

4. Hughes A., Lawrenson P.J., Davies T.S. Factors determining high-speed torque in hybrid motors // *Proceedings of International Conference on stepping motors and devices.* – 1976. – University of Leeds. – P.150–157. 5. Lawrenson P.J., Hughes A., Acarnley P.P. Starting stopping rates of stepping motors: Improvement and prediction//*Proceedings of International Conference on stepping motors and systems.* – 1976. – University of Leeds.-P.54–60. 6. Lawrenson P.J., Kingham I.E. Resonance effects in stepping motors // *Proceedings of JEE.* – 1977. – V. 124. – No5. – P. 445–448. 7. Ward P.A., Lawrenson P.J. Backlash, resonance and instability in stepping motors // *Proceeding of the Sixth annual symposium on Incremental motion control systems and devices.* – Department of Electrical Engineering, University of Illinois, 1977. – P. 73–83. 8. Singh G., Leenhouts A.C., Mosel E.F. Electromagnetic resonance in permanent-magnet step motor drive system // *Proceedings of the International conference on stepping motors and systems.* – University of Leeds, 1976. – P.115–124. 9. Hughes A., Lawrenson P.J. Simple theoretical stability criteria for 1.80 hybrid motors // *Proceedings of the International conference on stepping motors and systems.* – University of Leeds, 1979. – P.127–135. 10. Lawrenson P.J., Kingham I.E. Viscously coupled inertial damping of stepping motors // *Proceedings of JEE.* – 1975. – V. 122, No10. – P. 1137–1140. 11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.* – М.: Наука, 1986. – 544 с. 12. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике для научных работников и инженеров.* – М.: Наука, 1970. – 720 с.

УДК 681.325

© С.І. МЕЛЬНИЧУК, М.В. КОРОПЕЦЬКА
ПВНЗ “Галицька академія”, м. Івано-Франківськ

АДАПТАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ЕНТРОПІЙНИХ ОЦІНОК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ З НОРМАЛЬНИМ РОЗПОДІЛОМ У КОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСОБАХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

© Мельничук С.І., Коропецька М.В., 2011

Проведено дослідження імовірнісних характеристик випадкових сигналів з керованою ентропією, запропоновано спрощений алгоритм розрахунку оцінок ентропії для реалізації апаратного забезпечення автоматизованих систем опрацювання даних.

A study of probabilistic characteristics of random signals with controlled entropy, proposed a simplified algorithm for calculating the entropy estimates for the hardware implementation of automated data processing systems.

Вступ. Сучасні розподілені автоматичні та автоматизовані системи телесигналізації, телевізювання, телеконтролю, телекерування тощо потребують забезпечення надійних, а також порівняно недорогих інформаційних каналів обміну даними. Сучасні широкосмугові засоби реалізації каналів обміну даними, які характеризуються найкращою надійністю серед існуючих, ґрунтуються на кореляційній обробці, що істотно ускладнює їх застосування у разі незначної територіальної віддаленості. До того ж не завжди можливо встановити (прокладки) традиційних каналів, зокрема провідникових чи оптичних, що приводить до необхідності використання радіоканалів, які будуються на неоптимальних методах обміну даними, що унеможлиблює забезпечити необхідну надійність.

Серед різних варіантів описаної проблеми доцільно розглянути методи та засоби реалізації інформаційних каналів на основі ширококутових сигналів з керованою ентропією, які не потребують громіздких обчислень і забезпечують прийнятну завадостійкість.

Аналіз досліджень та публікацій. Оскільки одним з основних компонентів каналного обладнання автоматизованих систем є підсистема опрацювання (інтерпретації) вхідних сигналів, то доцільно детальніше розглянути алгоритм її функціонування. Сигнали з керованою ентропією фактично є носіями елементів інформаційного повідомлення, тобто ентропія відповідного фрагмента ставиться у відповідність до інформаційного біту повідомлення. У такій ситуації спрощення алгоритму опрацювання доцільно розглядати, починаючи з етапу розрахунку оцінок ентропії.

Основним елементом розрахунку імовірнісних оцінок ентропії є обчислення функції логарифму. Така функція ґрунтується на розкладі в ряд Тейлора, що потребує значних обчислювальних ресурсів, особливо у випадках, коли ймовірність появи того чи іншого стану близька до нуля. У такому випадку кількість членів ряду прямує до безмежності. В результаті виникає завдання оптимізації розрахунку оцінок ентропії, що може бути здійснено шляхом заміни функції логарифму на поліноміальні із певними втратами точності.

Під час застосування ширококутових сигналів з керованою ентропією в інформаційних каналах автоматизованих систем значення сигналів на виході демодулятора визначаються як оцінки ентропії символічних інтервалів. Отже, для прискорення процедури перетворення сигналів необхідно спростити алгоритм розрахунку оцінок ентропії послідовних фрагментів сигналу.

Для спрощення розрахунку ентропії за формулою К. Шеннона пропонується замінити основний елемент аналітичного виразу $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ на поліномні функції з розділенням інтервалу $[0,1]$ на вісім сплайнів. Такий підхід дає змогу зменшити кількість обчислень членів ряду за малих ймовірностей $p(r_i) \rightarrow 0$.

Оскільки ймовірність появи окремих станів r_i оброблюваного сигналу охоплює інтервал $[0,1]$ то графічна інтерпретація для складових формули Шеннона $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ матиме вигляд, показаний на рис. 1.

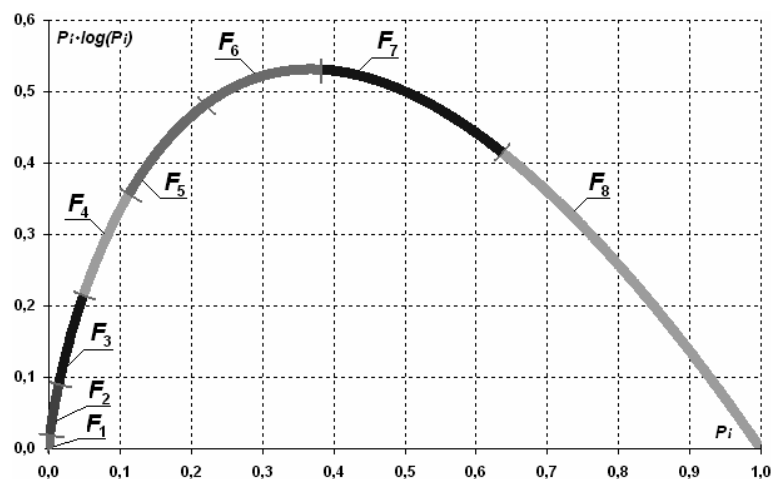


Рис. 1. Залежність $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ від зміни $p(r_i)$ з розділенням на вісім фрагментів з пропорційним розподілом для розрахунку

При розділенні усього діапазону можливих значень на чотири фрагменти абсолютна похибка обчислення не перевищує значення 0.0035, у випадку розділення на вісім фрагментів – 0.000012, що фактично на кілька порядків менше за СКВ оцінок ентропії.

Проте доцільно зазначити, що розподіл значень випадкового сигналу S_i з керованою ентропією відповідає нормальному, що, своєю чергою, істотно обмежує можливі ймовірності появи його станів. У цьому випадку необхідно проаналізувати ймовірності станів сигналу з погляду розподілу показаної на рис. 1 кривої за обчислювальними навантаженням, що дасть змогу ефективно провести подальшу оптимізацію алгоритму, зменшити похибку і обчислювальне навантаження.

На основі моделювання у чисельному експерименті, в ході якого формувалася випадковий широкопasmовий сигнал в частотному діапазоні 0...24 кГц, максимальна пікова амплітуда –3.63 Дб, потужність сигналу (RMS Power) –18.06 Дб проведено дослідження розподілу кількості значень ймовірностей станів сигналу відрізка [0,1]. Аналоговий сигнал опрацьовувався 16-розрядним АЦП, який має діапазон можливих значень S_i від –32768 до 32767.

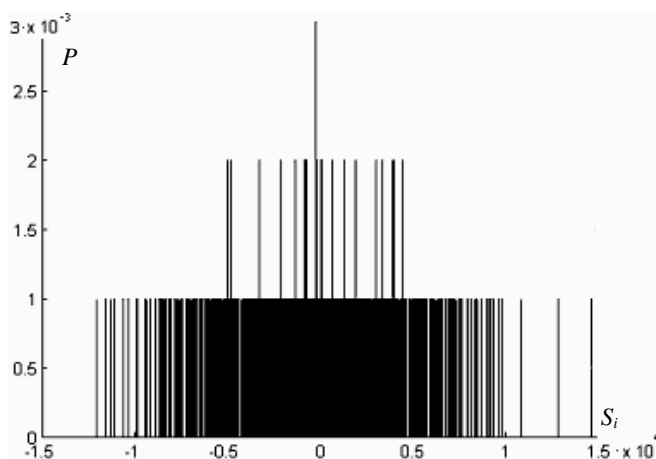


Рис. 2. Апертура ймовірностей появи цифрового випадкового сигналу S_i з керованою ентропією для змодельованої тестової вибірки

Визначення апертури оцінок ентропії випадкового сигналу, яку показано на рис. 2, проведено шляхом багаторазових розрахунків для різних розмірів вибірок на основі модельованих тестових вибірок для 8-, 12- та 16-розрядних АЦП, узагальнені результати такого дослідження подано в табл. 1.

Таблиця 1

Максимальна ймовірність появи статистичних оцінок сигналу P_{\max} залежності від розміру вибірки

Розмір вибірки (n відліків)	P_{\max}
100	0,010000
400	0,005000
800	0,002500
1000	0,003000
2000	0,001500
4000	0,001000
8000	0,000625

Як бачимо з наведених у табл. 1 даних, максимальна кількість значень ймовірнісних оцінок зосереджена у діапазоні від 0 до 0.01, що дає змогу провести оптимізацію з врахуванням такої особливості. Отже, доцільно розділити згаданий діапазон на більшу кількість фрагментів, щоб зменшити похибку розрахунку, а для діапазону вод 0.01 до 1 – обмежитись одним чи двома фрагментами, дасть змогу зменшити обчислювальні затрати і частково погіршить точність обчислення. Результати запропонованого аналізу для фрагментів кривої, що описано сплайнами п'ятого степеня показано на рис. 3.

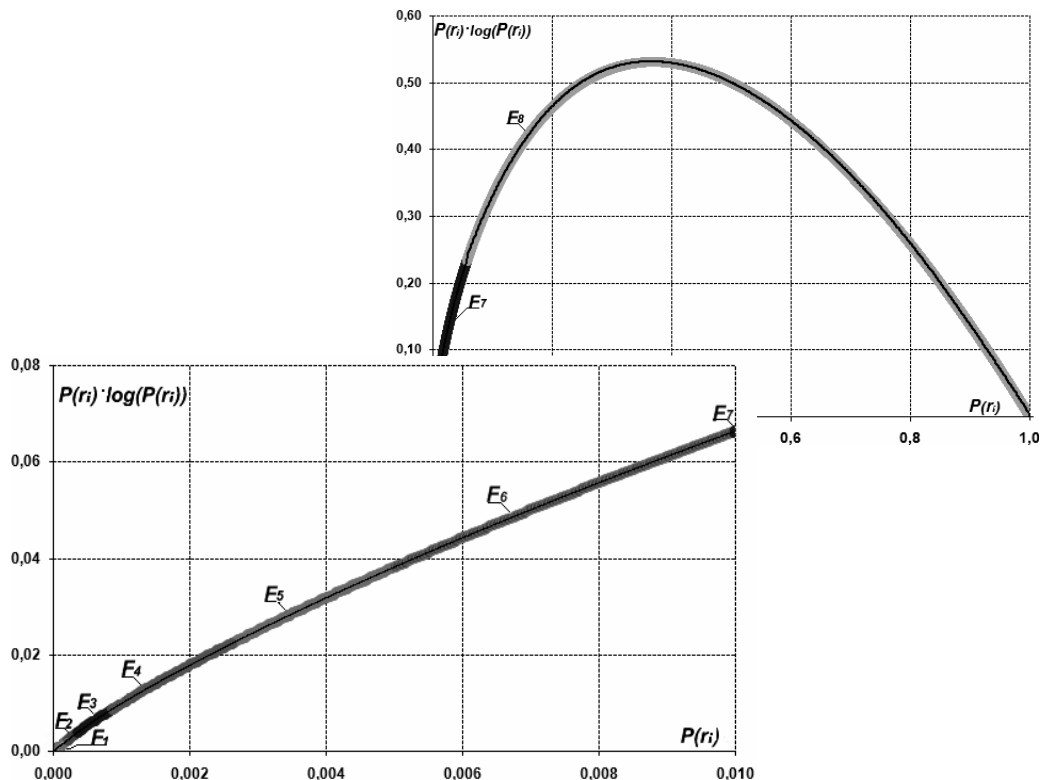


Рис. 3. Залежність $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ від зміни $p(r_i)$ з розділенням на вісім фрагментів з непропорційним розподілом для розрахунку

У результаті регресійного аналізу вищенаведених фрагментів кривої на відрізку [0,1] отримано систему поліномів п'ятого степеня, яка дає змогу з прийнятною точністю замінити логарифмічну функцію під час обчислення ентропії за формулою К. Шеннона:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.0000 \leq P_i \leq 0.00020; \quad F_1(P_i) \\ 0.00020 < P_i \leq 0.00035; \quad F_2(P_i) \\ 0.00035 < P_i \leq 0.00085; \quad F_3(P_i) \\ 0.00085 < P_i \leq 0.0026; \quad F_4(P_i) \\ 0.0026 < P_i \leq 0.005; \quad F_5(P_i) \\ 0.005 < P_i \leq 0.01; \quad F_6(P_i) \\ 0.01 < P_i \leq 0.05610; \quad F_7(P_i) \\ 0.05610 < P_i \leq 1.0000; \quad F_8(P_i) \end{array} \right.$$

де $F_1(P_i) = -326816663777.454 \cdot P_i^4 + 181052498.989003 \cdot P_i^3 - 41438.58323218 \cdot P_i^2 + 15.94786238 \cdot P_i$;

$F_2(P_i) = 3261275.68450195 \cdot P_i^3 - 5350.89731789 \cdot P_i^2 + 12.58863116 \cdot P_i + 0.00012776$;

$F_3(P_i) = -622190231.073303 \cdot P_i^4 + 2209621.96893 \cdot P_i^3 - 3834.0908884 \cdot P_i^2 + 12.01139405 \cdot P_i + 0.00019844$;

$F_4(P_i) = 1022628888.8437 \cdot P_i^5 - 11572055274743 \cdot P_i^4 + 574173.2832105 \cdot P_i^3 - 1847.2250821 \cdot P_i^2 + 10.90713766 \cdot P_i + 0.00043712$

$F_5(P_i) = 375580420.484375 \cdot P_i^5 - 458577.24267932 \cdot P_i^4 + 106167.5843105 \cdot P_i^3 - 786.66928089 \cdot P_i^2 + 9.66107613 \cdot P_i + 0.00104762$

$F_6(P_i) = 24954004572998 \cdot P_i^5 - 123958976652756 \cdot P_i^4 + 2741930758634 \cdot P_i^3 - 399.98635484 \cdot P_i^2 + 8.68601799 \cdot P_i + 0.00205824$

$$F_7(P_i) = 95008.72219849 \cdot P_i^5 - 20277.68158951 \cdot P_i^4 + 1853.52198732 \cdot P_i^3 - 106.7582297 \cdot P_i^2 + 6.82137252 \cdot P_i + 0.00727315$$

$$F_8(P_i) = 2.26608949 P_i^5 - 7.50398181 P_i^4 + 10.21967354 P_i^3 - 8.27329188 P_i^2 + 3.2106221 P_i + 0.08288793$$

Результати оцінок абсолютної похибки Δ [3], що виникає під час обчислення оцінок ентропії згідно з формулою Шеннона та на основі запропонованої системи рівнянь, показано на рис. 4.

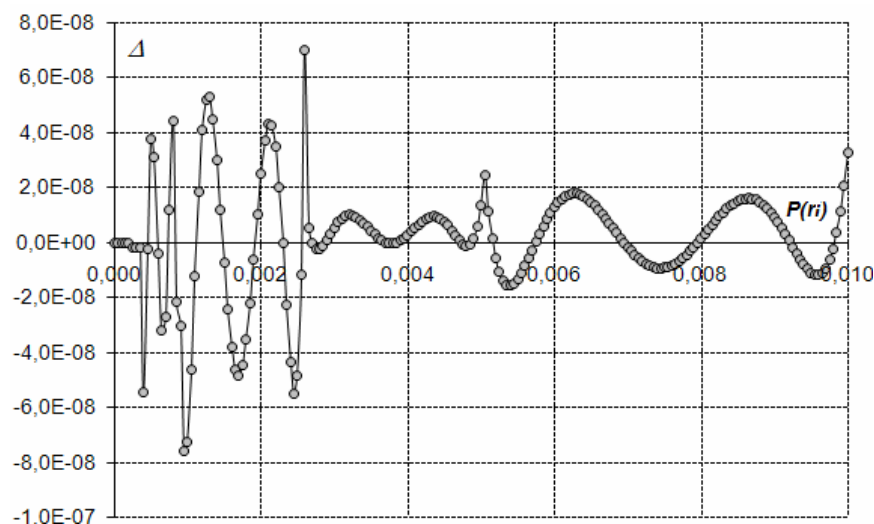


Рис. 4. Абсолютна похибка розрахунку ентропії за отриманою системою поліномів

Як бачимо, отриманий аналітичний опис дає змогу забезпечити абсолютну похибку обчислення фактично на чотири порядки меншу по відношенню до флуктуації, що спостерігається в околі усередненого значення оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак. Абсолютна похибка в діапазоні від 0.1 до 1 становить не менше двох знаків після коми.

Загальновідомо, що основний чинник, від якого залежить ймовірність помилок у цифровій системі обміну даними і який доцільно обрати як критерій якості роботи такої системи, визначається за таким виразом [1]:

$$R = \frac{M_{x_1} - M_{x_2}}{2 \cdot \max(S_1, S_2)},$$

де M_{x_1}, M_{x_2} – математичне сподівання сигнальних компонент “0” та “1”; S_1, S_2 – значення середньоквадратичного відхилення відповідних сигнальних компонент.

Застосувавши для оцінки адекватності розрахунку імовірнісних оцінок ентропії формулу гауссового інтеграла помилок [1], проведено дослідження зміни коефіцієнта R від розміру вибірки для розрахунку ентропії за Шенноном та за запропонованою системою степеневих функцій (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінки ентропії залежно від розміру вибірки розраховані за формулою Шеннона (критерій – R) і за степеневими функціями (критерій – R_1) для 8, 12, 16-ти розрядних АЦП

Розмір вибірки (відліків)	R , для 8-ми бітних АЦП	R_1 , для 8-ми бітних АЦП	R , для 12-ти бітних АЦП	R_1 , для 12-ти бітних АЦП	R , для 16-ти бітних АЦП	R_1 , для 16-ти бітних АЦП
1	2	3	4	5	6	7
50	0,6281	0,6285	0,0170	0,0170	0,0499	0,0499
75	0,9960	0,9993	0,2363	0,2370	0,0682	0,0682

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
100	1,1410	1,1434	0,1988	0,1988	0,0741	0,0741
200	2,3029	2,3028	0,6529	0,6529	0,2279	0,2279
400	4,1662	4,1663	1,3887	1,3887	0,3732	0,3732
800	6,3283	6,3290	2,2537	2,2537	0,8598	0,8598
1000	7,2497	7,2497	2,9754	2,9754	1,1599	1,1599
1500	8,7559	8,7560	4,7140	4,7141	1,6762	1,6762
2000	10,3306	10,3323	6,2151	6,2151	2,2194	2,2194
2500	11,7753	11,7671	7,5835	7,5834	2,9059	2,9059
3000	13,2387	13,2389	8,1356	8,1356	3,0021	3,0021
3500	14,0096	14,0115	10,2322	10,2323	3,8453	3,8454
4000	15,1514	15,1543	10,9104	10,9106	4,6384	4,6384

Отже, запропонований підхід дає змогу фактично забезпечити майже ідентичні результати розрахунку, що, своєю чергою, не буде приводити до зростання похибки детектування сигналів цифровими засобами опрацювання, реалізованими на основі системи степеневих функцій п'ятого степеня.

Крім того, доцільно відмітити, що використання аналого-цифрових перетворювачів різної розрядності до одного і того самого аналогового сигналу (незмінна потужність, тривалість та частотний спектр) приводить до істотної відмінності критерію порівняння R , тобто граничні значення ентропійних оцінок отримуються за меншої розрядності.

Графічне подання порівняння залежності R -критерію функції гауссового інтеграла помилок від збільшення розміру вибірки n для розрахунку оцінок ентропії випадкових сигналів з нормальним розподілом ймовірностей появи станів згідно з запропонованим спрощенням у разі використання 8-розрядного перетворювача показано на рис. 5.

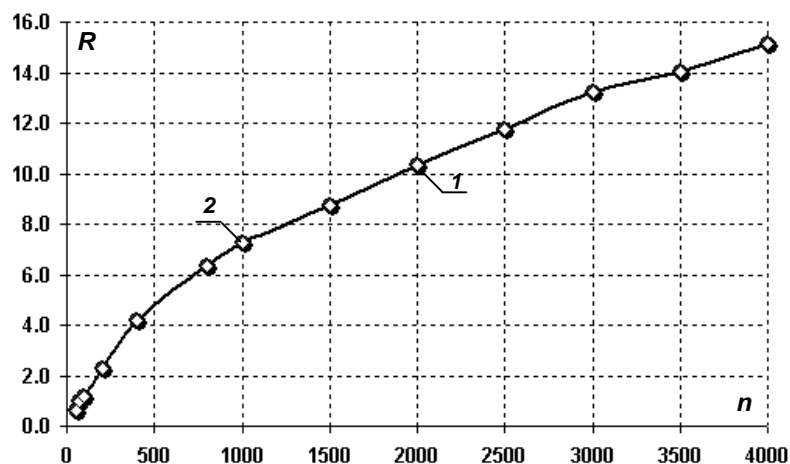


Рис. 5. Зміна R -критерію функції гауссового інтеграла помилок за збільшення розміру вибірки n для: 1 – оцінок ентропії, розрахованих за формулою Шеннона; 2 – за степеневими функціями

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлена наявність залежності критерію функції гауссового інтеграла помилок не тільки від розміру вибірки, але і від розрядності АЦП. Крім того, запропоноване спрощення аналітичного підходу до обчислення оцінок ентропії

випадкових сигналів дає змогу відмовитись від застосування розкладу в ряд Тейлора, що потребує значних обчислювальних ресурсів, істотно спростити апаратне забезпечення опрацювання каналного рівня і, як наслідок, здешевити комунікаційні засоби автоматизованих систем.

Такий підхід до реалізації цифрових компонентів систем автоматизованого контролю, сигналізації чи керування потребує подальшого дослідження та вдосконалення цифрових засобів опрацювання сигналів з керованою ентропією з подальшим розробленням відповідної алгоритмічної, програмної та апаратної реалізації.

1. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.* – 2-е изд., испр.: пер с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 1004 с. 2. Прокис Дж. *Цифровая связь / пер. с англ.; Под ред. Д.Д. Кловского.* – М.: Радио и связь, 2000. – 598 с. 3. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) Н04В 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. 4. Пат. 92915 Україна, МПК(2006) Н04В 1/69. *Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінними імовірнісними характеристиками / С. І. Мельничук, М. І. Козленко (Україна).* – заявка № а 2008 01274; заявл. 01.02.2008; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. 5. Мельничук С.І. *Теорія ентропійних методів маніпуляції сигналів: Тези доповідей проблемно-наукової міжгалузевої конференції: Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання (ПНМК-2009).* – Бучач: Інститут менеджменту і аудиту, 2009. – С. 6. 6. Козленко М.І., Мельничук С.І. *Дослідження завадостійкості способу передавання та приймання інформації, зокрема, способів формування та обробки широкосмугових сигналів // Електроніка та зв’язок.* – 2007. – № 2(37). 7. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. *Теорія інформації кодування: підручник.* – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.

УДК 681.5

Ю.В. ЧОВНЮК^{1,2}, М.Г. ДІКТЕРУК², К.І. ПОЧКА²¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ),² Київський національний університет будівництва і архітектури

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МОЛЕКУЛЯРНИХ НАНОМАШИН І НАНОРОБОТОТЕХНІКИ

© Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г., Почка К.І., 2011

Встановлено основні особливості динамічної поведінки молекулярних наномашин і наноробототехніки, що покладені в основу їх автоматизованого проектування.

Key features of the dynamic behavior of the molecular nanomachines and nanorobotic science taken as a basis for their automated design were defined.

Постановка проблеми. В основу функціонування молекулярних наномашин (МН) та нанороботів (НР) покладено живу матерія. Тому фізичні основи функціонування живої матерії повинні бути предметом ретельного дослідження тих учених, котрі вивчають особливості динамічної поведінки МН та НР.