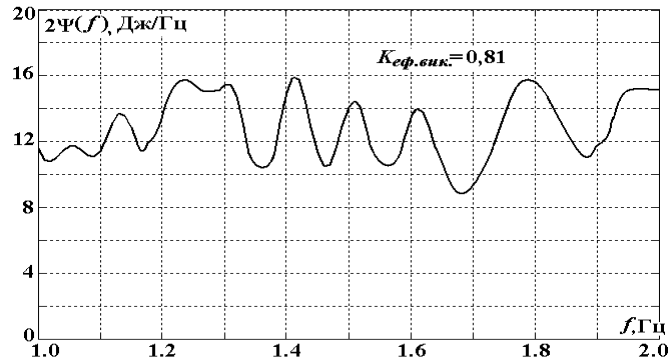


Рис. 4. Спектральна щільність сигналів, отриманих згідно розробленого методу

Проведено порівняння завадостійкості при застосуванні у якості маніпульованих ознак ймовірнісних характеристик, таких як дисперсія, середній квадратичний відхил (СКВ), центральні моменти 3, 4, 5, 6 та 7-го порядків, а також ентропія розподілу (рис.5) в умовах, коли сигнал  $s_1(t)$ , що представляє перший стан двійкового символу є реалізацією випадкового процесу з розподілом ймовірностей амплітуд близьким до нормального, рівномірною спектральною щільністю і відповідним сталим рівнем ентропії, а сигнал  $s_2(t)$ , що представляє другий стан символу, є пасивною паузою з нульовою ентропією. При застосуванні у якості маніпульованої ознаки ентропії проводилась дискретизація неперервних сигналів каналу  $r(t)$  за допомогою 16-ти розрядного АЦП і оцінювання за формулами Шеннона і Хартлі, а також цифрове оцінювання диференційної ентропії за дисперсією для неперервних сигналів з нормальним розподілом.

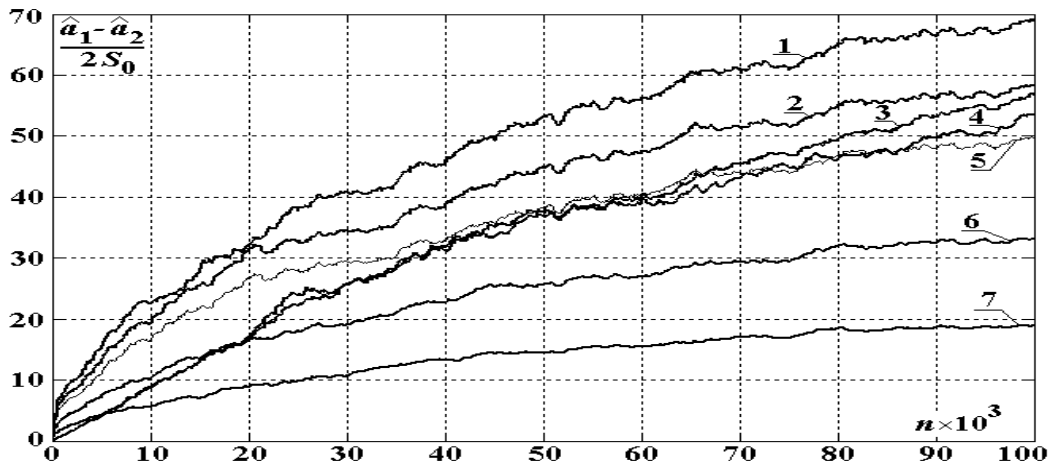


Рис. 5. Залежність співвідношення  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  від розміру вибірки  $n$  в межах до 100000 відліків ( $S/N = -3$ дБ): 1 – ентропія обчислена за дисперсією, 2 – СКВ, 3 – ентропія за Шенноном, 4 – ентропія за Хартлі, 5 – дисперсія, 6 – центральний момент 4-го порядку, 7 – центральний момент 6-го порядку

За основний критерій завадостійкості обрано  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  (рис. 5), де  $\hat{a}_1$  – оцінка значення однієї сигнальної компоненти (математичного сподівання значення в точці прийняття рішень, для даного методу – на виході блоку оцінювання ентропії вхідного сигналу (точка Е на рис. 2), при опрацюванні сигналу  $s_1(t)$ ),  $\hat{a}_2$  – оцінка значення другої сигнальної компоненти,  $s_0$  – оцінка СКВ завади в точці прийняття рішень (рис. 6).

Вибір такого критерію є обґрунтованим, оскільки це відношення є визначальним для ймовірності спотворення двійкового символу. Оцінки отримані шляхом статистичного аналізу результатів моделювання в обчислювальному експерименті.

За розміру вибірки 100000 відліків значення критерію у випадку застосування ентропії обчисленої за дисперсією складає 68,91, для ентропії обчисленої за формулою Шеннона 56,76, за формулою Хартлі 53,58, в той час коли при застосуванні дисперсії значення складає 49,73, а для центрального моменту 6-го порядку лише 18,99.

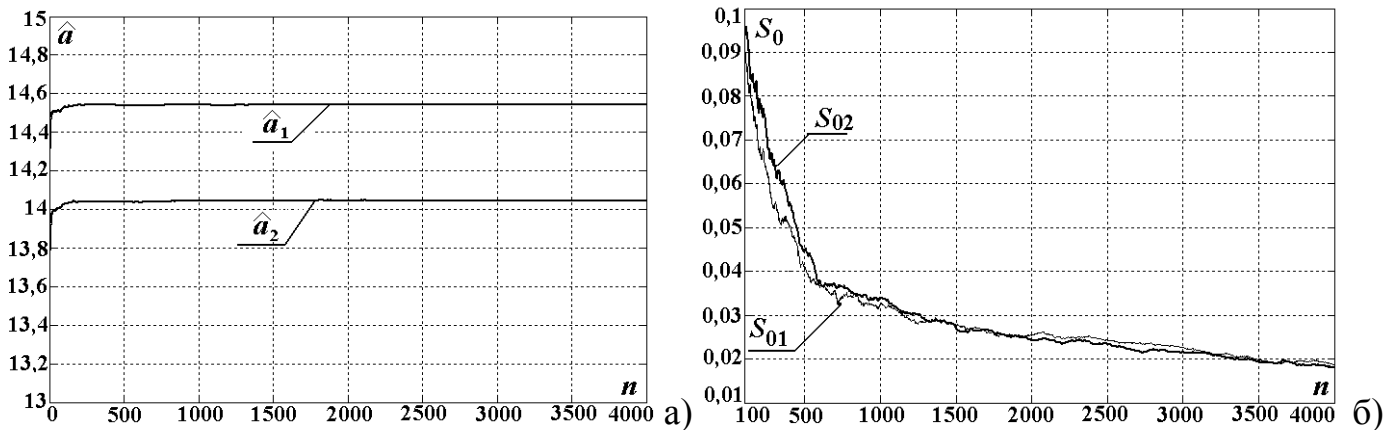


Рис. 6. Залежності а) оцінок  $\hat{a}_1, \hat{a}_2$  сигнальних компонент б) оцінок  $s_0$  СКВ завади в точці прийняття рішень від розміру вибірки в межах розмірів  $n$  до 4000 ( $S/N = -3$ дБ)

Отже, встановлено, що найефективнішою характеристикою серед розглянутих, з погляду завадостійкості, є ентропія. При цьому, оцінювання найкраще проводити через дисперсію  $\sigma^2_{r(t)}$  вхідного сигналу  $r(t)$  (для випадку нормального закону розподілу оброблюваних сигналів), яка пов'язана з диференційною ентропією:

$$H_{dn r(t)} = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma^2_{r(t)}}. \quad (1)$$

Оскільки сигнал в точці прийняття рішень є статистичною оцінкою ентропії вхідного сигналу, то СКВ в цій точці (рис. 6б) характеризує точність оцінювання ентропії. Як можна побачити, СКВ оцінок ентропії не перевищує величину 0,1 при оцінюваних значеннях в межах від 14 до 15 і розмірі вибірки у 100 відліків. Із збільшенням розміру вибірки СКВ зменшується, тобто точність оцінювання ентропії зростає. Похибка оцінювання ентропії має дві складові. Перша з них, систематична, в разі її наявності, обумовлена властивістю зсунутості оцінки. Друга – випадкова, обумовлена випадковим характером сигналів і відповідно вибірок з нього, залежить від ефективності оцінки і зменшується із збільшенням розміру вибірки.

Для розробленого методу, збільшення потужності завади, яка діє в каналі, приводить до зменшення відстані між значеннями ентропії суміші сигналів та завади при опрацюванні одного і другого стану двійкового символу, що амплітуди сигналів в точці прийняття рішень. Потужність стаціонарної завади, що діє у каналі, безпосередньо не впливає на потужність завади в точці прийняття рішень. Таким чином, якість обміну даними залежить від відношення сигнал/завада на вході пристрою оброблення і покращується з його збільшенням.

Проведено дослідження ефективності застосування відновлення проміжних значень сигналів інтерполяційними методами для збільшення розміру вибірки, а, отже, і для покращення показників завадостійкості, для різних ймовірнісних характеристик. Встановлено, що суттєве покращення завадостійкості спостерігається у випадку

оцінювання ентропії за формулами Шеннона і Хартлі, починаючи від значень розміру вибірки  $n \approx 200$  (рис. 7). За розміру вибірки 4000 відліків, при застосуванні формули Шеннона та двократної лінійної інтерполяції спостерігається збільшення значення критерію від 3,37 до 6,98, тобто у 2,07 рази. Проте, при оцінюванні ентропії за дисперсією, а також у випадку застосування інших ймовірнісних характеристик, покращення завадостійкості не спостерігається.

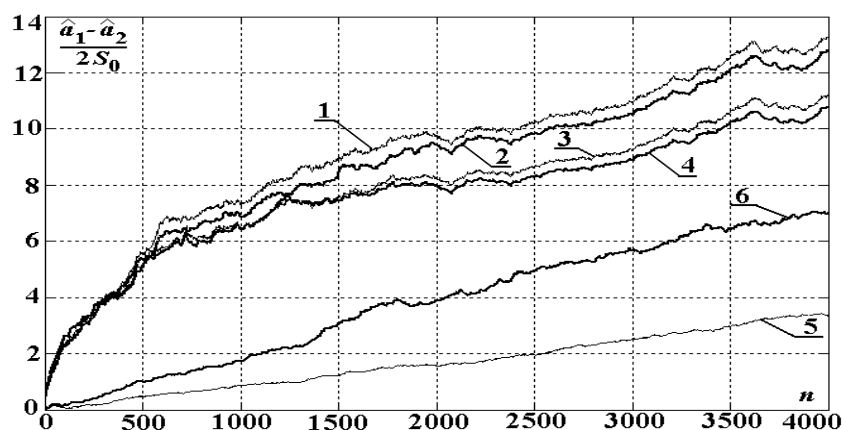


Рис. 7. Залежність співвідношення  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  від розміру вибірки ( $S/N = -3$  дБ): 1 – ентропія обчислена за дисперсією без інтерполяції, 2 – ентропія обчислена за дисперсією з 2-кратною інтерполяцією, 3 – СКВ без інтерполяції, 4 – СКВ з 2-кратною інтерполяцією, 5 – ентропія за Шенноном без інтерполяції, 6 – ентропія за Шенноном з 2-кратною інтерполяцією

Досліджено способи відновлення проміжних значень сигналу, зокрема, відновлення за інтерполяційною формулою теореми відліків в часовій області (теореми Уїттекера, Найквіста, Котельнікова, Шеннона) для дискретизованих сигналів, а також лінійну інтерполяцію, інтерполяцію кубічними сплайнами та поліномами Лагранжа. Встановлено, що суттєвої різниці, з погляду покращення завадостійкості, між цими методами немає, однак, найефективнішою є інтерполяція за формулою теореми відліків. Наприклад, за відношення сигнал/завада на рівні мінус 3 дБ і розмірі вибірки  $n = 4000$ , значення критерію без застосування інтерполяції складає 3,37, при застосуванні лінійної інтерполяції 6,98, при інтерполяції кубічними сплайнами 6,48, при інтерполяції поліномами Лагранжа 6,75 і при застосуванні формули теореми відліків 7,04. За відношень сигнал/завада до мінус 9 дБ спостерігається незначна перевага лінійної інтерполяції у порівнянні з інтерполяцією кубічними сплайнами, при відношеннях від мінус 12 дБ і нижче спостерігається незначна перевага інтерполяції кубічними сплайнами. Отже, на практиці доцільно застосовувати лінійну інтерполяцію як найбільш просту з погляду реалізації.

З метою встановлення залежності ефективності застосування лінійної інтерполяції для збільшення розміру вибірки (в 2, 4, 8, 16 та 32 рази) проведено дослідження за критерієм завадостійкості при оцінюванні ентропії за формулою Шеннона. Встановлено, що збільшення розміру вибірки більш ніж у 32 рази є недоцільним, оскільки не приводить до суттєвого збільшення значення критерію.

**В третьому розділі** проведено дослідження ефективності застосування різних часових форм сигналів (рис. 8). Встановлено, що найефективнішими є випадкові сигнали з рівномірною спектральною щільністю та нормальним ймовірнісним розподілом амплітуд.

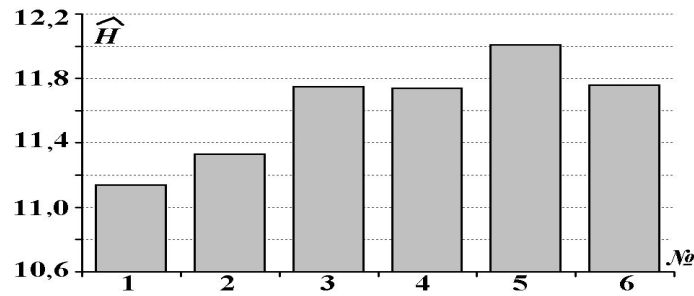


Рис. 8. Ефективність застосування різних часових форм сигналів: № - порядковий номер часової форми сигналів: 1 – синусоїдна, 2 – модуль синуса, 3 – трикутна, 4 – пилковидна, 5 – випадкова з нормальним розподілом, 6 – випадкова з рівномірним розподілом;  $\hat{H}$  – оцінка ентропії.

Мірою завадостійкості обміну дискретними повідомленнями є залежність ймовірності спотворення двійкового символу від відношення енергії сигналу та спектральної щільності потужності завади, а також залежність відношення потужностей сигнал/завада в точці прийняття рішень від такого відношення на вході пристрою оброблення. У випадку використання двійкового базису повідомлень перша з цих залежностей це залежність ймовірності спотворення двійкового символу  $P_b$  від відношення  $E_b/N_0 = (S/N) \cdot B$ , де  $E_b$  – середня енергія, що припадає на один оброблюваний двійковий символ,  $N_0$  – спектральна щільність потужності завади,  $S$  – середня потужність корисного сигналу,  $N$  – середня потужність завади (усі величини на вході пристрою оброблення),  $B = W/R = W \cdot T$  – база сигналу.

Отримано аналітичний вираз (2) для залежності ймовірності спотворення двійкового символу від відношення сигнал/завада для розробленого методу.

$$P_b = Q \left( \frac{\log_2 \left( 1 + 2 \frac{S}{N} \right)}{4 \sigma_0} \right), \quad (2)$$

де  $\sigma_0$  – СКВ завади на виході блоку оцінювання ентропії, визначається за (3),  $Q(x)$  – гаусів інтеграл помилок.

$$\sigma_0 = \sqrt{\text{var} \{ \hat{H}_{dn r(t)} \}}, \quad (3)$$

де  $\hat{H}_{dn r(t)}$  – оцінка диференційної ентропії сигналу  $r(t)$ ,

$\text{var} \{ \hat{H}_{dn r(t)} \}$  – дисперсія на виході блоку оцінювання ентропії (в точці прийняття рішень), визначається за отриманим виразом (4):

$$\text{var} \{ \hat{H}_{dn r(t)} \} = \int_0^{\infty} \left( \log_2 \sqrt{2 \pi e s^2_{r(t)}} \right)^2 \cdot f(s^2_{r(t)}) ds^2_{r(t)} - \left( E \{ \hat{H}_{dn r(t)} \} \right)^2, \quad (4)$$

де  $s^2_{r(t)}$  – оцінка дисперсії сигналу  $r(t)$ ,

$E \{ \hat{H}_{dn r(t)} \}$  – математичне сподівання оцінки  $\hat{H}_{dn r(t)}$ , визначається за (5),

$f(s^2_{r(t)})$  – щільність ймовірностей оцінки  $s^2_{r(t)}$ , визначається за (6).

$$E \{ \hat{H}_{dn r(t)} \} = \int_0^{\infty} \log_2 \sqrt{2 \pi e s^2_{r(t)}} \cdot f(s^2_{r(t)}) ds^2_{r(t)}, \quad (5)$$

$$f(s^2_{r(t)}) = \frac{1}{\frac{2\sigma^4_{r(t)}}{n-1} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(s^2_{r(t)} - \sigma^2_{r(t)})^2}{2 \cdot \left(\frac{2\sigma^4_{r(t)}}{n-1}\right)^2}\right). \quad (6)$$

Також в роботі отримано спрощений наближений вираз для  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 \approx \frac{1,02}{\sqrt{n-1}}. \quad (7)$$

На підставі (7) отримані спрощені наближені залежності для ймовірності спотворення двійкового символу:

$$P_b \approx Q\left(0,245 \cdot \log_2\left(1 + 2\frac{S}{N}\right) \cdot \sqrt{n-1}\right), \quad (8)$$

$$P_b \approx Q\left(0,245 \cdot \log_2\left(1 + \frac{4E_b}{N_0 n}\right) \cdot \sqrt{n-1}\right). \quad (9)$$

Проведено імітаційне моделювання в обчислювальному експерименті з випадковими сигналами, яке підтвердило отримані аналітичні результати.

Кількість відліків сигналу, що припадає на один символний інтервал, визначається тривалістю символного інтервалу  $T$  (швидкістю передавання даних  $R$ ) і частотою дискретизації. Отже, при заданій ширині частотного спектру  $W$ , кількість відліків прямо пов'язана з базою сигналу. Встановлено, що для розробленого методу значення бази сигналів істотно впливає на ймовірність спотворення двійкового символу при заданому відношенні  $E_b/N_0$ , що пояснюється залежністю потужності завади на виході блоку оцінювання ентропії від значення бази (точність оцінювання ентропії залежить від кількості відліків у вибірці). Для встановлення оптимального розміру вибірки оптимізовані залежності (8), (9) для різних відношень сигнал/завада. Також, проведене імітаційне моделювання, в результаті якого побудовано залежність оцінки обраного критерію завадостійкості  $\hat{K} = (\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  від відношення  $S/N$  та розміру вибірки  $n$  (рис. 9).

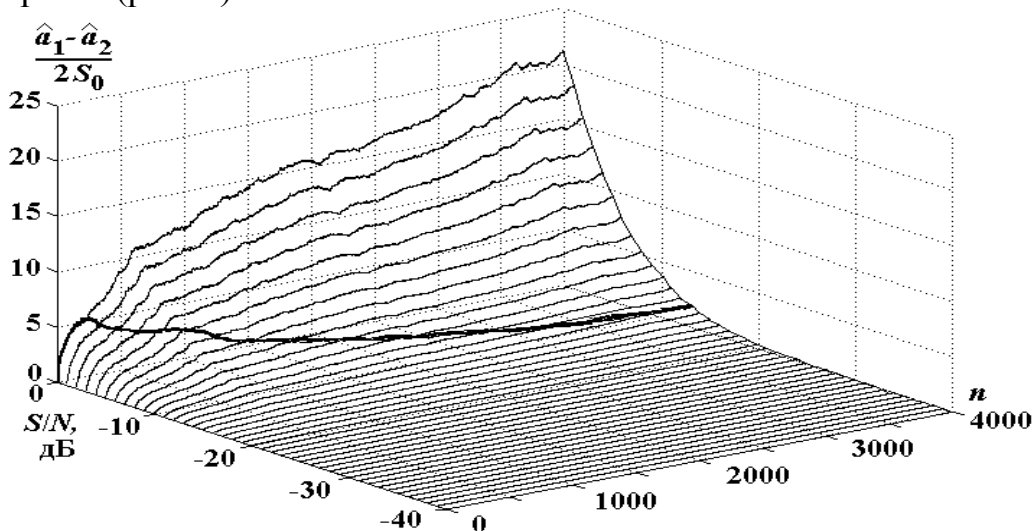


Рис. 9. Залежність критерію  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  від  $n$  та  $S/N$

На поверхні виділено криву, яка відповідає постійному  $E_b/N_0$  (в даному випадку, з практичних міркувань, обрано величину 20 дБ). Можна побачити, що у таких умовах

оптимальне значення критерію, а отже й мінімальна ймовірність спотворення двійкового символу, досягається за розмірів вибірки близько 100 відліків, що при обраній частоті дискретизації (48 кГц) відповідає базі сигналу 17 дБ, тривалості символного інтервалу 2,08(3) мс та швидкості обміну даними 480 біт/с. Залежність  $P_b$  від  $E_b/N_0$  в графічному вигляді подано на рис. 10а, крива 2. Проведено порівняння отриманих результатів з завадостійкістю оптимального кореляційного оброблення ортогональних сигналів (рис. 10а, крива 1). Отримано залежність відношення сигнал/завада в точці прийняття рішень від такого відношення на вході пристрою оброблення (рис. 10б).

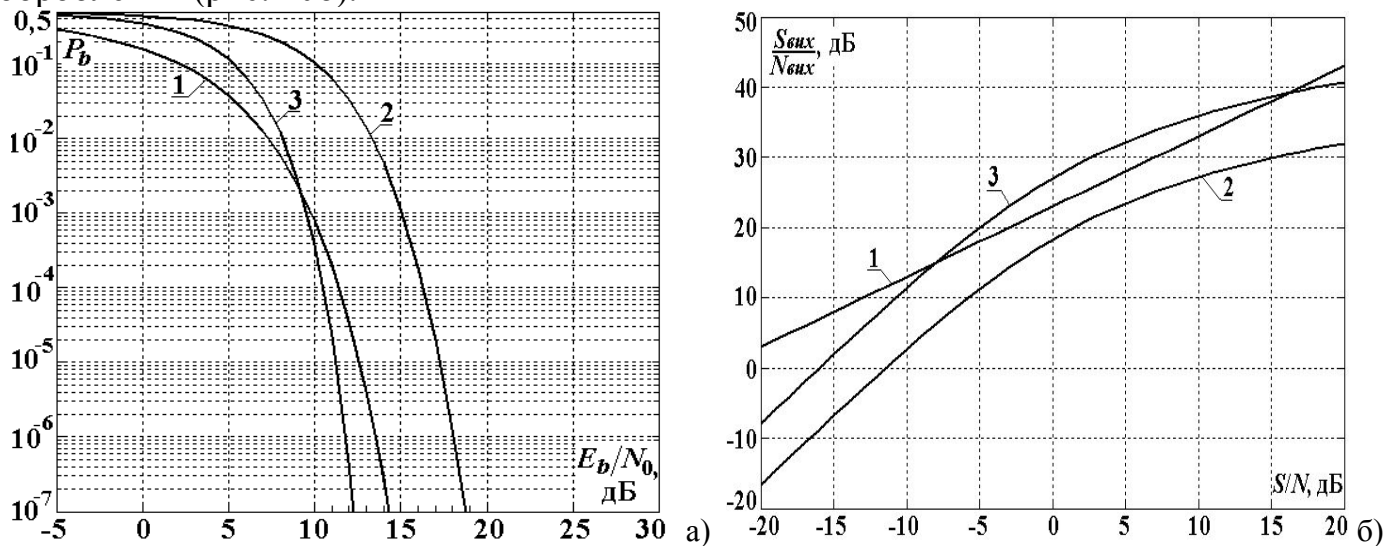


Рис. 10. а) Залежність ймовірності спотворення двійкового символу  $P_b$  від відношення  $E_b/N_0$ , б) Залежність відношення  $S_{вix}/N_{вix}$  від  $S/N$ : 1 – оптимальне кореляційне оброблення ортогональних сигналів з базою  $B = 17$  дБ, 2 – розроблений метод для однакої  $B = 17$  дБ, 3 – розроблений метод в умовах однакої часової складності

Отже, завадостійкість розробленого не кореляційного методу наближається до оптимальних кореляційних з різницею, яка не перевищує 4,5 дБ при обробленні сигналів однакої бази (рис. 10а). Також, розроблений метод дозволяє суттєво зменшити апаратні затрати та часову складність його реалізації. Це надає можливість опрацьовувати сигнали з більшою базою в умовах однакої складності і тим самим суттєво збільшує завадостійкість.

**В четвертому розділі** на основі запропонованого методу розроблено структуру спецпроцесора формування та оброблення широкопasmових сигналів (рис. 11).

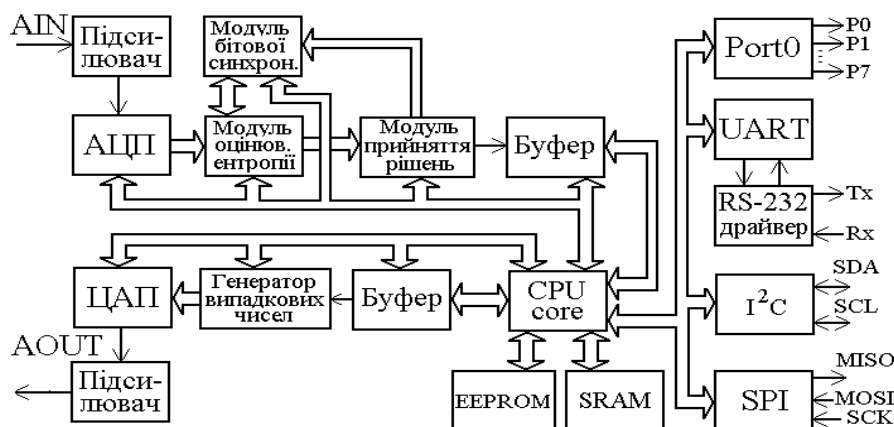


Рис. 11. Структура спецпроцесора формування та оброблення сигналів

Показано, що засоби формування та оброблення сигналів за розробленим методом можуть бути реалізовані як у вигляді спецпроцесора на основі мікросхеми, що виготовляється на замовлення, так і на базі універсальних однокристальних мікрокомп'ютерів. За розробленим методом, на основі однокристального мікрокомп'ютера, розроблені структурні та принципові схеми засобів формування та оброблення широкосмугових сигналів (рис. 12), які є основою для побудови комунікаційних засобів розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового призначення. Зовнішній вигляд дослідних зразків подано на рис. 13.

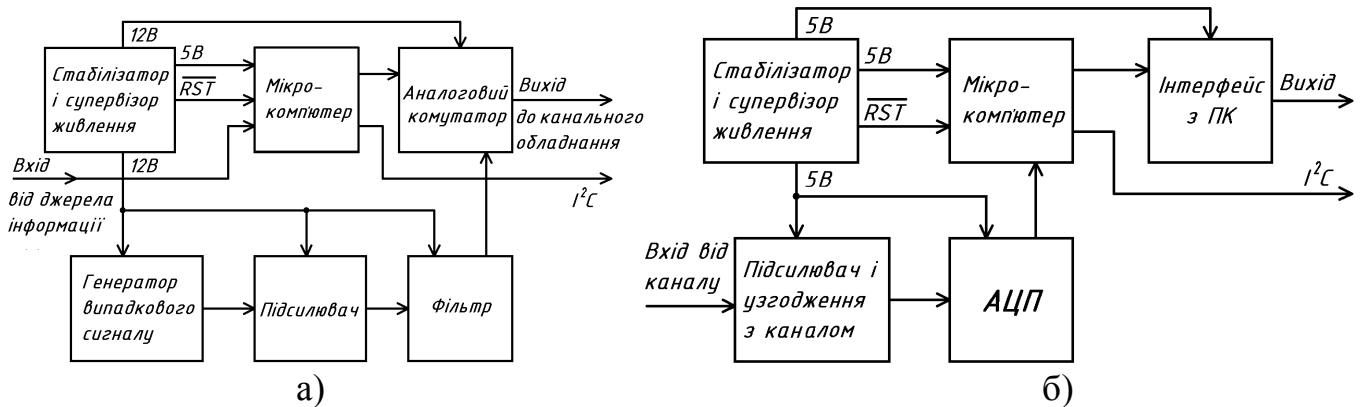


Рис. 12. Структурні схеми пристроїв а) формування та б) оброблення широкосмугових сигналів на основі розробленого методу

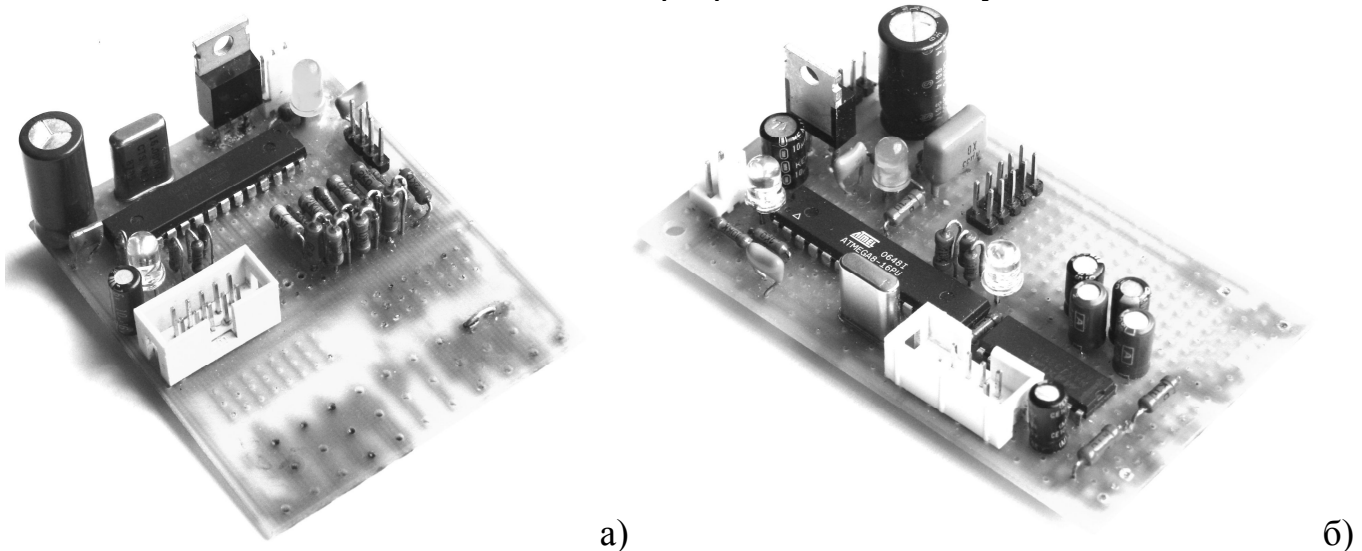


Рис. 13. Зовнішній вигляд дослідних зразків пристроїв а) формування, б) оброблення сигналів за ентропійним методом

Проведено дослідження відомих цифрових та аналогових способів формування випадкових сигналів. Обґрунтовано вибір цифрового способу, який забезпечує стабільність в часі ймовірнісних і амплітудних характеристик сформованих випадкових сигналів. Цифровий спосіб реалізовано програмним шляхом, що спрощує апаратні засоби. Параметри швидкодії генератора випадкових сигналів підбираються таким чином, щоб забезпечити щонайменше 2-кратне перевищення частоти відліків у порівнянні з максимальною необхідною частотою в спектрі сформованого сигналу.

Обмін даними в системі відбувається у вигляді фреймів каналного рівню, які складаються із заголовка, відформатованого пакету з повідомленням та послідовності контролю цілісності фрейму (рис. 14). Заголовок, в свою чергу, складається із преамбули, необхідної для налаштування бітової синхронізації та визначення рівня

порогу прийняття рішення щодо значень двійкових символів повідомлення, і стартового обмежувача, який визначає закінчення преамбули. Запропонована структура фрейма за необхідності може бути модифікована, причому це не потребує зміни апаратного забезпечення, зокрема, можлива оптимізація довжини поля даних.

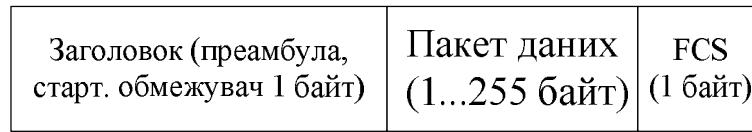


Рис. 14. Структура фрейму каналного рівня.

Розроблено алгоритмічні рішення процедур формування та оброблення широкополосних сигналів зі змінною ентропією, на основі яких реалізовано відповідне програмне забезпечення фізичного та каналного рівнів розподіленої комп'ютерної мережі (алгоритми основних етапів подано на рис. 15).

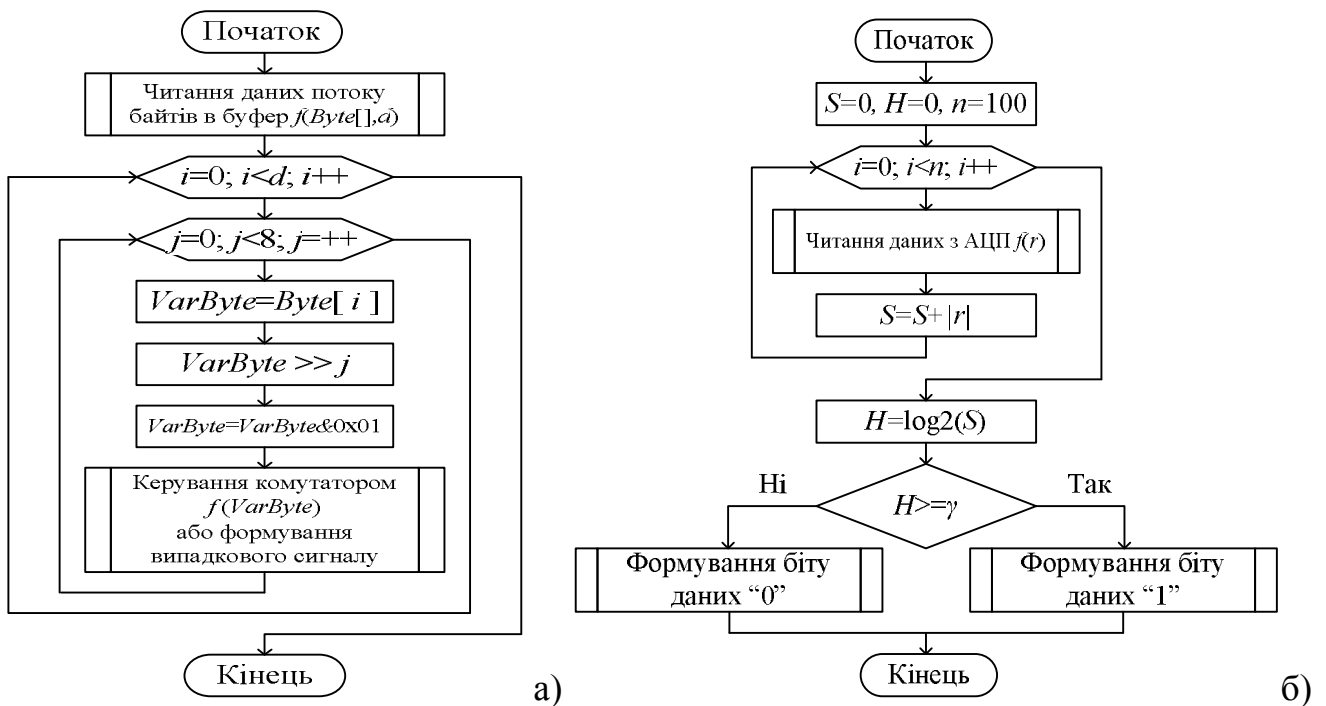


Рис. 15. Алгоритми основних етапів а) формування, б) оброблення сигналів за розробленим методом

Проведено порівняльний аналіз часової складності реалізації розробленого та кореляційного методів. Встановлено, що оброблення сигналів за розробленим методом відбувається швидше ніж за кореляційним, що дозволяє обробляти у 8,1 разів більше 16-ти бітових знакових відліків сигналу за однаковий проміжок часу на однокристальному мікрокомп'ютері AVR RISC архітектури. Це забезпечує опрацювання сигналів з відповідно більшою базою, що покращує показник завадостійкості (необхідне  $E_b/N_0$ ) не менше як на 2 дБ при ймовірності помилок  $10^{-6}$  за рахунок ефективнішого використання обчислювального ресурсу (криві 3 на рис. 10).

На основі створених комунікаційних засобів розроблено структурні схеми розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів для об'єктів промислового, корпоративного та побутового призначення, яка призначена для контролю стану загазованості підвальних приміщень в населених пунктах де є прояви аномальної загазованості пригрунтових шарів унаслідок промислового видобутку нафти і газу (рис. 16, 17). Розподілена система складається з одного пункту контролю і



сигналізації (ПКіС) та необхідної кількості контрольованих пунктів (КП), що обслуговують декілька зон контролю, обладнаних сенсорами критичних параметрів (загазованості).

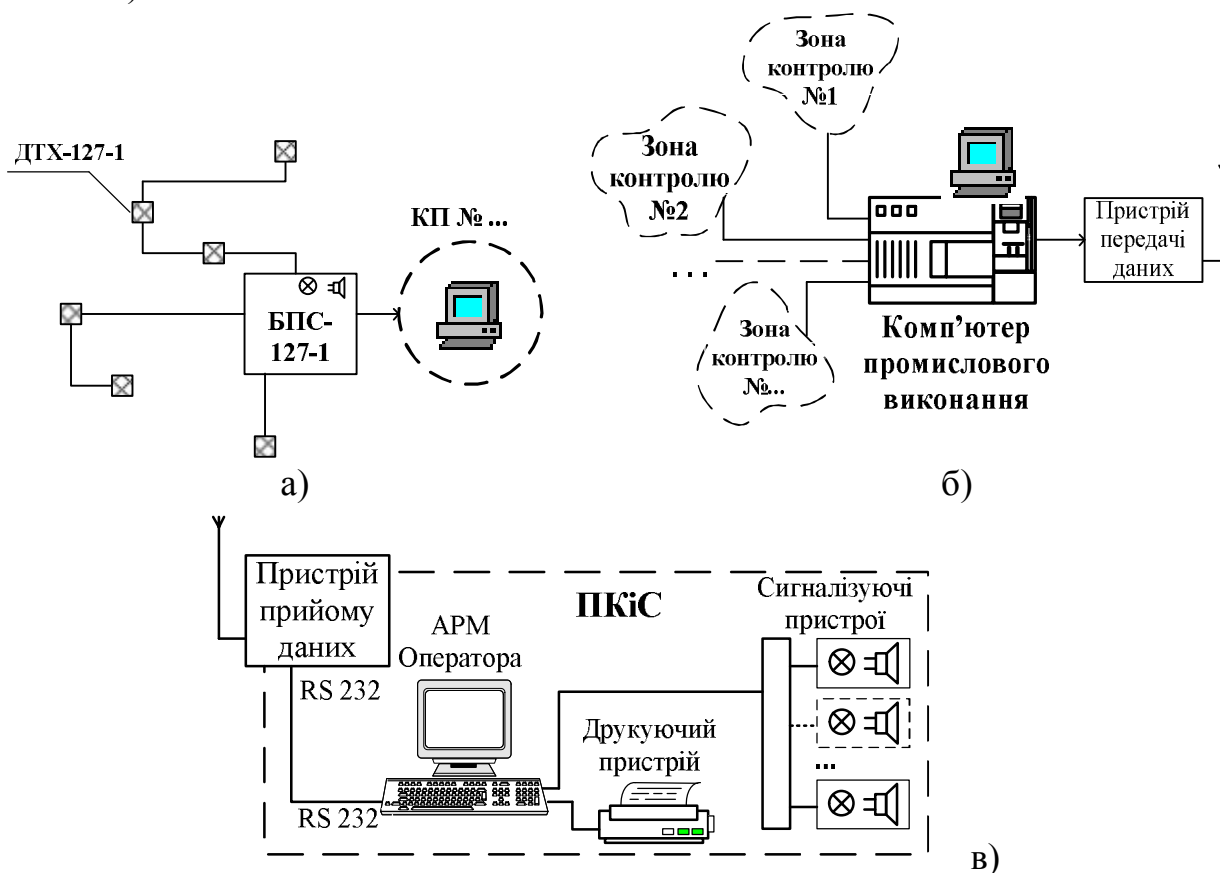


Рис. 16. Елементи розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів: а) зона контролю, б) КП, в) ПКіС

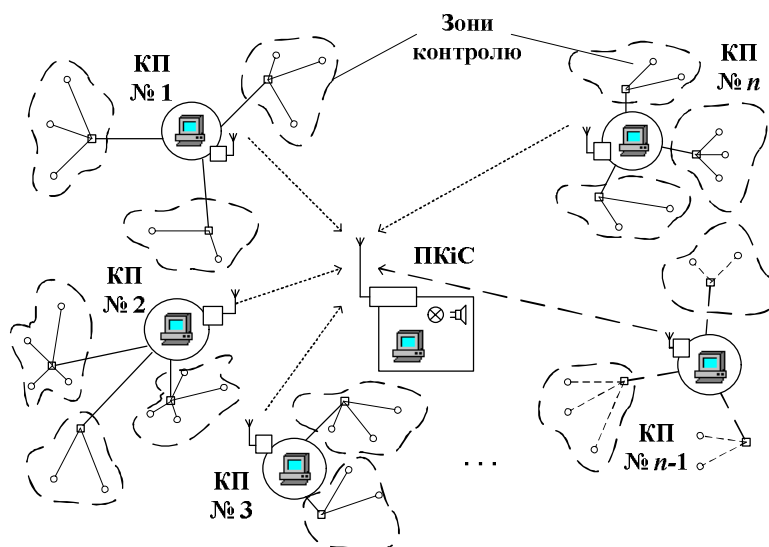


Рис. 17. Структура розподіленої системи контролю критичних параметрів

Розроблені компоненти системи забезпечують ефективний контроль за зміною контрольованих величин, дозволяють виявляти аварійні та передаварійні ситуації, а використання комп'ютерної техніки спрощує і прискорює процес збирання та аналізу даних, а також дозволяє реалізувати безпаперову інформаційну технологію.

## ВИСНОВКИ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В дисертаційній роботі наведено нове розв'язання актуальної наукової задачі створення високоефективних комунікаційних технологій в розподілених комп'ютерних системах та мережах загального і спеціального призначення, що виявляється в розробленні нового методу формування та оброблення ширококутових сигналів і приводить до покращення ефективності обміну даними в таких системах. При цьому отримано такі результати:

1. Вперше розроблено новий метод формування ширококутових випадкових сигналів, який полягає в зміні значення ентропії сформованого сигналу в залежності від символів повідомлення, що на відміну від кореляційних методів не потребує формування псевдовипадкових послідовностей, спрощує апаратну та програмну реалізацію комунікаційних засобів, забезпечує рівномірніше використання смуги частот.
2. Отримав подальший розвиток метод оброблення ширококутових випадкових сигналів, за яким виділення повідомлення запропоновано здійснювати шляхом статистичного оцінювання значень ентропії відповідних фрагментів оброблюваного сигналу, що не потребує зберігання еталонів форми оброблених сигналів та застосування складних методів кореляційного оброблення.
3. В результаті порівняльного аналізу ефективності застосування ймовірнісних характеристик для оброблення ширококутових випадкових сигналів встановлено, що запропоноване оцінювання ентропії дозволяє підвищити завадостійкість за критерієм, який враховує ймовірнісні розподіли маніпульованих сигналів та завад, в межах від 10 до 18 % у порівнянні з іншими характеристиками.
4. Отримано характеристики завадостійкості методу оброблення сигналів зі змінною ентропією, аналітично та на основі моделювання в обчислювальному експерименті, за якими встановлено, що розроблений не кореляційний метод наближається до оптимальних кореляційних з різницею, яка не перевищує 4,5 дБ при обробленні сигналів однакової бази. Також встановлено, що оброблення сигналів з однаковою базою за розробленим методом відбувається швидше, ніж за кореляційним, що забезпечує оброблення більшої у 8,1 разів бази сигналів і приводить до покращення завадостійкості не менше як на 2 дБ в умовах однакової часової складності при ймовірності помилок  $10^{-6}$ .
5. Створено структуру спецпроцесора формування та оброблення ширококутових сигналів, який характеризується розширеними функціональними можливостями і відрізняється наявністю апаратного модуля оцінювання ентропії, що дозволяє використати його для реалізації комунікаційних засобів на основі розробленого методу. Також реалізовано засоби формування та оброблення сигналів на основі універсального однокристального мікрокомп'ютера, як компоненти розподілених комп'ютерних систем та мереж.
6. Розроблено апаратне та програмне забезпечення розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів віддалених об'єктів розташованих в місцях промислового газо- та нафтовидобутку з проявами аномальної загазованості.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. 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, 2005. – С. 62 – 65.
2. 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.
3. Козленко М. І. Дослідження ефективності застосування різних типів сигналів в інформаційних каналах систем керування та контролю / Козленко М. І. // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – № 16. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – С. 91 – 93.
4. Мельничук С. І. Дослідження впливу шумів каналу при передаванні даних способом зміни ентропії розподілу ймовірностей станів / Мельничук С. І., Козленко М. І. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2006. – № 40. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – С. 163 – 166. – ISSN 0320–6947.
5. Козленко М. І. Аналіз сучасного рівня розробки статистичних методів обміну даними на основі шумоподібних сигналів / Козленко М. І. Мельничук С. І. // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – 2006. – № 2(10). – Івано-Франківськ: Інститут менеджменту та економіки "Галицька академія", 2006. – С. 33 – 38.
6. 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.
7. Козленко М. І. Розподілена комп'ютерна система контролю критичних параметрів віддалених об'єктів побутового та промислового призначення / Козленко М. І. // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – 2008. – № 1(13). – Івано-Франківськ: Інститут менеджменту та економіки "Галицька академія", 2008. – С. 67 – 72.
8. 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.
9. Заявка на пат. а 2008 01274 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінними імовірнісними характеристиками / Мельничук С. І., Козленко М. І. (Україна); заявл. 01.02.2008; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.
10. Мельничук С. І. Система безпроводного контролю витрати енергоносіїв на основі широкосмугових каналів зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів / Мельничук С. І., Козленко М. І. // Збірник наукових праць V науково-технічної конференції "Приладобудування 2006: стан і перспективи", 25 – 26 квітня 2006 року, м. Київ, ПБФ, НТУУ "КПІ". – Київ: НТУУ "КПІ" ВПІ ВПК "Політехніка", 2006. – С. 286 – 287.

11. Козленко М. І. Оцінка ефективності застосування різних сигналів при реалізації обміну даними на основі способу зміни ентропії сигналів інформаційного каналу в низових мережах / Козленко М. І., Мельничук С. І. // Матеріали VIII міжнародної конференції по математическому моделюванню (МКММ'2006), 12 – 16 сентября 2006, ХНТУ. Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. - № 2(25). – Херсон: ХНТУ, 2006. – С. 231 – 234. – ISBN 5–7763–2514–5.
12. Козленко М. І. Дослідження впливу форми періодичних сигналів на ентропію розподілу ймовірностей станів у провідникових каналах обміну даними / Козленко М. І., Мельничук С. І. // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика-2006). Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції. м. Вінниця, 25 – 28 вересня 2006 року. – Вінниця: видавництво ВНТУ "УНІВЕРСУМ – Вінниця", 2006. – С. 338. – ISBN 966–641–187–3.
13. Мельничук С. І. Оцінка завадозахищеності широкосмугових інформаційних каналів систем контролю споживання енергоносіїв / Мельничук С. І., Козленко М. І. // Збірник наукових праць VI науково-технічної конференції "Приладобудування 2007: стан і перспективи", 24 – 25 квітня 2007 року, м. Київ, ПФФ, НТУУ "КПІ". – Київ: НТУУ "КПІ" ВПІ ВПК "Політехніка", 2007. – С. 310 – 311.
14. Козленко М. І. Завадостійкість інформаційних каналів систем контролю витрати енергоносіїв реалізованих на випадкових сигналах зі змінною ентропією / Козленко М. І., Мельничук С. І. // Збірник наукових праць VII міжнародної науково-технічної конференції "Приладобудування 2008: стан і перспективи", 22 – 23 квітня 2008 року, м. Київ, ПФФ, НТУУ "КПІ". – Київ: НТУУ "КПІ" ВПІ ВПК "Політехніка", 2008. – С. 254 – 255.
15. Мельничук С. І. Ентропійні методи захисту даних в інформаційних каналах комп'ютерних систем / Мельничук С. І., Козленко М. І., Гарматій О. Б. // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання", 20 – 24 травня 2008 р. Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – 2008. – № 4. – Т. 1. – Бучач, 2008. – С. 70 – 71.

## АНОТАЦІЯ

**Козленко М. І. Метод та засоби формування і оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією в розподілених комп'ютерних системах. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2008.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню в області створення нових високоефективних комунікаційних технологій в розподілених комп'ютерних системах та мережах загального і спеціального призначення. В роботі проведено огляд сучасного стану розвитку розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового призначення, обґрунтовано доцільність застосування широкосмугових сигналів для організації обміну даними в них. Вперше розроблено новий метод формування та оброблення широкосмугових сигналів, який ґрунтується на використанні реалізацій випадкового процесу, як розширюючого спектр сигналу, значення ентропії розподілу ймовірностей амплітуд якого поставлено у відповідність до символів інформаційного повідомлення, а виділення символів повідомлення відбувається шляхом статистичного

оцінювання значень ентропії фрагментів сигналів. Висока ефективність розробленого методу теоретично обґрунтована і практично підтверджена. Одержано показники завадостійкості та часової складності реалізації розробленого методу. Встановлено покращення завадостійкості в порівнянні з традиційними кореляційними методами при обробленні сигналів в умовах однакової часової складності. Основні результати роботи знайшли промислове впровадження під час проектування розподіленої комп'ютерної системи контролю критичних параметрів віддалених об'єктів розташованих в місцях промислового газо- та нафтовидобутку з проявами аномальної загазованості.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, формування, оброблення, широкосмуговий сигнал, ентропія.

## SUMMARY

**Kozlenko M. I. The method and facilities for the forming and processing of the spread spectrum signals with variable entropy in the distributed computer systems. – Manuscript.**

The thesis for Ph. D. (Candidate of Technical Science) degree of 05.13.05 speciality – Computer Systems and Components. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2008.

The thesis is dedicated to creating a new high performance communication technology in distributed computer systems and networks. Modern industrial distributed computer systems and networks development state, their main characteristics and parameters have been examined. The analysis of different information channels in such systems as low frequency channels, high frequency manipulation channels, radio channels and others has been presented. The new methods and ways of the spread spectrum signals forming and processing has been developed. Expediency of spread spectrum signals using for data exchange organizing in distributed systems and networks has been motivated. The new method of spread spectrum signals forming and their processing has been developed. The essence of the elaborated method concerns using spectrum spreading signal as the realization of random process. The entropy of probability distribution of this process realizations is made to correspond to transmitted information symbols. Detection of the received message symbols is conducted by the statistical estimation of the values of fragments entropy of the processed signals with further deciding of the discrete value of the received information symbol. The elaborated method using does not need signal form templates storing on processing side and complicated algorithms do not huge to be used for pseudorandom sequences forming. Frequency resource using evenness has been evaluated for forming such signals and spread spectrum signals formed on the basis of the offered method have been estimated to use the frequency band more evenly than in comparison with traditional methods. The effectiveness examination of various probable characteristics have been done such as variance, root mean square standard deviation, central moments of various exponents, entropy. The differential entropy formula by variance has been proved the most effective entropy estimation for the method developed. Intermediate signal sample values regeneration influencing these signal processing effectiveness has been researched. This procedure positive influencing processing effectiveness while using Shannon and Hartly formulas for the entropy estimation has been proved. At the same time, effectiveness depending on intermediate calculation ways has been proved to be of no serious importance. Signal using possibilities and effectiveness of various time domain forms have been

examined. The random signal with a flat power spectral density and a gaussian probability distribution has been proved the most effective for the method developed. Time complexity of the method developed has been obtained. It has been proved that the time needed for signal processing according to this methods is 8 times less that that index in traditional correlative signal processing. Noise proof feature index of the developed method in form of dependens of bit error probability on normalized signal/noise ratio has been obtained. It has been proved that the noise proof feature index (needed normalized signal/noise ratio) improvement is at least 2 dB better under condition of equal time complexity by the bit error probability level of  $10^{-6}$ . Analogue and digital methods of random signals generation have been researched. The high efficiency of the developed method has been confirmed by the theoretical investigations and by the results of the practical experiments. The results of the work have found the utility in creations of the distributed computer system for control of critical parameters of distant objects of industrial, corporate and domestic purpose. The structure of specialized communication signal processor has been developed. The communication components of such system based on the universal one-chip microcomputers have been realized. The developed computer system is intended for control of gas contamination condition of the premises basements in population aggregates where there are cases of gas contamination of ground layers as a result of industrial oil and gas recovery.

**Keywords:** computer system, forming, processing, spread spectrum signal, entropy.

### АННОТАЦИЯ

**Козленко Н. И. Метод и средства формирования и обработки широкополосных сигналов с переменной энтропией в распределенных компьютерных системах. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – Национальный университет "Львівська політехніка", Львов, 2008.

Диссертационная работа посвящена исследованию в области создания новых высокоэффективных коммуникационных технологий в распределенных компьютерных системах и сетях. В работе проведен обзор современного состояния развития промышленных распределенных компьютерных систем и сетей. Обоснована целесообразность применения широкополосных сигналов для обмена данными в таких системах. Впервые разработан новый метод формирования и обработки широкополосных сигналов, с использованием расширяющего спектр сигнала в виде реализаций случайного процесса, значение энтропии распределения амплитуд которых поставлено в соответствие символам информационного сообщения. Выделение символов принятого сообщения происходит путем статистического оценивания значений энтропии фрагментов сигналов. Высокая эффективность метода теоретически обоснована и подтверждена практически. Установлено улучшение помехоустойчивости, в условиях одинаковой временной сложности устройств, по сравнению с традиционными корреляционными методами. Результаты работы нашли применение при создании распределенной компьютерной системы контроля критических параметров удаленных объектов размещенных в местах промышленного газо- и нефтедобычи с проявлениями аномальной загазованности.

**Ключевые слова:** компьютерная система, формирование, обработка, широкополосный сигнал, энтропия.