

# СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇХНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

УДК 681.325

С.І. МЕЛЬНИЧУК

Івано-Франківський інститут менеджменту та економіки  
“Галицька академія”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗРЯДНОСТІ АЦП НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ЗІ ЗМІННОЮ ЕНТРОПІЄЮ В ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛАХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

© Мельничук С.І., 2009

*Досліджено вплив розрядності АЦП на ефективність оброблення широкосмугових випадкових сигналів зі змінною ентропією в каналах обміну даними.*

*Influence of bit of ADC is investigational on efficiency of the spread spectrum casual signals with variable entropy in ducting of exchange by information.*

**Вступ.** Реалізація сучасних промислових мереж ґрунтується на застосуванні інформаційних каналів (провідникових, радіо, оптичних тощо) з традиційними способами формування та оброблення сигналів. Основним недоліком такого підходу є низька стійкість згаданих систем обміну даними до впливу інтенсивних промислових завад, що зумовлює необхідність ускладнення апаратної реалізації каналного обладнання, а також збільшення вихідної потужності транспортних сигналів і, як наслідок, до додаткових інформаційних та енергетичних втрат [1, 2]. Крім того, у разі значної роззосередженості об'єктів, елементи яких територіально віддалені між собою, в умовах неможливості або значної технічної та організаційної складності прокладання провідникових ліній використовують оптичні атмосферні лінії та радіоканали як середовище розповсюдження сигналів [3]. Однак відкриті оптичні лінії не завжди можна розглядати як такі, що забезпечують прийнятну надійність, зокрема, через вплив погодних умов, тобто якість їх функціонування залежить від наявності та характеру опадів, туману, пилу тощо. Для радіоканалів промислових низових розподілених мереж характерна наявність та висока інтенсивність як атмосферних, так і техногенних завад, а також обмеженість і щільне заповнення частотного ресурсу, що зумовлює необхідність пошуку, дослідження та використання ефективних методів формування та оброблення сигналів в інформаційних каналах систем контролю та керування.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Одним з варіантів вирішення згаданих проблем є застосування каналів обміну даними, в яких використовуються складні, широкосмугові сигнали. До основних переваг практичного застосування широкосмугових сигналів зараховують: можливість стабільного функціонування при низьких співвідношеннях потужностей сигнал/завада, висока заводозахищеність, можливість організації кодового розділення при множинному доступі до середовища, висока ефективність в умовах багатопроменового розповсюдження сигналів, прийнятна електромагнітна сумісність з існуючими вузькосмуговими системами тощо [4, 5]. Традиційно такі системи обміну даними реалізують кореляційну обробку сигналів, тобто визначення міри подібності прийнятих сигналів із взірцями, що зберігаються на боці обробки. Проте реалізація кореляційних

методів потребує значних апаратних та обчислювальних затрат, що своєю чергою зумовлює зростання вартості такого обладнання.

Одним із перспективних способів реалізації широкосмугових інформаційних каналів є використання випадкового сигналу без залучення псевдовипадкових взірців, тобто формування випадкового сигналу здійснюється так, що його задана імовірнісна характеристика поставлена у відповідність до символів інформаційного повідомлення [6]. У цьому випадку, на відміну від традиційних методів виділення (за амплітудою, частотою, фазою чи їх комбінаціями), носієм інформації є одна чи декілька імовірнісних характеристик випадкового процесу, які змінюються відповідно до символів повідомлення. Такий підхід дозволяє істотно спростити апаратні та обчислювальні затрати, а також відмовитись від складних способів генерування псевдовипадкових послідовностей під час формування широкосмугових випадкових сигналів і зберігання відповідних еталонних взірців при їх обробці.

**Формування цілей роботи.** Одним з невирішених раніше питань згаданого способу обміну даними, реалізованого на основі випадкових широкосмугових сигналів зі змінною ентропією є дослідження впливу розрядності аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) на ефективність їх оброблення, яку доцільно оцінювати як відношення різниці сигнальних компонент на виході пристрою обробки (демодулятора) до двократного середнього квадратичного відхилення завади на виході демодулятора. Отже, об'єктом дослідження є ефективність способу під час використання АЦП різної розрядності, а отримання кількісних залежностей основною метою роботи.

**Ефективність використання різних імовірнісних характеристик.** Для оцінки ефективності застосування різних імовірнісних характеристик, зокрема  $D_x$  – дисперсії,  $\sigma$  – середнього квадратичного відхилення (СКВ), центральних моментів вищих порядків, а також ентропії обчисленої за формулами Шеннона, Хартлі та за дисперсією в [4, 5] обрано такий критерій, як відношення різниці сигнальних компонент на виході демодулятора до двократного середнього квадратичного відхилення  $S_0$  завади на виході демодулятора:  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2S_0)$ . Доцільність вибору згаданого критерію пояснюється тим, що це співвідношення є основним аргументом для функції визначення ймовірності помилки при заданому нормованому співвідношенні сигнал/завада, рис. 1.

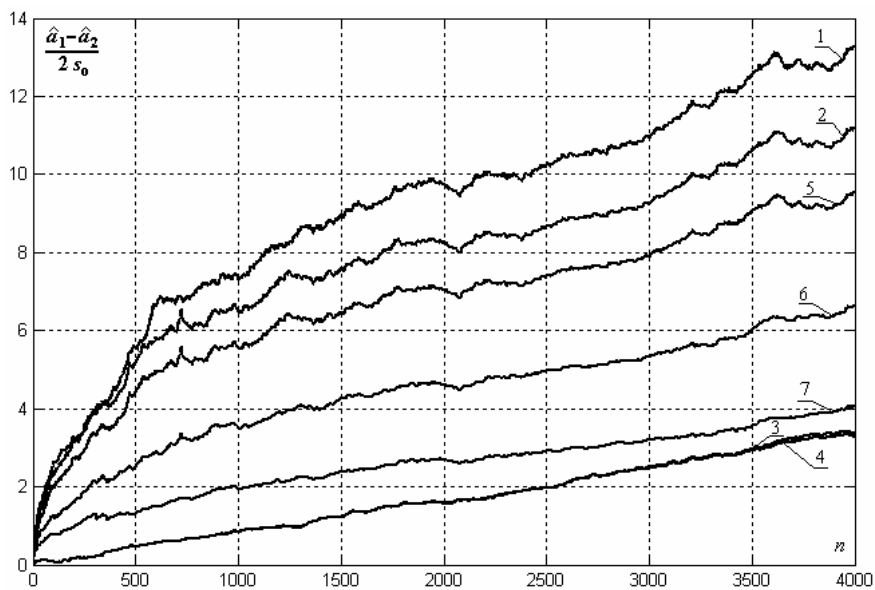


Рис. 1. Залежність ефективності оброблення від розміру вибірки  $n$  для: 1 – диференційної ентропії обчисленої за дисперсією; 2 – СКВ; 3 – ентропії за Шенноном; 4 – ентропії за Хартлі; 5 – дисперсії; 6 – центрального моменту 4-го порядку; 7 – центрального моменту 6-го порядку

Отже, виконані дослідження [7] показали, що як змінну імовірнісну характеристику випадкових сигналів найдоцільніше застосовувати диференційну ентропію  $\hat{H} = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma^2}$ , для нормального розподілених ймовірностей, що зумовлено найбільшою різницею сигнальних компонент серед розглянутих ентропійних оцінок, зокрема розрахованих за формулою Хартлі:  $\hat{H} = \log_2 m$ , де  $m$  – кількість можливих станів сигналу; формулою Шеннона:  $\hat{H} = -\sum_{i=1}^m p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ , де  $p(r_i)$  – імовірність появи стану сигналу  $r_i$ . Проте використання формули диференційної ентропії забезпечує прийнятну ефективність тільки у разі нормально розподілених ймовірностей станів вхідного сигналу, що практично не зустрічається в експлуатаційних умовах.

Як можна побачити з рис. 1, ефективність кожної з розглянутих статистичних характеристик зростає із зростанням розміру вибірки  $n$ , виконані дослідження показали, що збільшення розміру вибірки при оцінці ентропії дозволяє істотно зменшити СКВ і, як наслідок, покращити завадостійкість. Проте збільшення вибірки приводить до зростання енергетичних затрат, що своєю чергою знижує ефективність згаданого підходу. Отже, необхідно розглянути можливість використання процедур відновлення проміжних відліків шляхом збільшення частоти дискретизації АЦП або застосування інтерполяції.

Дослідження виконано моделюванням в обчислювальних експериментах, причому вибір сигналів здійснено так, що стану інформаційного символу, логічна "1" відповідає випадковий сигнал  $s_1(t)$  з розподілом ймовірностей, близьким до нормального, рівномірною спектральною щільністю і відповідним сталим рівнем ентропії, а іншому стану інформаційного символу, логічний "0" відповідає сигнал  $s_2(t)$  у вигляді пасивної паузи. Завада, що діє у каналі, розглядалась як стаціонарний адитивний білий гауссів шум – AWGN.

Варто зауважити, що на практиці реалізація інтерполяції за формулами Лагранжа, Ейткена, Найквіста тощо потребують невиправданих обчислювальних затрат, зокрема реалізація обчислень за формулою Найквіста значно ускладнюється, необхідністю задіяти в розрахунку кожного інтерполяційного значення всі відліки вибірки. Простішим рішенням є отримання проміжних значень за допомогою збільшення частоти дискретизації АЦП або застосування лінійної інтерполяції під час обробки, рис. 2.

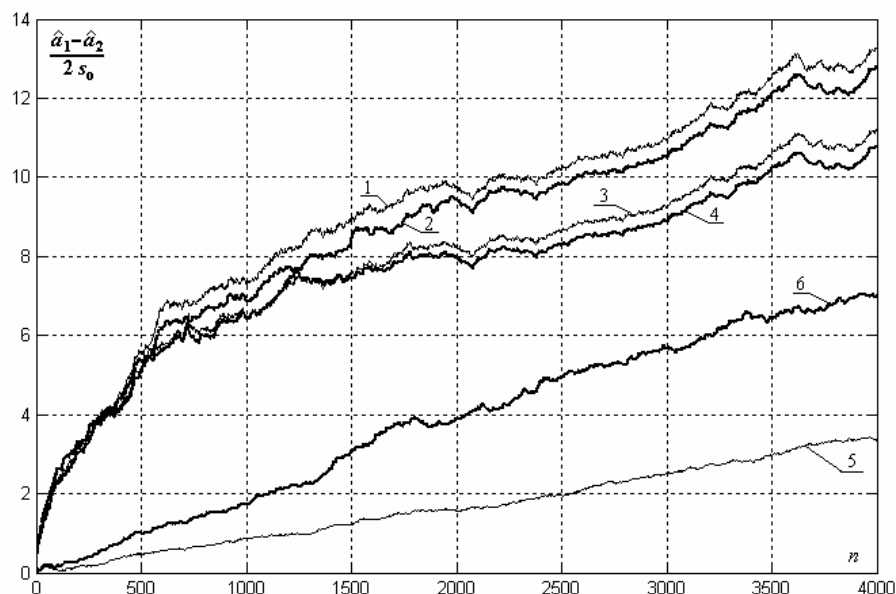


Рис. 2. Залежність ефективності оброблення від розміру вибірки  $n$  для:

- 1 – диференційної ентропії обчисленої за дисперсією без інтерполяції; 2 – диференційної ентропії обчисленої за дисперсією з інтерполяцією; 3 – СКВ без інтерполяції; 4 – СКВ з інтерполяцією; 5 – ентропії за Шенноном без інтерполяції; 6 – ентропії за Шенноном з двократною інтерполяцією

Як можна побачити відновлення проміжних відліків істотно впливає тільки на оцінки ентропії, розраховані за формулою Шеннона, оскільки ця характеристика є імовірнісною характеристикою сигналу. У той же час покращання ефективності, в разі застосування СКВ та диференційної ентропії не виявлено (спостерігається часткове погіршення), що закономірно, оскільки згадані характеристики є амплітудними характеристиками сигналу. Проведені в [7] дослідження підтвердили доцільність застосування лінійної інтерполяції, як найпростішої з розглянутих, а також показали, що збільшення розміру вибірки шляхом інтерполяції більш ніж у 32 рази є недоцільним, оскільки подальше збільшення вже не приводить до істотного покращання значення зазначеного вище критерію.

**Оцінка впливу розрядності АЦП.** Покращання ефективності застосування ентропійних оцінок можна реалізувати тільки двома шляхами: по-перше – збільшити різницю сигнальних компонентів, по-друге – зменшити СКВ оцінок ентропій послідовних фрагментів сигналу.

У першому випадку, як показано вище, покращання можна досягти, використовуючи крайні оцінки ентропії, що обчислюються за дисперсією. Із збільшенням розміру вибірки такі оцінки швидко, порівняно з оцінками за Шенноном, наближаються до свого математичного очікування і, як наслідок, максимуму різниці сигнальних компонент. Проте такий спосіб, з погляду обчислювальних затрат, співрозмірний з кореляційною обробкою, що частково нівелює переваги його застосування. Іншим варіантом збільшення відстані між сигнальними компонентами може бути відмова від застосування пасивної паузи, як інформаційного символу. У цьому випадку необхідно здійснити розробку методів, які дозволяють зменшувати потужність сигналу на вході пристрою оброблення. Проте такий підхід практично не розроблявся і не досліджувався, що унеможливило оцінку його ефективності.

У другому випадку, покращання можна досягти за рахунок зменшення СКВ оцінок ентропії фрагментів сигналу збільшенням розміру вибірки, що можна отримати при збільшенні тривалості символного інтервалу або застосуванні відновлення проміжних відліків (збільшення частоти дискретизації АЦП чи застосуванні інтерполяції). Недоліком першого варіанта є зростання енергетичних затрат за рахунок розширення бази сигналу, для другого – зростання обчислювальних затрат на відновлення сигналу. Отже, обидва розглянуті варіанти фактично не дозволяють отримати істотного покращання показника завадостійкості (ефективності оброблення).

Проте, враховуючи те, що ентропія, розрахована за формулою Шеннона, оцінює сигнал за імовірнісною ознакою, можемо стверджувати, що на величину СКВ таких оцінок також істотно впливає кількість можливих станів, які приймає сигнал протягом символного інтервалу. Отже, можна припустити, що розрядність аналого-цифрового перетворювача, який реалізує дискретизацію аналогових сигналів каналного рівня буде безпосередньо впливати на ефективність їх подальшого оброблення.

Доцільно зазначити, що зменшення розрядності АЦП фактично зумовить зменшення СКВ оцінок ентропії послідовних фрагментів сигналу  $2s_0$ , оскільки у разі зменшення розрядності розширюються межі інтервалів, в які може попасти його дискретизоване значення  $r_i$ , тобто можливих станів сигналу стає менше, що приводить до покращання ефективності оброблення за згаданим вище критерієм.

Проте зменшення кількості можливих станів, своєю чергою, приводить до зменшення максимально можливого значення оцінки ентропії конкретної вибірки, тобто до зменшення кодової відстані між відповідними сигнальними компонентами  $\hat{a}_1 - \hat{a}_2$ , що своєю чергою погіршує ефективність за обраним критерієм.

У такому разі необхідно розглядати наведені фактори сумісно, що зумовлює задачу пошуку оптимального співвідношення між знаменником (значення якого мінімізується зі зменшенням розрядності АЦП) та чисельником (значення якого зростає зі збільшенням розрядності АЦП) обраного критерію.

З метою встановлення залежності ефективності застосування АЦП з різною розрядністю  $R$  для вибірок розмірністю  $n$  до 4000 елементів при обчисленні ентропійних оцінок за формулою Шеннона виконано відповідні дослідження, результати яких подано на рис. 3.

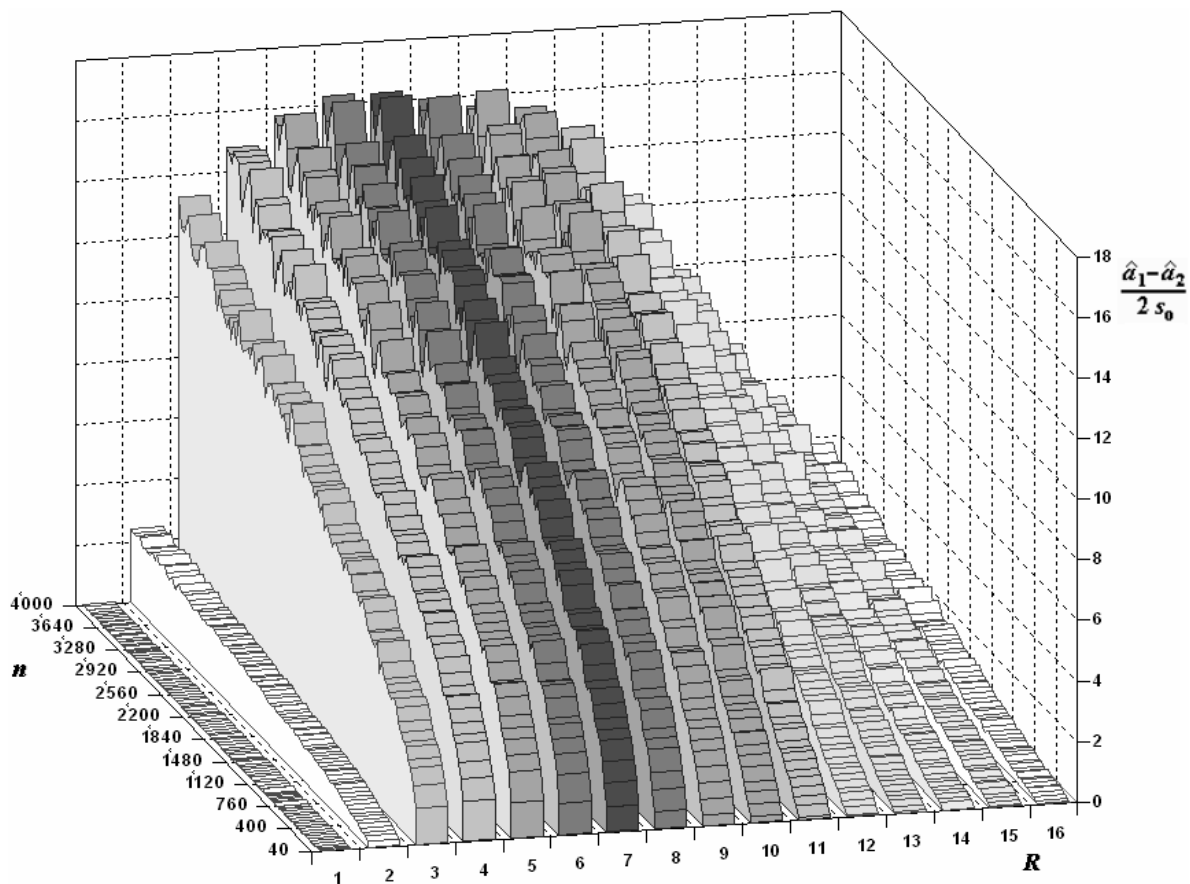


Рис. 3. Залежність ефективності оброблення сигналів від розміру вибірки  $n$  та розрядності АЦП

Як можна побачити збільшення розрядності АЦП під час обчислення імовірнісних оцінок послідовних фрагментів сигналу забезпечує зростання обраного показника ефективності лише до моменту використання 7-розрядів (128 можливих станів), подальше збільшення приводить до його поступового зниження, тобто ефективність оброблення погіршується.

Фактично використаний, при усіх раніше виконаних експериментальних дослідженнях, 16-розрядний аналого-цифровий перетворювач (65536 станів) за ефективністю не поступається лише 2-розрядному (4 стани), рис. 3.

Результати порівняння оцінок ентропії обчислених за дисперсією (найефективніших серед раніше досліджуваних ентропійних оцінок) та оцінок ентропії обчислених за формулою Шеннона для 5, 6 та 7-розрядного АЦП подано на рис. 4.

Отже, згідно з обраним критерієм  $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$  ефективність оброблення ширококутових випадкових сигналів при застосуванні формули Шеннона для аналого-цифрових перетворювачів меншої розрядності, зокрема 7-розрядного, практично така сама, як і під час застосування диференційної ентропії  $\hat{H} = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma^2}$ , проте недоліком такого аналітичного виразу є обмеженість застосування – тільки для випадкових процесів з нормальним, або близьким до нормального розподілом станів, що порівняно нечасто зустрічається в інформаційних каналах промислового призначення.

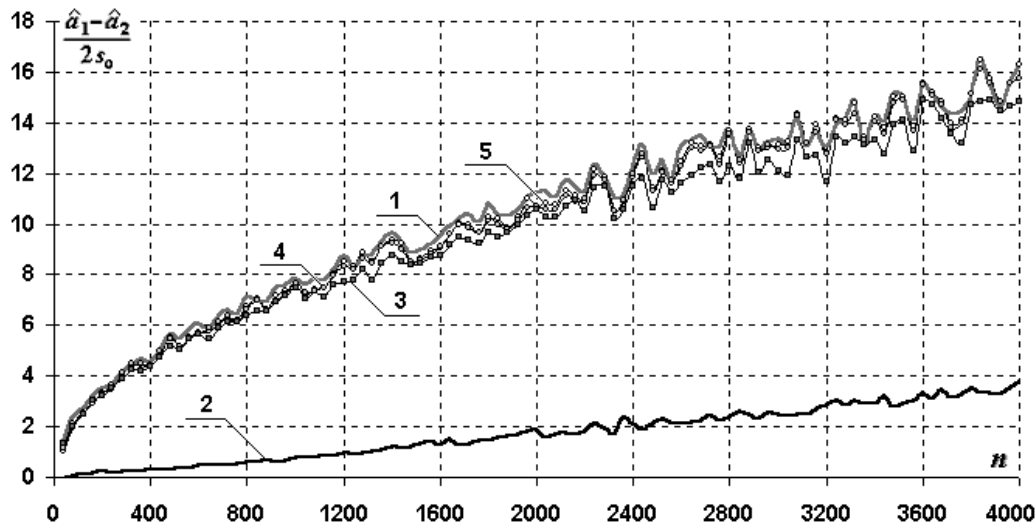


Рис. 4. Залежність ефективності оброблення від розміру вибірки  $n$  для:  
 1 – оцінки ентропії, обчислені за дисперсією; 2, 3, 4, 5 – оцінки ентропії  
 за Шенноном відповідно для 16-, 6-, 7-, 8-розрядного АЦП

**Висновки.** Виконані дослідження підтвердили наявність впливу розрядності АЦП на ефективність оброблення широкосмугових випадкових сигналів зі змінною ентропією, крім того отримано кількісні залежності критерію ефективності від розміру вибірки для аналого-цифрових перетворювачів різної розрядності. Отже, під час реалізації широкосмугових інформаційних каналів можна використовувати прості 8-розрядні АЦП без істотної втрати ефективності оброблення, що дозволяє спростити апаратне забезпечення, а також обчислювальні затрати під час функціонування відповідного програмного забезпечення каналного рівня.

1. Гусев С. А. История развития промышленных сетей // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 2. – С. 26–31. 2. Козленко М. І. Мельничук С. І. Аналіз сучасного рівня розробки статистичних методів обміну даними на основі шумоподібних сигналів // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки “Галицька академія”. – Івано-Франківськ, 2006. – № 2(10). – С. 33–38. 3. Петрович Н. Т., Размахнин М. К. Системы связи с шумоподобными сигналами. – Советское Радио, 1965. – 232с. 4. Петрович Н. Т., Размахнин М. К. Широкополосные каналы связи с шумоподобными сигналами. – М.: ВЗЭИС, 1965. 5. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с. 6. Пат. № 81017 Україна, МПК(2006) Н04В 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / С.І. Мельничук, М.І. Козленко (Україна). – Заявка № а 2005 08893; Заявлено 19.09.2005; Опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19. 7. Козленко М.І., Мельничук С.І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу імовірностей станів // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки “Галицька академія”. – 2006. – № 1 (9). – Івано-Франківськ, 2006. – С. 28–31.