

П.Ю. Костенко, О.М. Чекунова, Н.М. Сидор, О.В. Моргун

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОД ХАОТИЧНОГО МАСКУВАННЯ ФАЗОМАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

Використання досягнень нелінійної динаміки для формування сигналів, які демонструють складну поведінку та мають високу ПІД-скритність, є актуальною проблемою для радіотехнічних систем передачі інформації. Відомі складні сигнали, які утворені маніпуляцією їх фазової структури, не можуть бути використані для прихованої передачі інформації тому, що легко виявляються у фазовому просторі бо мають у ньому структурований аттрактор. У роботі авторами запропоновано метод маскування детермінованих сигналів за допомогою деструкції їх аттракторів. До фазоманіпульованого сигналу додається уявна компонента, що сформована хаотичною послідовністю. У такого сигналу, представленого у вигляді, подібному до вузькосмугового процесу, руйнується аттрактор на фазовій площині, тобто він не демонструє ознак структурованості. В якості хаотичної послідовності використовується хаотична послідовність Чебишева.

**Ключові слова:** ПІД-скритність, хаотичні послідовності, аттрактор, поліном Чебишева, фазовий портрет, MPSK-сигнал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Однією з характерних рис сучасних і перспективних радіотехнічних систем прихованої передачі інформації (РТС ПІ) є використання складних широкосмугових сигналів (ШСС) з різними типами фазової модуляції або маніпуляції [1–4]. Сучасний розвиток радіотехнічних систем передачі конфіденційної інформації нового покоління заснований на використанні не тільки ШСС, але й хаотичних процесів і послідовностей із властивостями близькими до білого шуму [3]. Володіючи ознаками випадкових процесів (широкий спектр) вони мають головну властивість, що відрізняє їх від звичайних шумів: проявляють експонентну чутливість до початкових умов і керуючим параметрам динамічної системи й, як наслідок, мають обмежену передбачуваність.

Більшість способів використання хаотичних процесів для прихованої передачі інформації засновані на їхньому підмішуванні до інформаційного сигналу (маскування) або модуляції керуючих параметрів хаотичного генератора інформаційним сигналом. Їхня скритність  $P_{скр} = 1 - P_p$  (здатність протистояти дії радіотехнічної розвідки [1–2] із заданою ймовірністю розвідки  $P_p$  засобами несанкціонованого доступу) є важливою характеристикою РТС ПІ, які функціонують в умовах радіоелектронного придушення (РЕП) і в умовах несанкціонованого доступу (НСД) до інформації. Радіомоніторинг таких сигналів представляється актуальним завданням.

У свою чергу радіотехнічна розвідка припускає послідовний розв'язок трьох основних завдань із

ймовірністю  $P_p = P_{вияв} P_{стр} P_{инф}$ : виявлення факту роботи РТС ПІ (виявлення сигналу з ймовірністю  $P_{обн}$ ); визначення структури виявленого сигналу і його основних параметрів з ймовірністю  $P_{стр}$ , а також розкриття інформації, що втримується в сигналі з ймовірністю  $P_{инф}$ . Співмножники у виразі  $P_p = P_{вияв} P_{стр} P_{инф}$  враховують відповідно енергетичну, структурну й інформаційну скритність сигналу, яка реалізується криптографічними методами.

Величина  $P_{вияв}$  визначає умовну ймовірність виявлення сигналу в присутності шуму на вході приймача за умови, що цей сигнал дійсно є. Важливо відзначити, що виявлений процес може бути як штучного походження, що містить корисну інформацію (сигналом), так і природного походження (шумом), який не становить інтерес для систем РЕП.

Більшість широкосмугових сигналів (ШСС) має достатню енергетичну, але незадовільну [1–2] структурну скритність, обчислену в рамках потенційної й алгоритмічної складності, яка залежить від конкретного виду й способу їх побудови.

Для хаотичних сигналів завдання радіорозвідки суттєво ускладняється в порівнянні з використанням ШСС. Після виявлення процесу енергетичним приймачем необхідно ухвалити рішення щодо того, що виявлений не шум природного походження, а хаотичний сигнал, який маскується під шум і становить інтерес для систем РЕП і НСД. Оскільки в сучасних РТС ПІ спостерігається тенденція до використання сигналів, властивості яких близькі до властивостей білого шуму, важливим є завдання перевірки гіпотези про приналежність виявленого процесу до класу хаотичних сигналів.

Відмінності в структурі атракторів різних сигналів дозволяє проводити їхню класифікацію. У найпростішому випадку можна скористатися розподілом усіх процесів по інформативності на три класи: регулярні (наприклад, ШСС), хаотичні (псевдовипадкові) і випадкові. Для класифікації використовуються різні методи [5]. Тут для класифікації скористаємося одним з методів нелінійної динаміки, який дозволяє занурювати процес у псевдофазовий простір, у якому точки утворюють безліч, що називають атрактором. Важливо відзначити, що структури атракторів процесів згаданих класів мають істотні відмінності [5], які не виявляються при використанні традиційних методів кореляційного й спектрального аналізу. Виявлення відмінностей у структурі атракторів регулярних, хаотичних і випадкових процесів робить доцільним доповнити відомі критерії скритності (алгоритмічну й потенційну), так званою IID-скритністю й чисельною її мірою, що визначає близькість атрактора досліджуваного сигналу до атрактора IID (Independent and Identically Distributed) часового ряду білого шуму.

Випадковий процес із незалежними значеннями (білий шум) демонструє однорідність безлічі точок атрактора й відсутність, або їх структурованість (періодичність або інший вид упорядкованості й закономірності). Як наслідок, випадковий процес може бути прийнятий за еталон IID-скритності.

Тоді атрактор ШСС, що полягає з відрізків гармонійних коливань із частотами  $\omega$  й початковими фазами  $\alpha = \pm\pi$ , які перемешуються узгоджено зі значеннями елементів псевдовипадкової послідовності, представляється двома ортогональними еліпсами з осями, орієнтованими уздовж діагоналей його фазового портрета. І навіть наявність помірного шуму спостереження, який розмиває еліпси, дозволяє їх класифікувати як регулярні сигнали. Тому такі сигнали мають низьку IID-скритність із погляду близькості їх атракторів до атрактора білого шуму.

Помітимо, що для підвищення IID-скритності необхідно, щоб атрактор сигналу мало відрізнявся від атрактора білого шуму (маскувався під шум). Можна стверджувати, що більшість ШСС сигналів, отриманих маніпуляцією фази гармонійної несучої псевдовипадковими послідовностями, погано маскуються під білий шум і мають низьку IID-скритність.

Таким чином, проблема підвищення IID-скритності сигналів РТС ПІ є досить гострою й досі залишається невирішеною в більшості прикладних завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі дослідження [2–4; 11–13] методів підвищення IID-скритності хаотичних процесів. Однак роботи, присвячені підвищенню IID-скритності MPSK

(Multiple Phase-Shift Keying) сигналів, не проводилися.

Одним з основних видів модуляції сигналів, використовуваних у РТС ПІ для підвищення алгоритмічної й потенційної скритності, є багаторівнева фазова маніпуляція MPSK [6–7], яка формується, як і інші багаторівневі (багатопозиційні) види модуляції, шляхом угруповання  $b = \log_2 M$  біт у символи й введенням взаємно-однозначної відповідності між безліччю значень символу й значень зсуву фази модульованого гармонійного коливання. Значення зсуву фази з безлічі відрізняються на однакову величину.

При цьому на одній несучій частоті при використанні  $M$ -кратної фазової маніпуляції можна передавати повідомлення від одного, двох, трьох і більш джерел, домагаючись істотного підвищення швидкості передачі інформації в каналі зв'язку.

Розглянемо метод підвищення IID-скритності MPSK сигналу підмішуванням до нього перетвореної хаотичної послідовності.

Чисельною мірою якості маскуванню (IID-скритності сигналу) визначимо значенням BDS-статистики сигналу [8]. Її значення для незалежних однаково розподілених випадкових величин (білого шуму) перебувають в інтервалі  $(-1,96; 1,96)$ , який відповідає рівню значимості  $\alpha = 0,05$ . Відхилення значень BDS-статистики сигналу від цього інтервалу можна характеризувати ступенем скритності, який назвемо IID-скритністю.

**Метою статті** є розробка методу маскуванню хаотичним процесом MPSK сигналу, а також оцінка його IID-скритності.

## Виклад основного матеріалу

Визначимо комплекснозначну послідовність  $\{\dot{A}_n\}_{i=0}^{N-1}$  відповідно [3]. Її дійсною компонентою будуть перетворені по Гілберту значення хаотичної послідовності  $\{x_0, x_1, \dots, x_{N-1}\}$ , сформованої, наприклад, відображенням Чебишева [3], а уявною – компоненти  $(s_0, s_1, \dots, s_{N-1})$  відліків MPSK сигналу:

$$\dot{A}_n = H_n(x_0, x_1, \dots, x_{N-1}) + js_n, \quad (1)$$

де  $\{s_i\}_{i=0}^{N-1}$  – відліки радіосигналу з  $M$ -кратною фазовою маніпуляцією, що передає  $K$  символів повідомлення, який у загальному виді може бути представлений наступним виразом [3]:

$$s(t) = A_0 \sum_{k=1}^K g(t - (k-1)T) \cos[\omega_0 t + \varphi_0 + \phi_m(k)], \quad (2)$$

де  $0 \leq t \leq KT$ ,  $A_0$ ,  $\omega_0$ ,  $\varphi_0$  – амплітуда, центральна частота й початкова фаза несучого коливання;

$g(t) = 0, \forall t \notin [0, T]$  – формуючий імпульс тривалістю  $T$ ;

$k$  – поточний номер переданого інформаційного символу, двійковий код якого містить  $b$  біт інформації;

$\phi_m(k)$  – поточний набіг фази з безлічі можливих значень  $\left\{ \frac{2\pi m}{M}, m = 0, \dots, M-1 \right\}$ , пов’язаний з  $k$ -м інформаційним символом із загального їхнього числа  $K$ . Звичайно в практичних ситуаціях вважається  $M = 2^b$ , а набіг фази  $\phi_m(k)$  постійним на інтервалі часу  $T$  передачі одного символу.

Формуючий імпульс  $g(t)$  у загальному випадку може мати довільну форму (прямокутну, трикутну, пилкоподібну та ін.). Звичайно форма імпульсу вибирається виходячи з вимог до форми спектра формованого радіосигналу або прямокутною.

Після переносу комплексної амплітуди  $\dot{A}_n$  на частоту  $\omega_n$  отримаємо послідовність, яку назовемо MPSKХП:

$$u_n = \text{Re}(\dot{A}_n e^{j\omega_n n}) = A_n \cos(\psi_n + \omega_n n), \quad (3)$$

де  $A_n = |\dot{A}_n|$ , а  $\psi_n = \text{arg} \dot{A}_n$ .

В якості інформаційного сигналу використовується MPSK-сигнал.

На рис. 1 представлено реалізацію MPSK-сигналу.

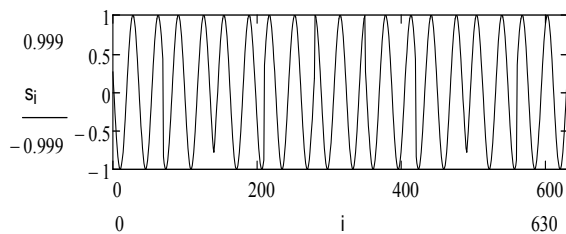


Рис. 1. Реалізація MPSK-сигналу

На рис. 2 представлено реалізацію хаотичної послідовності з ускладненою структурою атрактору.

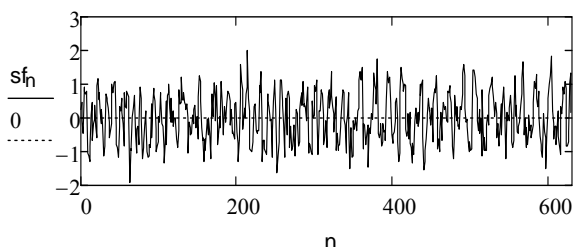


Рис. 2. Реалізація хаотичної послідовності з ускладненою структурою атрактору

Фазові портрети обох реалізацій представлено на рис. 3 та рис. 4 відповідно.

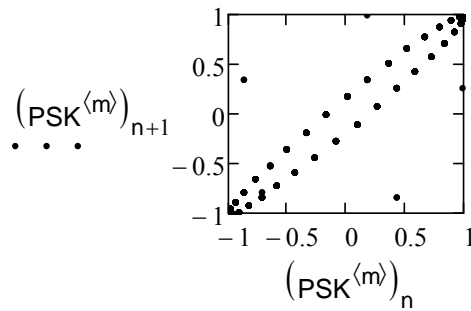


Рис. 3. Фазовий портрет MPSK-сигналу

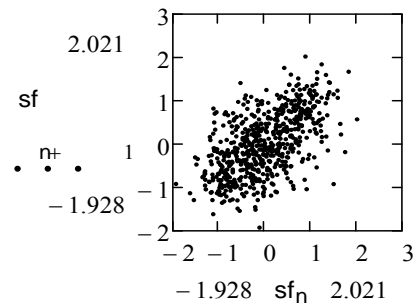


Рис. 4. Фазовий портрет хаотичної послідовності з ускладненою структурою атрактору

З аналізу видно, що фазовий портрет MPSKХП сигналу з ускладненою структурою атрактору не демонструє ознак структурованості або інший вид упорядкованості й закономірності, що свідчить про підвищення його скритності. Він візуально близький до образу білого шуму. Його точки не утворюють гладкої фазової траєкторії, тому що в послідовні дискретні моменти часу змінюють своє положення стрибками.

Візуальний аналіз атрактору сконструйованого MPSKХП сигналу дає підставу вважати, що він має високу скритність. Для підтвердження цього ствердження розрахуємо для цього сигналу BDS-статистику на безлічі можливих значень її параметра (радіусу покриття атрактору у фазовому просторі). В якості ступеня скритності буде значення BDS-статистики (рис. 5).

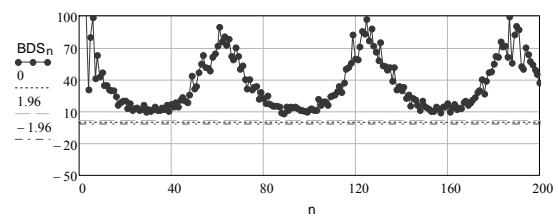


Рис. 5. BDS-статистика для MPSKХП

Залежність значення BDS-статистики MPSKХП сигналу від частоти (рис. 5) демонструє квазіперіод-

дичні поведінку на безлічі частот  $\{\omega_i = i\Delta_\omega\}_{i=1}^{200}$ , які при моделюванні змінювалися з кроком  $\Delta_\omega = 0,05$ .

BDS-статистика використовується для того, щоб розрізнити дані IID (незалежні однаково розподілені випадкові величини) і будь-який вид залежності – перевірити нульову гіпотезу  $H_0$  про незалежність і тотожній розподіл значень часового ряду  $\bar{s} = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ , використовуючи для цього критерій значущості BDS-статистика яка задається функцією наступного виду [4]:

$$w_{d,N} = \sqrt{N-d+1} \frac{C_{d,N}(\varepsilon) - C_{1,N-d}(\varepsilon)^d}{\sigma_{d,N}(\varepsilon)}$$

(для спрощення запису аргумент  $\bar{\xi}$  цієї функції, що задає вектор даних, опущений) і припускає “вкладення” часового ряду в  $d$ -мірний псевдофазовий простір.

Чисельник BDS статистики визначається функціями  $C_{d,N}(\varepsilon)$ ,  $C_{1,N}(\varepsilon)$ , що визначають частоту влучення довільної пари точок фазового простору в гіперсфери радіуса  $\varepsilon$ , а знаменник середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{d,N}(\varepsilon)$  чисельника.

Функція  $C_{d,N}(\varepsilon)$  при  $d > 1$  має вигляд:

$$C_{d,N}(\varepsilon) = \frac{2}{(N-d+1)(N-d)} \times \sum_{s=d}^N \sum_{t=s+1}^N \prod_{j=0}^{d-1} I_\varepsilon(\xi_{s-j}^d, \xi_{t-j}^d),$$

$$I_\varepsilon(\xi_n^d, \xi_j^d) = \begin{cases} 1, & \|\xi_n^d - \xi_j^d\| \leq \varepsilon \\ 0, & \|\xi_n^d - \xi_j^d\| > \varepsilon \end{cases}$$

у якому  $I_\varepsilon(\xi_n^d, \xi_j^d)$  – функція Хевісайда для всіх пар значень  $n$  і  $j$ , де  $0 \leq n \leq N$  й  $0 \leq j \leq N$ ;  $N = KT_\Delta$  – число елементів часового ряду  $\{\xi_n\}_{n=1}^N$ .

Її значення прагне до певної границі в міру зменшення  $\varepsilon$ . Рекомендується вибирати  $\varepsilon$  таким, що  $\varepsilon = 0.5\sigma \div 2\sigma$ , де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення процесу  $\{\xi_n\}_{n=1}^N$ .

Для  $m = 1$  маємо:

$$C_{1,N}(\varepsilon) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{p=1}^N \sum_{t=p+1}^N I_\varepsilon(\xi_p, \xi_t).$$

Значення середньоквадратичного відхилення  $\sigma_{d,N}(\varepsilon)$  визначається наступним виразом:

$$\sigma_{d,N}^2(\varepsilon) = 4 \left[ G^d + 2 \sum_{j=1}^{d-1} G^{d-j} \cdot (C_{1,N}(\varepsilon))^{2j} + (d-1)^2 \cdot (C_{1,N}(\varepsilon))^{2d} - d^2 G (C_{1,N}(\varepsilon))^{2d-2} \right],$$

де

$$G = \frac{1}{(N-1)(N-2)N} \times \left\{ \sum_{t=1}^N \left[ \sum_{p=1}^N I_\varepsilon(\xi_t, \xi_p) \right]^2 - 3 \sum_{p=1}^N \sum_{t=p+1}^N I_\varepsilon(\xi_t, \xi_p) + 2N \right\}.$$

Значення BDS-статистики для незалежних однаково розподілених випадкових величин перебувають в інтервалі  $(-1,96; 1,96)$ , який відповідає рівню значимості  $\alpha = 0,05$ .

Якщо випадкові значення  $\bar{\xi} = \{\xi_n\}_{n=1}^N$ , які належать генеральній сукупності I.I.D. величин, то щільність розподілу ймовірності BDS-статистики асимптотично прагне до стандартного нормального розподілу  $\lim_{N \rightarrow \infty} w_{d,N}(\varepsilon) \sim N(0,1)$  для будь-яких  $d$  і  $\varepsilon$ .

Результати моделювання показують, що еволюція атрактору MPSKXP у міру зміни частоти умовно проходить наступні етапи:

1. наближення до атрактору білого шуму (повна деструкція атрактору породжує XP);
2. наближення до атрактору породжувачої XP;
3. наближення до атрактору кольорових шумів з персистентною і антиперсистентною поведінкою, для яких характерно розмивання “хмари” атрактору уздовж відповідних діагоналей їх фазових портретів.

Значення BDS-статистики на масштабах можливих відстаней між точками атрактору можна використовувати для оцінки ступеня залежності даних спостереження сигналу.

Аналіз значень BDS-статистики від частоти сигналу MPSKXP показує, що їх можна поділити на дві групи, яким відповідають якісно різні аттрактори і підмножини частот.

Перша підмножина частот визначається значеннями BDS-статистики, які потрапляють в інтервал IID. Відповідні аттрактори подібні атрактору білого шуму.

При перебудові частоти спостерігається перехід з першої підмножини в другу, для якої значення BDS-статистики знаходяться за межами інтервалу IID. На рис. 4 показаний фазовий портрет атрактору, який промодельований для максимального значення BDS-статистики взятої із залежності, що показана на рис. 5.

## Висновки

В статті розроблено метод маскування сигналу за допомогою використання хаотичних процесів. За рахунок внесення хаотичної послідовності, перетвореної за Гілбертом в фазоманіпульований сигнал, руйнується характерна для детермінованих процесів структура атрактора на фазовій площині. Атрактор замаскованого сигналу стає схожим на атрактор шуму, який не демонструє ознак структурованості.

В якості хаотичної послідовності використовується хаотична послідовність Чебишева.

Аналіз запропонованого методу маскування MPSK сигналу дозволяє стверджувати про його спроможність забезпечити високу ПД-скритність, яка була розрахована з використанням BDS-статистики.

Отримані результати дозволяють сподіватися на можливість маскування сигналів сучасних і перспективних радіотехнічних систем прихованої передачі інформації за критерієм ПД-скритності в умовах дії систем РЕП.

## Список літератури

1. Основы теории скрытности / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко, Г.В. Макаров и др. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2006. – 202 с.
2. Estimation of structural stealthiness of chaotic signals / P.Yu. Kostenko, S.N. Symonenko, A.N. Barsukov, A.V. Antonov // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2012. – Vol. 55, No. 11, P. 475-481. <https://doi.org/10.3103/S0735272712110015>.
3. Kostenko P.Yu. Stealthiness of analytical chaotic signals / P.Yu. Kostenko., V.V. Slobodyanuk, A.N. Barsukov // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2017. – Vol. 60, No. 3. – P. 132-140. <https://doi.org/10.3103/S0735272717030050>.
4. Use of BDS statistic to estimate security of a signal obtained by mixing chaotic carrier / P.Yu. Kostenko, S.N. Symonenko, A.N. Barsukov, K.S. Vasiuta // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2010. – Vol. 53, №5. – P. 261-264. <https://doi.org/10.3103/S0735272710050055>.
5. Wang B. On the novel chaotic secure communication scheme design / B. Wang, S.M. Zhong, X.C. Don // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2016. – Vol. 39. – P. 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.02.035>.
6. Design and Hardware Implementation of a New Chaotic Secure Communication Technique / L. Xiong, Y.J. Lu, Y.F. Zhang, X.G. Zhang, P. Gupta // *PLoS ONE*. – 2016. – 11(8). – e0158348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158348>.
7. Pan Jing. A new improved scheme of chaotic masking secure communication based on Lorenz system / Jing Pan, Qun Ding, Baoxiang Du // *International Journal of Bifurcation and Chaos*. – 2012. – Vol. 22, № 5. <https://doi.org/10.1142/S0218127412501258>
8. Dmitriev A.S. Direct Chaotic Communication Schemes in Microwave Band / A.S. Dmitriev, B.Ye. Kyarginsky, A.I. Panas, S.O. Starkov // *Radiotekhnika i Elektronika*. – 2001. – Vol. 46, №2. – P. 224-233.
9. Васюта К.С. Повышение скрытности передачи бинарного сообщения в прямохаотической системе радиосвязи за счет фильтрации хаотической несущей / К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.А. Малышев // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – 2013. – № 2(35). – С. 71-74.
10. Обнаружение хаотического процесса, искаженного белым шумом с использованием BDS-статистики / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков, С.Н. Симоненко // *Радиоэлектроника*. – 2009. – Т. 52, № 11. – С. 41-51. <https://doi.org/10.20535/S002134701103006X>.
11. Фалькович С.Е. Основы статистической теории радиотехнических систем / С.Е. Фалькович, П.Ю. Костенко. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2005. – 390 с.
12. Повышение скрытности хаотических сигналов при передаче бинарных сообщений / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, С.Г. Семенов, А.Н. Симоненко // *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. – К.: НТУ (КПИ), 2009. – № 8 (52). – С. 13-25.
13. Оценка структурной скрытности хаотических сигналов / П.Ю. Костенко, С.Н. Симоненко, А.Н. Барсуков, А.В. Антонов // *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. – 2012. – Т. 55, № 11. – С. 3-10.
14. Костенко П.Ю. Скрытность аналитических хаотических сигналов / П.Ю. Костенко, В.В. Слободянюк, А.Н. Барсуков // *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. – 2017. – Т. 60, № 3. – С. 166-176.

## References

1. Kanevsky`j, Z.M., Lytvynenko, V.P. and Makarov, G.V. (2006), “*Osnovy teoryy` skrytnosti*” [*Bases of secrecy theory*], Izd-vo Voronezh. un-ta, Voronezh, 202 p.
2. Kostenko, P.Yu., Symonenko, S.N., Barsukov, A.N. and Antonov, A.V. (2012), Estimation of structural stealthiness of chaotic signals, *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 55, No. 11, pp. 3-10. <https://doi.org/10.3103/S0735272712110015>.
3. Kostenko, P.Yu., Slobodyanuk, V.V. and Barsukov, A.N. (2017), Stealthiness of analytical chaotic signals, *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 60, No. 3, pp. 132-140. <https://doi.org/10.3103/S0735272717030050>.

4. Kostenko, P.Yu., Symonenko, S.N., Barsukov, A.N. and Vasiuta, K.S. (2010), Use of BDS statistic to estimate security of a signal obtained by mixing chaotic carrier, *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 53, No. 5, pp. 261-264. <https://doi.org/10.3103/S0735272710050055>.
5. Wang, B., Zhong, S.M. and Don, X.C. (2016), On the novel chaotic secure communication scheme design, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 39, pp. 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.02.035>.
6. Xiong, L., Lu, Y.J., Zhang, Y.F., Zhang, X.G. and Gupta, P. (2016), Design and Hardware Implementation of a New Chaotic Secure Communication Technique, *PLoS ONE*, 11(8), e0158348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158348>.
7. Jing Pan, Qun Ding, and Baoxiang Du (2012), A new improved scheme of chaotic masking secure communication based on Lorenz system, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 22, No. 05. <https://doi.org/10.1142/S0218127412501258>.
8. Dmitriev, A.S., Kyarginsky, B.Ye., Panas, A.I. and Starkov, S.O. (2001), Direct Chaotic Communication Schemes in Microwave Band, *Radiotekhnika i Elektronika*, Vol. 46, No. 2, pp. 224-233.
9. Vasyuta, K.S., Ozerov, S.V. and Malyshev, A.A. (2013), "Pidvyshhennya skrytnosti peredachi binarnogo povidomlennya v pryamokhaotychnij systemi radiozvyazku za rahunok filtraciyi khaotychnoyi nesuchoyi" [An increase of binary report transmission secrecy in the directly chaotic system of radio contact according to the filtration of chaotic bearing], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(35), pp. 71-74.
10. Falkovych, S.E. and Kostenko, P.Yu. (2005), "Osnovy statisticheskoy teorii radiotekhnicheskikh system" [Bases of statistical theory of radiotechnical systems], Natsionalnyi aerokosmicheskyyi unyversytet "Kharkovskyyi avyatsyonnyi instytut", Kharkiv, 390 p.
11. Kostenko, P.Yu., Semenov, S.G., Vasyuta, K.S. and Symonenko, A.N. (2009), "Povyshenye skrytnosti khaoticheskikh signalov pri peredache binarnykh soobshheniy" [Increase of chaotic signal secrecy during binary message transmission], *Yzvestiya vysshyykh uchebnykh zavedenyi, Radyoelektronika*, No. 8(52), Kyiv, pp. 13-25.
12. Kostenko, P.Yu., Symonenko, S.N., Barsukov, A.N. and Antonov, A.V. (2012), "Ocenka strukturnoj skrytnosti khaotycheskykh signalov" [Estimation of chaotic signal structural secrecy], *Yzvestiya vysshyykh uchebnykh zavedenyi, Radyoelektronika*, Vol. 55, No. 11, pp. 3-10.
13. Kostenko, P.Yu., Slobodyanyuk, V.V. and Barsukov, A.N. (2017), "Skrytnost analytycheskykh khaotycheskykh signalov" [Secrecy of analytical chaotic signals], *Yzvestiya vysshyykh uchebnykh zavedenyi, Radyoelektronika*, Vol. 60, No. 3, pp. 166-176.

Надійшла до редколегії 21.11.2018

Схвалена до друку 20.12.2018

#### **Відомості про авторів:**

##### **Костенко Павло Юрійович**

доктор технічних наук професор  
професор кафедри Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-3382-0684>

##### **Чекунова Оксана Миколаївна**

кандидат технічних наук  
старший викладач Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

##### **Сидор Наталія Миронівна**

курсант  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6852-7760>

##### **Моргун Олександр Вікторович**

курсант  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6276-8440>

#### **Information about the authors:**

##### **Pavel Kostenko**

Doctor of Technical Sciences Professor  
Professor of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-3382-0684>

##### **Oksana Chekunova**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Instructor of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

##### **Natalia Sydor**

Cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6852-7760>

##### **Oleksandr Morgun**

Cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6276-8440>

**МЕТОД ХАОТИЧЕСКОГО МАСКИРОВАНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ**

П.Ю. Костенко, О.Н. Чекунова, Н.М. Сидор, А.В. Моргун

*Использование достижений нелинейной динамики для формирования сигналов, которые демонстрируют сложное поведение и имеют высокую IID-скрытность, является актуальной проблемой для радиотехнических систем передачи информации. Известные сложные сигналы, образованные манипуляцией их фазовой структуры, не могут быть использованы для скрытой передачи информации потому, что легко обнаруживаются в фазовом пространстве, поскольку имеют в нем структурированный аттрактор. В работе авторами предложен метод маскировки детерминированных сигналов с помощью деструкции их аттракторов. К фазоманипулированному сигналу добавляется мнимая компонента, сформированная хаотической последовательностью. У такого сигнала, представленного в виде, подобном узкополосному процессу, разрушается аттрактор на фазовой плоскости, то есть он не демонстрирует признаков структурированности. В качестве хаотической последовательности используется хаотическая последовательность Чебышева.*

**Ключевые слова:** IID-скрытность, хаотические последовательности, аттрактор, полином Чебышева, фазовый портрет, MPSK-сигнал.

**METHOD OF CHAOTIC CUTTING OF PHASOMANIPULATED SIGNALS**

P. Kostenko, O. Chekunova, N. Sydor, O. Morgun

*Studying the state of nonlinear dynamic systems that demonstrate complex conduct is a topical issue in radio engineering and telecommunications. One of the reasons for interest in this problem is the possibility of practical use of research results for reserved information transmission. During the development of modern systems for the confidential information transmission, developers are increasingly turning to the use of alternative methods to ensure the secrecy of signals dealing with chaotic dynamics. There is a tendency to use signals which characteristics are close to flat random noise. These signals include chaotic sequences. Possessing signs of chance, the simplest mathematical models of chaotic sequences have a structured phase portrait that distinguishes them from ordinary flat random noises. Therefore, the direct use of chaotic sequences for the information transmission does not solve the problem of information transmission systems secrecy. At present, the methods of phase portraits complication and the restoration of chaotic signals that are dealing with them, as well as the evaluation of their secrecy in conditions of the prior uncertainty regarding the kind of chaotic signal and noise statistics are insufficiently studied. The study of the nonlinear dynamic systems conduct demonstrate complex conduct can partially solve the problem of developing methods for complicating the phase portrait of chaotic signals, which helps to increase the secrecy and their processing in the presence of flat random noise. The reason for the interest in this problem is also related to the possibility of practical use of research results for latent information transmission. Therefore, the issue remains an actual problem. In the work, the authors suggested to increase the secrecy of information transmission systems by using chaotic processes. A phase-manipulated signal is inserted in a chaotic carrier that destroys the typical for chaotic processes conduct based on phase plane, that does not show features of structuring. As a chaotic sequence, the chaotic sequence of Chebyshev is used. The authors propose a functional diagram of the system for transmitting information using chaotic signals as an option for the research results practical use.*

**Keywords:** IID-secrecy, chaotic sequences, attractor, Chebyshev polynomial, phase portrait, MPSK signal.