УДК 621.391

С. А. Лелеко, *асистент кафедри радіотехніки та інформаційно-телекомунікаційних систем,*
e-mail: Leleko@i.ua
Ю. Г. Лега, *д.т.н., професор кафедри радіотехніки та інформаційно-телекомунікаційних систем,*
e-mail: radiotex@ukr.net
В. В. Палагін, *д.т.н., професор кафедри радіотехніки та інформаційно-телекомунікаційних систем*
e-mail: palahin@yahoo.com
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПОЛІНОМІАЛЬНІ ВИЯВЛЯЧІ РАДІОСИГНАЛІВ З ФЛУКТУАЦІЄЮ АМПЛІТУДИ, ОПТИМАЛЬНІ ЗА МОМЕНТНИМ КРИТЕРІЄМ ЯКОСТІ ТИПУ НЕЙМАНА-ПІРСОНА

В роботі проведено розробку алгоритму виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди на тлі асиметрично-ексцесних негаусівських завад на основі адаптованого моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез типу Неймана-Пірсона, моментно-кумулянтного опису випадкових величин і нелінійних стохастичних розв'язувальних правил. Знайдено нелінійні розв'язувальні правила для степенів стохастичного полінома $S = 1...3$, побудовано структурну схему алгоритму реалізації цих розв'язувальних правил та досліджено їх ефективність.

Ключові слова: *негаусівські завади, виявлення сигналів, моментний критерій якості, радіосигнал з флуктуацією амплітуди.*

Вступ. Задача виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди є актуальною для багатьох технічних систем, зокрема в радіолокації, геофізиці, супутниковому зв'язку, в системах неруйнівного контролю та діагностичних системах [1, 2]. Флуктуаційні процеси є досить поширеним результатом взаємодії сигналів, наприклад з зарядженими частинками іоносфери, під час розповсюдження вздовж хвилястих поверхонь, при багатопроменевому розповсюдженні сигналів тощо.

Як відомо, для виявлення сигналів застосовують добре розроблену теорію перевірки статистичних гіпотез, що ґрунтується на порівнянні відношення правдоподібності з порогом, який обирається відповідно до обраних ймовірнісних критеріїв якості [1]. Як апріорна інформація використовуються відомості про закон розподілу випадкової величини. Таким розподілом часто виступає нормальний або гаусівський закон розподілу, що пояснюється зручністю і простотою математичної моделі. На практиці ж виникає інтерес і необхідність перевірки статистичних гіпотез в припущенні про негаусівський або близький до гаусівського закон розподілу випадкових величин, на фоні яких спостерігаються сигнали [3–6]. В такому випадку застосування ймовірнісних критеріїв якості викликає ряд труднощів, пов'язаних як зі знаходженням функції розподілу випадкових величин, так і алгоритмічною реалізацією отриманих розв'язувальних правил (РП) [7–10]. Альтернативою цьому підходу є застосування часткового опису випадкових величин за допомогою моментів і кумулянтів вищих порядків [11, 12] та використання нового моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез для синтезу поліноміальних РП [13].

Мета роботи полягає у створенні та реалізації моделей процесів виявлення радіосигналів на фоні негаусових завад на основі моментно-кумулянтного представлення випадкових величин з формуванням моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез типу Неймана-Пірсона та поліноміальних розв'язувальних правил для забезпечення побудови ефективних методів функціонування систем прийому та обробки даних.

Постановка задачі. Нехай спостерігається випадкова величина $\xi(t)$ у вигляді адитивної суміші корисного сигналу $S(t)$ та асиметрично-ексцесної стаціонарної негаусівської завади $\eta(t)$, яка характеризується відмінними від нуля коефіцієнтами асиметрії γ_3 та ексцесу γ_4 з нульовим математичним очікуванням та дисперсією χ_2 і має вигляд

$$\xi(t)=S(t)+\eta(t),$$

де $S(t)=(a_0+\Delta(t))\,r(t)\cos(\omega_0 t+\varphi_0)$ – радіосигнал з амплітудою a_0, обвідною $r(t)$, частотою ω_0 і фазою φ_0, $\Delta(t)$ – негаусівська стаціонарна завада, що характеризує флуктуацію амплітуди радіосигналу з дисперсією μ_2 та кумулянтими коефіцієнтами β_3, β_4.

Нехай з випадкового сигналу $\xi(t)$ проводиться вибірка незалежних величин $\mathbf{X}=\{x_1,x_2,...x_n\}$ об'ємом n. За результатами обробки необхідно винести рішення про прийняття гіпотези H_1, коли приймається корисний сигнал виду $\xi_v=S_v+\eta$, $S_v=(a_0+\Delta_v)\,r_v\cos(\omega_0 v\Delta+\varphi_0)$, $v=\overline{1,n}$, або гіпотези H_0, коли приймається лише завада – $\xi_v=\eta$.

Представимо відношення правдоподібності як стохастичний поліном степені *S*, оптимальні коефіцієнти якого знаходяться за моментними критеріями якості перевірки статистичних гіпотез. Адаптуємо моментний критерій якості верхньої границі ймовірностей помилок [14] так, щоб мінімізувати ймовірність помилки другого роду β РП при фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду α, і назвемо цей критерій типу Неймана-Пірсона [4, 8]. Для неоднаково розподілених вибіркових значень РП представиться у вигляді

$$\Lambda_{ns}(\mathbf{X})=\sum_{i=1}^{s}\sum_{v=1}^{n}k_{iv}x_v^i+k_0 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} 0, \qquad (1)$$

де невідомі коефіцієнти визначаються як

$$k_0=E_0C+(1-C)E_1, \qquad (2)$$

а k_{iv} знаходяться з мінімуму критерію якості $KuP(G,E)$

$$KuP(G,E)=\frac{\dfrac{G_0}{(1-C)^2}+\dfrac{G_1}{C^2}}{[E_1-E_0]^2}, \qquad (3)$$

де E_0, E_1, G_0, G_1 – математичне очікування і дисперсія РП (1) при гіпотезах H_0 та H_1 відповідно, C – нормувальний коефіцієнт, що визначає ймовірність помилки першого роду α РП.

Математичні очікування E_0, E_1 та дисперсії G_0, G_1 при гіпотезі і альтернативі РП (1) запишуться у вигляді

$$E_0=\sum_{i=1}^{s}\sum_{v=1}^{n}k_{iv}u_{iv},\quad E_1=\sum_{i=1}^{s}\sum_{v=1}^{n}k_{iv}m_{iv},$$

$$G_0=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s}\sum_{v=1}^{n}k_{iv}k_{iv}F_{(i,j)_v}(H_0),$$

$$G_1=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s}\sum_{v=1}^{n}k_{iv}k_{iv}F_{(i,j)_v}(H_1),$$

де коефіцієнти k_{iv}, які мінімізують (3), знаходяться з рішення системи рівнянь:

$$\sum_{j=1}^{s}k_{jv}\left[\frac{F_{(i,j)v}(H_0)}{(1-C)^2}+\frac{F_{(i,j)v}(H_1)}{C^2}\right]=m_{iv}-u_{iv}, \qquad (4)$$
$$i=\overline{1,S},$$

де $F_{(i,j)v}(H_0)$, $F_{(i,j)v}(H_1)$ – корелянти порядку (i,j) випадкової величини ξ при гіпотезі H_0 та H_1 відповідно для *v*-го вибіркового значення.

Нормувальний коефіцієнт *C* знаходиться з умови заданої ймовірності помилки першого роду:

$$\frac{G_0(C)}{(1-C)^2[E_1(C)-E_0(C)]^2}=\alpha. \qquad (5)$$

Показано, що мінімізована ймовірність помилки другого роду РП визначиться як

$$\beta=\frac{G_1}{C^2[E_1-E_0]^2} \qquad (6)$$

Для класичного ймовірнісного критерію Неймана-Пірсона справедливе відношення [1]:

$$k_0=E_0+\chi_2\,x_\alpha/\sqrt{n},$$

де x_α – процентна точка гаусівського розподілу (квантіль), яка визначає задану величину ймовірності помилки першого роду. Величини k_0, E_0 мають такий же фізичний зміст, як і для моментного критерію Неймана-Пірсона, а саме: порога прийняття рішення і математичного сподівання РП. Поріг k_0 обирається таким чином, щоб забезпечити фіксацію ймовірності помилки першого роду α.

При цьому квантіль правильного виявлення визначається як

$$x_{1-\beta} = x_\alpha - \frac{E_1 - E_0}{\chi_2}\sqrt{n}\,. \qquad (7)$$

Зі співвідношення (7) видно, що для ймовірнісного критерію типу Неймана-Пірсона існує співвідношення між ймовірностями помилок α і β . З (7) випливає, що при $n \to \infty$ ймовірність помилок другого роду РП прямує до нуля $\beta \to 0$. Таким чином, співвідношення (7) при заданих α і β визначає мінімально можливу величину $(E_1 - E_0)/\chi_2\sqrt{n}$. Отже, при заданих α , β і відношенні сигнал-шум $q = a^2/\chi_2$ повинен існувати певний мінімальний об'єм вибірки для перевірки статистичних гіпотез, який знаходиться зі співвідношення

$$n \ge \frac{\chi_2 (x_{1-\beta} - x_\alpha)^2}{[E_1 - E_0]^2}.$$

Для оцінювання ефективності синтезованих РП використовується значення критерію $KuP(G,E)$. Чим менше його значення, тим менші ймовірності помилок другого роду при фіксованих значеннях α і тим ефективніші алгоритми обробки сигналів.

Синтез поліноміальних РП. Як апріорна інформація про випадкову величину $\xi(t)$ використовується моментно-кумулянтний опис. При розгляді нескінченної кількості моментів можна як завгодно близько наблизитися до повного опису $\xi(t)$. Очевидно, що на практиці такий опис неможливо реалізувати і тому обмежуються кінцевою кількістю моментів. В роботі представлений моментно-кумулянтний опис випадкових величин до шостого порядку, який при реалізації гіпотези H_0 матиме вигляд:

$$u_1 = 0,\; u_2 = \chi_2,\; u_3 = \gamma_3 \chi_2^{3/2},$$

$$u_4 = (3+\gamma_4)\chi_2^2,\; u_5 = 10\gamma_3 \chi_2^{5/2},$$

$$u_6 = (10\gamma_3^2 + 15\gamma_4 + 15)\chi_2^3,$$

де γ_3, γ_4 – коефіцієнти асиметрії та ексцесу відповідно, що характеризують негаусівську заваду η .

Початкові моменти випадкової величини при гіпотезі H_1 матимуть такий вигляд:

$$m_{1v} = e_v\sqrt{q}\sqrt{\chi_2},\;\; m_{2v} = \left(e_v^2(q+\text{з})+1\right)\chi_2,$$

$$m_{3v} = \chi_2^{3/2}(3e_v\sqrt{q} + \gamma_3 + e_v^3(3p\sqrt{q} + q^{3/2} + \beta_3 p^{3/2}),$$

$$m_{4v} = (3 + 6e_v^2(p+q) + 3e_v^4 p(p+3q) + q^2 e_v^4 + p^2 e_v^4 \beta_4 +$$
$$+ 4\sqrt{q}e_v\gamma_3 + \gamma_4)\chi_2^2 + 4\sqrt{q}e_v^4\beta_3\sqrt{\chi_2},$$

$$m_{5v} = \chi_2^{5/2}(10\gamma_3 + 10(p+q)e_v^2\gamma_3 + 5\sqrt{q}e_v(3+\gamma_4) +$$
$$+10e_v^3\chi\sqrt{q}(3p+q) + \beta_3 p + e_v^5(\sqrt{q}(15p^2 + 10pq +$$
$$q^2 + 5p^2\beta_4) + 10p(p+q)\beta_3)$$

$$m_{6v} = \chi_2^3(15 + 45(p^2e_v^2 + q + 2pqe_v^2)e_v^2) + 15e_v^4(q^2 +$$
$$+ p^3e_v^2 + pq^2e_v^2) + 45p^2qe_v^6 + q^3e_v^6 + 10p^3e_v^6\beta_3^2 +$$
$$+15p^2e_v^4(1+(p+q)e_v^2)\beta_4 + 60\sqrt{q}e_v\gamma_3 + 20q^{3/2}e_v^3\gamma_3 +$$
$$10\gamma_3^2 + 20p^{3/2}e_v^3\beta_3(\sqrt{q}e_v(3 + e_v^2(3p+q) + \gamma_3) +$$
$$+15\gamma_4(1 + pe_v^2 + qe_v^2))$$

де $e_v = r_v\cos(\omega_0 v\Delta + \varphi_0)$,

$q = \dfrac{{a_0}^2}{\chi_2}$ – відношення сигнал-шум по потужності, $p = \dfrac{\mu_2}{\chi_2}$ – відношення потужності флуктуаційної завади амплітуди сигналу Δ до потужності адитивної завади η , β_3, β_4 – кумулянтні коефіцієнти флуктуаційної завади, що характеризують її негаусовість.

Центровані корелянти $F_{(i,j)v}(H_0)$, $F_{(i,j)v}(H_1)$ визначаються згідно з виразами:

$$F_{(i,j)v}(H_0) = u_{(i+j)v} - u_{iv}u_{jv},$$

$$F_{(i,j)v}(H_1) = m_{(i+j)v} - m_{iv}m_{jv}.$$

При степені полінома $S=1$ з (1) отримаємо лінійне РП у вигляді

$$\Lambda(\mathbf{X})_{1n} = k_0 + \sum_{v=1}^{n} k_{1v} x_v \underset{\mathrm{H}_0}{\overset{\mathrm{H}_1}{\gtrless}} 0.$$

Тоді невідомі коефіцієнти k_{1v} РП отримуються з (4) і мають вид

$$k_{1v} = \frac{q^{0.5} e_v}{\chi_2^{0.5}\left(\frac{1}{(1-C)^2} + \frac{1+pe_v^2}{C^2}\right)},$$

а поріг РП визначається з (2):

$$k_0 = \frac{(1-C) q^{0.5} e_v}{\chi_2^{0.5}\left(\frac{1}{(1-C)^2} + \frac{1+pe_v^2}{C^2}\right)}.$$

Невідомий коефіцієнт C знаходиться з виразу (5) при фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду α.

Відзначимо, що отримане лінійне РП при відсутності флуктуацій амплітуди ($p=0$) та значенні коефіцієнта $C=0.5$ збігається з оптимальним лінійним РП, отриманим для гаусівської моделі завади при застосуванні критерію ідеального спостерігача.

Лінійні РП не враховують негаусівський розподіл завад, тому що використовують початкові моменти тільки до другого порядку. Тому збільшимо степінь полінома. Для побудови нелінійного РП при степені полінома $S=2$ постановка задачі буде збігатися з постановкою задачі для випадку $S=1$. Використовуючи в загальному вигляді РП (1), отримаємо

$$\Lambda(\mathbf{X})_{2n} = \sum_{v=1}^{n} k_{1v} x_v + \sum_{v=1}^{n} k_{2v_v} x_v^2 + k_0 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} 0. \quad (8)$$

Невідомі коефіцієнти РП (8) знаходяться з системи рівнянь (4) та виразу (2) при знаходженні нормувального коефіцієнта C з виразу (5). Побудова РП при степені полінома $S=3$ буде аналогічною, де використовується апріорна інформація у вигляді моментно-кумулянтного опису до $2S$ порядку.

На рис. 1 зображено структурну схему реалізації РП при степені стохастичного полінома $S=1...3$. Структурна схема складається з суматорів з накопиченням вибіркових значень x_v, блоків множення на знайдені коефіцієнти k_{iv}, суматора та порогового пристрою (ПП). Результати операцій над вхідними вибірковими значеннями порівнюються з порогом у пристрої порівняння та виноситься рішення про реалізацію відповідної гіпотези.

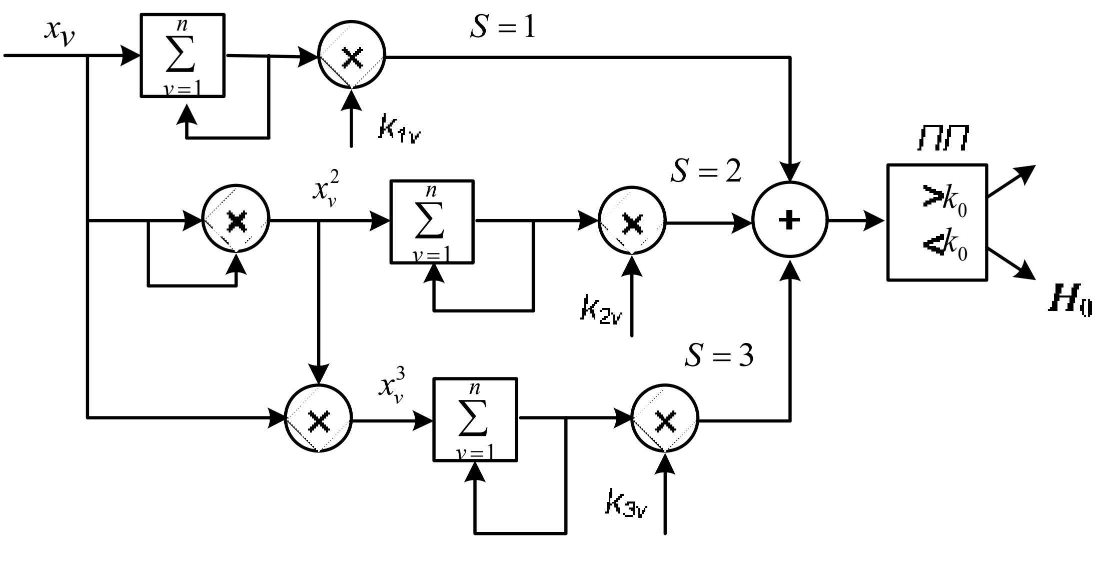

Рис. 1. Структурна схема виявлення радіосигналу з застосуванням поліноміальних РП при степені полінома *S* = 1…3

Аналіз отриманих результатів. Проведено дослідження властивостей синтезованих нелінійних РП. Їх ефективність оцінюється відношенням значення критеріїв якості KuP_S / KuP_1.

На рис. 2 отримано поверхню, що показує зміну значення відношення критеріїв KuP_2 / KuP_1 залежно від кумулянтних коефіцієнтів асиметрії та ексцесу γ_3, γ_4 відповідно. З характеру зміни поверхні видно, що зі зростанням значення кумулянтних коефіцієнтів відношення KuP_2 / KuP_1 зменшується, що, в свою чергу, свідчить про те, що синтезовані нелінійні РП характеризуються меншими значеннями ймовірності помилок порівняно з лінійним РП при степені полінома $S = 1$.

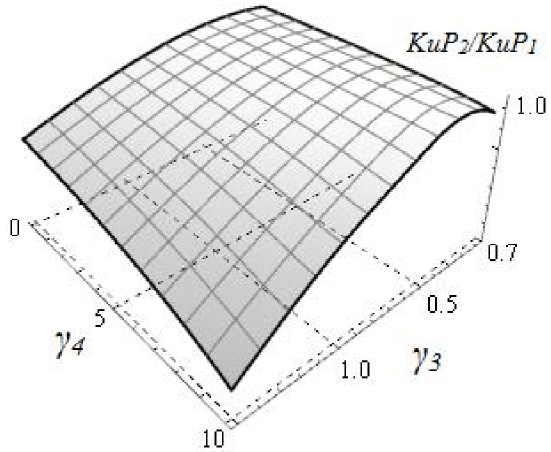

Рис. 2. Залежність ефективності нелінійного РП (при S = 2) виявлення радіосигналу відносно лінійного (S = 1) від коефіцієнтів асиметрії γ_3 та ексцесу γ_4. при $\alpha = 10^{-3}$, $n = 100$, $\beta_3 = 0.2, \beta_4 = 0.4$, $q = 1$

На рис. 3 та 4 зображено порівняння ефективності нелінійних РП $S = 2...3$ відносно лінійного РП при різних значеннях $\gamma_4, p, \beta_3, \beta_4$ та змінному коефіцієнті асиметрії γ_3. З графіків видно, що значення критеріїв KuP_2 та KuP_3 менші за значення KuP_1 залежно від параметрів сигналу і завади. Наприклад, при значенні $\gamma_3 = 0.75$ (рис. 3, а) значення критерію якості зменшується на 30 %, що свідчить про зменшення ймовірностей помилок нелінійного РП при степені полінома $S = 2$ порівняно з лінійним. Урахування параметрів негаусовості флуктуації β_3, β_4 також зменшують значення критеріїв якості KuP_2, KuP_3, що, в свою чергу, теж свідчить про покращення характеристик РП.

З графіків на рис. 4 видно, що при зростанні степені полінома РП до $S = 3$ також відбувається зменшення значення критерію KuP_3 порівняно з нелінійною обробкою РП при степені полінома $S = 2$. Так, при степені полінома РП $S = 3$ виграш становить 10 % порівняно з нелінійним РП при степені полінома $S = 2$ при однакових параметрах γ_3, γ_4, β_3, β_4.

Висновки. Розробка ефективних систем виявлення сигналів потребує вдосконалення та впровадження моделей і методів обробки сигналів, які ґрунтуються на альтернативному підході щодо опису випадкових процесів у вигляді моментно-кумулянтного представлення та моментних критеріїв якості перевірки статистичних гіпотез.

В роботі представлено новий метод виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди на фоні негаусівських завад з застосуванням стохастичних поліномів як розв'язувальних правил, оптимальних за моментним критерієм якості типу Неймана-Пірсона. Синтезовано нелінійні поліноміальні алгоритми виявлення сигналів та наведено їх якісні характеристики.

Показано, що врахування негаусівського розподілу завад у вигляді кумулянтних коефіцієнтів вищих порядків, а також негаусівського характеру флуктуації амплітуди радіосигналу дозволяє зменшити значення критерію KuP для нелінійних розв'язувальних правил порівняно з відомими результатами в припущенні гаусівських моделей завад, що приводить до підвищення ефективності систем виявлення сигналів.

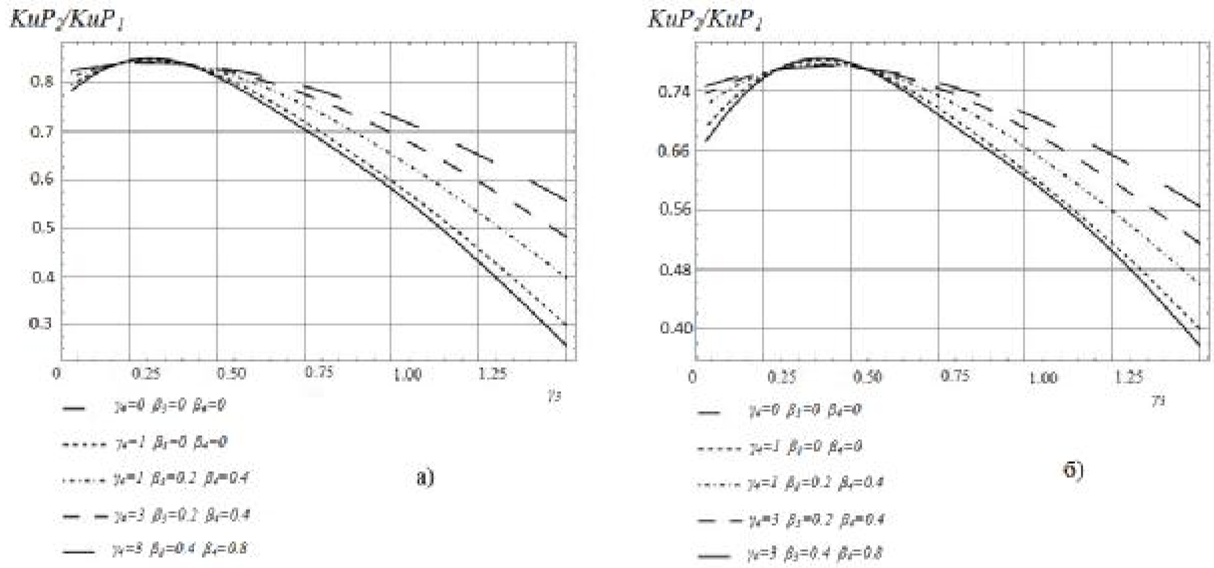

Рис. 3. Залежність ефективності нелінійного РП (при *S* = 2) виявлення радіосигналу відносно лінійного (S = 1) від коефіцієнта асиметрії γ_3 при $q = 1, n = 50, \alpha = 10^{-3}$ при: а) $p = 1$, б) $p = 2$

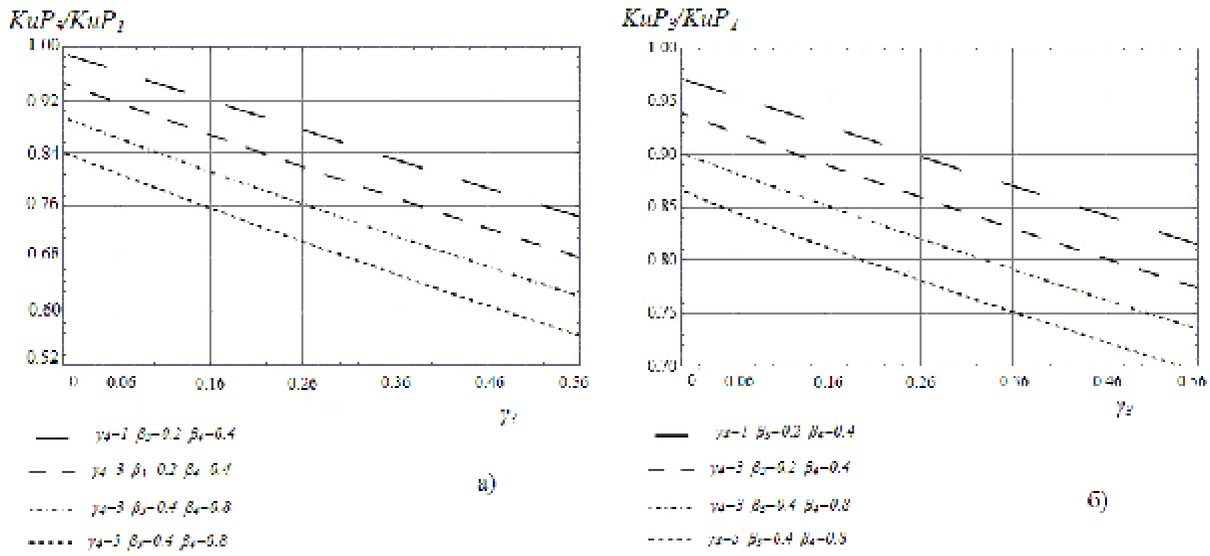

Рис 4. Залежність ефективності нелінійного РП (при *S* = 3) виявлення радіосигналу відносно лінійного (*S* = 1) від коефіцієнта асиметрії γ_3 при $q = 1, n = 50, \alpha = 10^{-3}$ при: а) $p = 1$, б) $p = 2$

Список літератури

1. Van Trees H. L. Detection estimation and modulation theory. Part I. Detection, estimation, and filtering theory / H. L. Van Trees, K. L. Bell, Z. TiTany. – [2nd ed.]. – John Wiley & Sons, 2013.
2. Primak, S. Stochastic methods and their applications to communications stochastic differential equations approach / S. Primak, V. Kontorovich, V Lyandres. – John Wiley & Sons, 2004.
3. Малахов А. Н. Кумулянтый анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований / А. Н. Малахов. – М. : Сов. радио, 1978. – 376 с.
4. Лега Ю. Г. Построение полиномиальных решающих правил по моментному критерию типа Неймана-Пирсона для проверки статистических гипотез / Ю. Г. Лега, В. В. Палагин, С. А. Лелеко // Електроніка та системи управління. – 2008. – № 4 (18). – С. 71–78.
5. Duana F. Non-gaussian noise benefits for coherent detection of narrow band weak signal / F. Duana, F. Chapeau-Blondeaub, D. Abbott // Physics Letters A. – 2014. – 378. – P. 1820–1824.
6. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы / Ю. П. Кунченко. – К. : Наукова думка, 2006. – 275 с.
7. Biglieri E. Linear-quadratic detectors for spectrum sensing / E. Biglieri, M. Lops // Journal of Communications and Networks. – 2014. – 16 (5). – P. 485–492.
8. Палагин В. В. Использование моментного критерия качества проверки статистических гипотез типа Неймана-Пирсона для построения решающих правил / В. В. Палагин, С. А. Лелеко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 72–77.
9. Denkovski D. HOS Based goodness-of-fit testing signal detection / D. Denkovski, V. Atanasovski, L. Gavrilovska // IEEE Communications Letters. – 2012. – Vol. 16 (3). – P. 310–313.
10. Kunchenko Yu. Polynomial parameter estimation of close to Gaussian random variables / Yu. Kunchenko. – Aachen : Shaker Verlag, 2002.
11. Palahin V. Joint signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization / V. Palahin, J. Juhár // Journal of Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 67, No. 3. – P. 217–221.
12. Palahina E. Signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise using higher order statistics / E. Palahina, V. Palahin // Radioelectronika 2016: 26th International conf. (19-20 April, Kosice, Slovak Republic). – 2016. – P. 262–267.
13. Modeling of joint signal detection and parameter estimation on background of non-Gaussian noise / [V. Palahin, O. Palahina, V. Filipov et al.] // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. – 2015. – Issue 14 (3).
14. Kunchenko Yu. A moment performance criterions of a decision-making for testing simple statistical hypothesis / Yu. Kunchenko // ISIT (Ulm, Germany). – 1997. –407 p.

References

1. Van Trees, H. L., Bell, K. L. and TiTany, Z. (2013) Detection estimation and modulation theory. 2nd ed., Part I. Detection, estimation, and filtering theory, John Wiley & Sons.
2. Primak, S., Kontorovich, V. and Lyandres, V. (2004) Stochastic methods and their applications to communications stochastic differential equations approach, John Wiley & Sons.
3. Malakhov, A. N. (1978) Cumulant analysis of non-Gaussian random processes and their transformations. Moscow: Sov. radio, 376 p. [in Russian].
4. Lega, Yu. G., Palagin, V. V. and Leleko, S. A. (2008) Construction of polynomial decision rules according to torque-type Neyman-Pearson criterion for statistical hypotheses testing. *Elektronika ta systemy upravlinnya*, No. 4 (18), pp. 71–78 [in Russian].
5. Duana, F., Chapeau-Blondeaub, F. and Abbott, D. (2014) Non-Gaussian noise benefits for coherent detection of narrow band weak signal. *Physics Letters A.*, 378, pp. 1820–1824 .
6. Kunchenko, Yu. P. (2006) Stochastic polynomials. Kyiv: Naukova dumka, 275 p. [in Russian].
7. Biglieri, E. and Lops, M. (2014) Linear–quadratic detectors for spectrum sensing. *Journal of Communications and Networks*, 16 (5), pp. 485–492.

8. Palagin, V. V. and Leleko, S. A. (2008) The use of torque criterion on the quality of testing of Neyman-Pearson type statistical hypotheses for constructing decision rules. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo Technologichnogo Universytetu*, No. 1, pp. 72–77 [in Russian].
9. Denkovski, D., Atanasovski, V. and Gavrilovska, L. (2012) HOS based goodness-of-fit testing signal detection. *IEEE Communications Letters,* vol. 16 (3), pp. 310–313.
10. Kunchenko, Yu. (2002) Polynomial parameter estimation of close to Gaussian random variables. Aachen: Shaker Verlag.
11. Palahin, V. and Juhár, J. (2016) Joint signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization. *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 67, No. 3, pp. 217–221.
12. Palahina, E. and Palahin, V. (2016) Signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise using higher order statistics. *Radioelectronika 2016: 26th International conf.* (19-20 April, Kosice, Slovak Republic), pp. 262–267.
13. Palahin, V., Palahina, O., Filipov, V. et al. (2015) Modeling of joint signal detection and parameter estimation on background of non-Gaussian noise. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 14 (3).
14. Kunchenko, Yu. (1997) A moment performance criterions of a decision-making for testing simple statistical hypothesis. *ISIT, Ulm, Germany*, 407 p.

S. A. Leleko, *lecturer of the department of radioengineering, information and telecommunication systems,*
e-mail: Leleko@i.ua
Yu. G. Lega, *Dr.Sc., professor of the department of radioengineering, information and telecommunication systems*
e-mail: radiotex@ukr.net
V. V. Palahin, *Dr.Sc., professor of the department of radioengineering, information and telecommunication systems*
e-mail: palahin@yahoo.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

POLYNOMIAL DETECTORS OF RADIOFREQUENCY SIGNALS WITH AMPLITUDE FLUCTUATIONS BY NEYMAN-PEARSON MOMENT QUALITY CRITERION

The complexity description of non-Gaussian processes in the theory of signal detection requires the use of a new approach. This approach is based on the use of moment-cumulant function of random processes and moment quality criterion for decision making. The adaptation of moment quality criterion of upper bounds of errors probability is proposed. The nonlinear algorithms of radiofrequency signal detection in non-Gaussian noise are presented. It is shown that taking into account of parameters of non-Gaussian noise in the form of cumulant coefficients of the third and higher orders, as well as the increase of the degree of polynomial decision rules (DR) allows to increase the probability of signal detection and reduce the probability of the second kind error. Generalized structure of polynomial decision rules for statistical hypothesis testing is offered.

The synthesis and analysis of the methods and algorithms of radiofrequency signal detection in non-Gaussian noise on the basis of moment-cumulant description of random variables, polynomial decision rules which are optimal by new moment quality criterion, such as Neyman-Pearson criterion, are the main objective of the paper. Such approach gives us the possibility to create the effective computer toolkit for the functioning of data receiving and processing systems.

The obtained results can be used to improve the accuracy of data processing in information-measuring, diagnostics, monitoring and control systems.

Keywords: *non-Gaussian noise, signal detection, moment quality criterion, radiosignal with amplitude fluctuation*

Рецензент С. А. Положаєнко, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет МОН України.