

С. В. Дворников, д-р техн. наук, проф., e-mail: practicsdv@yandex.ru,

А. В. Пшеничников, д-р техн. наук, доц., e-mail: siracooz77@mail.ru,

С. С. Манаенко, канд. техн. наук, e-mail: manaenkoss@mail.ru,

И. Н. Глухих, адъюнкт, e-mail: gluxix.86@bk.ru,

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Формирование сигнальных конструкций сложных структур с высоким уровнем неопределенности их параметров

Целью статьи является формализация принципов и подходов к формированию и оценке эффективности сигнальных конструкций сложных структур. Авторами поставлена и решена задача формализованного представления полученных решений, проведен критический анализ результатов, полученных разными методами.

В ходе исследования определены свойства сигналов сложных структур. Сформулировано и доказано утверждение, позволяющее обосновать повышение структурной скрытности формируемых радиосигналов. Новизной подхода является использование теории случайных графов, что обеспечило уменьшение сложности доказательной базы, этапов имитационного моделирования.

Ключевые слова: сигнальная конструкция сложной структуры, помехозащищенность, структурная скрытность, случайный граф

Введение

Формирование глобального информационного пространства приводит к доступности трафика со стороны, в том числе, и нелегитимных пользователей. В таких условиях для ограничения доступа к информационным ресурсам широко используют элементы теории кодирования и шифрования.

Однако методы криптозащиты, обеспечивающие надежную защиту информации, предполагают наличие сертификационных документов, что не всегда удобно в обычной повседневной деятельности [1, 2].

Гораздо более интересным видится применение методов, снижающих возможности идентификации параметров систем передачи информации на физическом уровне [3–5], что исключает автоматический доступ нелегитимных пользователей, использующих для мониторинга общедоступные средства радиоприема.

С учетом указанных обстоятельств в настоящей статье представлен оригинальный подход к формированию сигнальных конструкций сложной структуры с высоким уровнем

неопределенности их параметров для нелегитимного пользователя.

Свойства сигналов сложной структуры

В настоящее время существуют различные подходы к формированию сигналов с неопределенностью их параметров [6–10]. Наиболее рациональные из них базируются на совмещении принципов кодирования и формирования радиосигналов [7–9], что обеспечивает неопределенность их параметров уже на физическом уровне [11, 12]. Сущность такого подхода основана на расширении базы формируемых сигналов. Но при этом сам принцип расширения спектра существенно отличается от общепринятой методологии формирования широкополосных сигналов [3–5, 10].

Теоретической основой предлагаемого подхода является синтез сигнальных конструкций сложных структур (СКСС), использующих более широкую полосу частот, чем требуется для передачи вложенной в них информации [13, 14]. Применение таких СКСС затрудняет их обра-

ботку на приеме. Это объясняется неоднозначностью принятия решения о значениях их параметров при нелегитимном доступе ввиду значительной вариативности доступных комбинаций доступного вида модуляции и используемого кода. Поскольку данное направление получило активное развитие относительно недавно, то общие теоретические принципы синтеза СКСС еще полностью не разработаны.

Действительно, в наиболее близких по своей сути к указанному подходу работах [11, 15–17] представлены способы определения параметров СКСС на основе энтропийных оценок. Однако используемые при этом принципы, модели и методы синтеза СКСС не определены в полной мере. Более того, не выявлены даже отличительные признаки СКСС, что и обуславливает сложность их разработки на физическом уровне [1, 10, 13].

С учетом сделанных замечаний рассмотрим теоретические подходы к построению обобщенной модели СКСС.

В качестве исходных данных определим непрерывный канал с пространством финитных сигналов $S(t)_{ij}$, $0 \leq t \leq T$, конечной энергии

$$\int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt = E < \infty, \quad (1)$$

и метрикой, определяющей их различия,

$$d[S(t)_{ij}] = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |S(t)_i - S(t)_j|^2 dt}. \quad (2)$$

На первом этапе модель СКСС представим в виде матрицы координат ее сигнальных точек с позиций теории плотной упаковки заданного объема V шарами одинакового радиуса [13]. Отметим, что метрические характеристики СКСС в формализованной задаче могут отличаться от оптимальных, представленных в работах [10, 13, 15], что и определяет новизну разрабатываемой модели.

В соответствии с теоремой Шеннона—Хартли о пропускной способности канала [13] будем полагать, что информационная последовательность кодируется на физическом уровне сигналами с алфавитом M , определяемых их энтропийными характеристиками. Представим множество введенных многомерных сигналов M в виде функций евклидова пространства, полученных на основе разложения в конечномерной модификации обобщенного ряда Фурье [10].

Для этого в соответствии с процедурой ортогонализации Грама—Шмидта [13] определим тригонометрические функции ряда Фурье ортонормированным базисом Ψ_i , $i = \{1, N\}$. Далее в выбранном базисе определим сигнал $S_r(t)$, $r = \{1, M\}$, $0 \leq t \leq T$, коэффициентами разложения $s_{r,i}$ (проекциями на оси координат):

$$S_r(t) = \sum_{i=1}^N s_{r,i} \Psi_i(t). \quad (3)$$

Разложение сигнала в конечную сумму ряда (3) определим в качестве основы для синтеза СКСС, выбрав при этом следующие показатели:

- энергетической эффективности [18] $\sum_{i=1}^N s_{r,i}$ (геометрическое расположение сигнальных точек в N -мерном евклидовом пространстве такое, что при сохранении требуемой средней вероятности символьной ошибки получаем сигнал известной структуры, а формируемый сигнал будет определять соответствующий выбор сигнальных точек);

- спектральной эффективности [18] $\sum_{i=1}^N \Psi_i(t)$ (разработка новых ортонормированных систем базисных функций, определяющих частотно-временное распределение энергии сигнала в занимаемой полосе частот, т.е. формирование сигналов под известный спектр).

В качестве примера рассмотрим сигнальную конструкцию (СК) ФМ-8 в фазовой плоскости. Данная СК может быть получена путем объединения четырех сигналов ФМ-2 (*BPSK*), либо двух СК ФМ-4 (*QPSK*) (рис. 1) [8].

Заметим, что результирующая конструкция получена при условии ортогонального расположения формирующих ее сигналов, т.е. при условии, что сигнал *BPSK* определяется парами точек сигнального созвездия (А, Е); (В, F); (С, I); (D, K) (рис. 1, а).

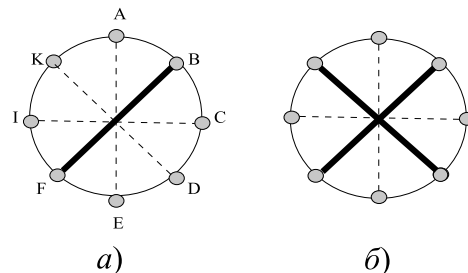


Рис. 1. Возможное расположение сигнальных точек в СК при $n = 8$:

а — *BPSK*; б — *QPSK*

Вместе с тем, сигнал ФМ-8 можно представить как совокупность сигналов *BPSK* следующей структуры: (В, С); (D, E); (F, I); (K, А). Заметим, что такое представление не является единственно возможным. Данное обстоятельство позволяет сформулировать гипотезу, определяющую свойство СКСС, связанное с множественностью формирующего базиса, что является отличительным свойством таких сигналов.

Гипотеза: для ортогональных сигналов число возможных комбинаций формируемых сигнальных конструкций L из n точек на фазовой плоскости определим в виде

$$L = \sum_{a=1}^{n/2} C_{n/2}^a = \sum_{a=1}^{n/2} \frac{n/2}{2^{a-1}}, \quad (4)$$

где n — общее число точек созвездия ($n/2$ — учитывает симметрию сигнальной конструкции); C_n^m — число сочетаний из n по m .

Очевидно, что сложность оценки таких сигналов существенно возрастает с увеличением позиционности формирующей фазовой плоскости, определяемой значением C_n^m , поскольку увеличивается число комбинаций формирующих сигнальных точек.

Далее представим синтезируемые СКСС ребрами графа между сигнальными точками формирующей фазовой плоскости. Тогда для сигнала *BPSK* текущий параметр "а" представляет собой одно ребро графа между любыми двумя ортогональными точками (рис. 1, а), для *QPSK* — таких ребер уже будет два (рис. 1, б), а для ФМ-8 их число будет равно 4. Таким образом, число возможных комбинаций из восьми точек формирующего сигнального созвездия для СК *BPSK* составляет: $\frac{n/2}{2^{a-1}} = \frac{8/2}{2^{1-1}} = 4$. Для *QPSK* таких комбинаций уже будет две.

Общее суммарное число комбинаций различных сигнальных конструкций из восьми точек созвездия равно $L = \sum_{a=1}^{n/2} \frac{n/2}{2^{a-1}} = 7$.

Поскольку для нелегитимного пользователя синтезируемая СК будет случайной, то это позволяет определить вероятность проявления каждого из возможных ребер. Таким образом, присвоив каждому из ребер значение вероятности p , получаем граф, характеризующий свойством случайности его проявления [19]. Следовательно, применение теории графов обеспечивает уменьшение сложности формализации модели СКСС за счет укрупнения формирующих базисных характеристик элементарных сигналов.

Теоретическое обоснование структурной скрытности СКСС

В общем случае вероятность случайного события определения СК *BPSK* из совокупности сигнальных точек формирующего фазового созвездия ФМ-8 — это вероятность такого события, при котором из восьми вершин определяется (физически используется) только одно ребро — p^1 , а остальные $n/2 - 1$ вершины не задействуются для синтеза искомого сигнала. Соответственно, вероятность такого события составляет $(1 - p)^3$.

Так как ребра графа формируются независимо, то результирующая вероятность правильного обнаружения такой сигнальной конструкции может быть представлена распределением вида $P_{BPSK} = p^1(1 - p)^3$. Рассуждая аналогичным образом, получаем, что вероятность обнаружения СК *QPSK* со случайной конструкцией точек формирующей фазовой плоскости в СКСС из восьми точек составит $P_{QPSK} = p^2(1 - p)^2$.

Таким образом, формализуется следующее **утверждение:** *повышение структурной скрытности сигнала достигается на основе увеличения базиса его формирования за счет увеличения размерности формирующей фазовой плоскости.*

Докажем сформулированное утверждение.

Обозначим $V = \{1, \dots, n\}$ — множество вершин графа $G(n, p)$, где $p = \{p_1, \dots, p_N\}$ — вероятности проявления ребер, $N = C_n^2$, причем $p_1 + p_2 + \dots + p_N = 1$.

Осуществим выбор ребра из множества N . Будем полагать данный выбор независимым от результатов предшествующих исходов. Тогда для описания такой схемы воспользуемся аналитическим разделом теории вероятности на основе биномиального распределения. Согласно схеме Бернулли получаем случайный граф $G(V, E)$ где E — множество ребер [19]. Другими словами, определяется вероятностное пространство $G(n, p)$, в котором

$$P(G(n, p)) = p^E (1 - p)^{N-E}. \quad (5)$$

Согласно работе [19] вероятность p характеризуется функцией, зависящей от числа вершин n , образующих сигнальные точки формирующей фазовой плоскости, т.е. $p = X(n)$. В свою очередь, указанная функция является параметром функции графа $X(G)$, математическое ожидание которой определяется следующим образом:

$$MX = \sum_G X(G)P(G). \quad (6)$$

Здесь функция $X(G)$ определяет совокупность изолированных вершин (без текущих связей), а $P(G)$ — соответствующие вероятности перехода (вероятности ребер). В таком представлении величина MX характеризует степень сложности вскрытия структуры формируемого сигнала с позиций вероятности проявления сигнальных точек формируемой фазовой плоскости.

С учетом свойств линейности математического ожидания определим параметр c связности графа как [19]

$$c = \frac{n}{M}, \quad (7)$$

где n — общее число вершин графа; M — число точек формирующей СК.

С учетом результатов, полученных в работе [20], выражение (6) представим в виде

$$MX = ne^{-\frac{c \ln(n)(n-1)}{n}}. \quad (8)$$

Из (8) (рис. 2) следует, что повышение структурной скрытности достигается при увеличении числа вершин графа, а также за счет увеличения потенциально возможного числа формирующих сигналов. Таким образом, утверждение доказано.

Разработанные теоретические результаты являются обобщением аналитического описания СКСС. При этом новизной представленного подхода является переход к рассмотрению формирующей фазовой плоскости в трехмерном пространстве, которая используется для синтеза СКСС с заданными свойствами. Заметим, что переход к теории графов позволяет уменьшить степень сложности решаемых задач по расчету вероятности проявления СКСС

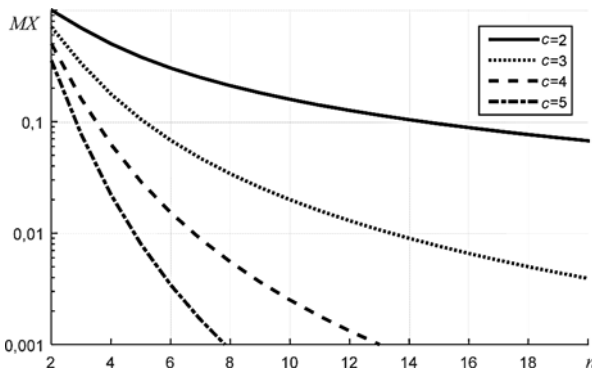


Рис. 2. Графики зависимости величины MX от числа вершин графа при различных значениях параметра связности c

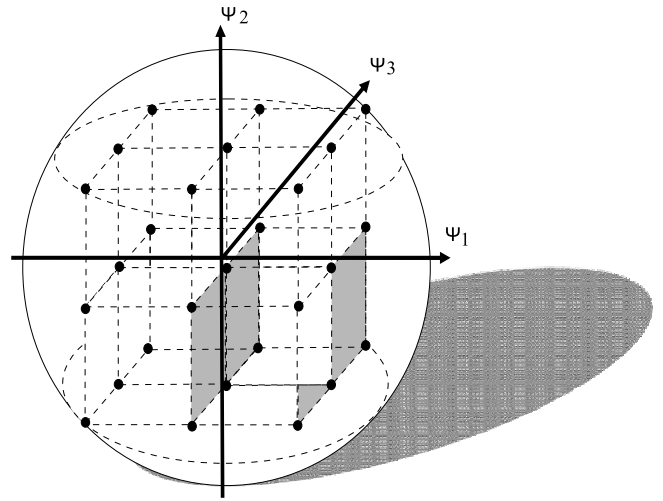


Рис. 3. Формирующая фазовая сфера

в зависимости от размерности формирующей фазовой плоскости.

С учетом объемного представления сигнальных точек СКСС в многомерном евклидовом пространстве в качестве формирующей будет выступать фазовая сфера (рис. 3). Поэтому далее целесообразно перейти к понятию формирующей фазовой сферы (ФФС).

Объемная модель в евклидовом пространстве СКСС характеризуются набором координат d_{ij} , φ_{ij} , E_m , что позволяет независимо от их формы оперировать понятием позиционности M .

Следует отметить, что с учетом формализованного геометрического представления показатель структурной сложности сигнала, введенный в работах [12, 13], преобразуется к виду

$$S_{\text{[Диз]}} = \log_2 \left(\prod_{i=1}^r k_i \varphi_i \right), \quad (9)$$

где r — число уровней амплитуды сигнала; k — возможное число сигнальных точек на одном из уровней; φ — возможное число фазовых сдвигов в пределах одного уровня решетки ФФС.

Заключение

В целях проверки адекватности полученных решений проведено имитационное моделирование по выявлению различных структур СК в структуре формирующей фазовой плоскости СК ФМ-8 в соответствии с разработанным подходом. Результаты моделирования представлены в таблице.

Результаты моделирования выявления структур сигналов

| СК | r | k | φ | S |
|-------------|-----|-----|-----------|-----|
| <i>BPSK</i> | 1 | 8 | 4 | 5 |
| <i>QPSK</i> | 1 | 8 | 2 | 4 |
| ФМ-8 | 1 | 8 | 1 | 3 |

Анализ полученных результатов наглядно показывает соответствие разработанных теоретических выводов и результатов моделирования. В частности (см. рис. 2), для графа с числом вершин $n = 8$ математическое ожидание изолированных вершин MX стремится к нулю при увеличении параметра связности графа c , что равносильно стремлению к нулю вероятности проявления сигнальных точек при уменьшении позиционности формирующей СК.

Кроме того, результаты моделирования, представленные в таблице, также подтверждают, что при уменьшении позиционности синтезируемой СК на основе формирующей фазовой плоскости СК ФМ-8 структурная сложность S возрастает.

Направление дальнейших исследований связано с разработкой научно-методического аппарата оценки эффективности СКСС.

Список литературы

1. Самойленко Д. В., Финько О. А. Имитоустойчивая передача данных в защищенных системах однонаправленной связи на основе полиномиальных классов вычетов // Нелинейный мир. 2013. Т. 11, № 9. С. 647–658.
2. Вишневикий А. К., Финько О. А. Реализация типовых функций гибридных криптосистем арифметико-логическими полиномами // Теория и техника радиосвязи. 2011, № 1. С. 32–36.
3. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е., Шестопалов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью. М.: РадиоСофт, 2011. 550 с.
4. Борисов В. И., Зинчук В. М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. М.: РадиоСофт, 2008. 260 с.
5. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра

сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. М.: Радио и связь, 2003. 640 с.

6. Дворников С. В., Пшеничников А. В. Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 3. С. 221–228.

7. Дворников С. В., Пшеничников А. В., Манаенко С. С. Модель фазоманипулированного широкополосного сигнала с программной перестройкой рабочей частоты // Телекоммуникации. 2017. № 9. С. 8–12.

8. Дворников С. В., Пшеничников А. В., Манаенко С. С., Дворников С. С. Метод формирования многопозиционных помехозащищенных сигнальных конструкций // Информационные технологии. 2017. Т. 23, № 9. С. 669–676.

9. Дворников С. В., Пшеничников А. В. Модель многопозиционной помехозащищенной сигнальной конструкции на основе частотно-временных матриц // Телекоммуникации. 2017. № 6. С. 22–27.

10. Еремеев И. Ю., Старицин С. С., Поддубных Е. В. Модели сигналов с "быстрой" псевдослучайной перестройкой рабочей частоты // Телекоммуникации. 2015. № 8. С. 20–25.

11. Каневский З. М., Литвиненко В. П. Потенциальная скрытность многоканальных симплексных и дуплексных радиолоний. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2002. № 4-2. С. 9–10.

12. Литвиненко В. П. Энергетическая скрытность сигналов и защищенность радиолоний: учебное пособие. Воронеж: ВГТУ, 2009. 166 с.

13. Скляр Б. Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение / Пер. с англ. Е. Е. Грозы и др. М.: Вильямс, 2016. 1099 с.

14. Xiao Z., Su L., Jin D., Zeng L. Performance comparison of rake receivers in sc-UWB systems and ds-UWB systems // IEICE Transactions on Communications. 2010. Vol. E93-B, № 4. P. 1041–1044.

15. Yen-Ming Chen, Yeong-Luh Ueng. Noncoherent Amplitude/Phase Modulated Transmission Schemes for Raleigh Block Fading Channels // IEEE Trans. Com. 2013. Vol. 61, N. 1. P. 217–227.

16. Цепков Г. В., Яковенко И. Н. Анализ нестационарных сигналов в адаптивном секвентном базисе // Контроль. Диагностика. № 4. 2010. С. 26–31.

17. Raphaeli D. Noncoherent Coded Modulation // IEEE Transaction on communication. 1996. Vol. 44, № 2. February. P. 172–183.

18. Дворников С. В., Пшеничников А. В., Аванесов М. Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информатика и космос. 2018. № 2. С. 22–29.

19. Колчин В. Ф. Случайные графы. М.: Физмат. 2004. 256 с.

20. Kolchin A. V., Kolchin V. F. On transition of distributions of sums of independent identically distributed random variables from one lattice to another in the generalised allocation scheme // Discrete Mathematics and Applications. 2006. Vol. 16, N. @. С. 527–540.

S. V. Dvornikov, Professor, e-mail: practicsv@yandex.ru,

A. V. Pshenichnicov, Assistant Professor, e-mail: siracooz77@mail.ru,

S. S. Manaenko, Assistant Professor, e-mail: manaenkoss@mail.ru,

I. N. Glukhikh, e-mail: gluxix.86@bk.ru,

Military Communications Academy, St. Petersburg, 190000, Russian Federation

The Formation of Signal Construct of Complex Structures with a High Level of Uncertainty in Their Parameters

Radio communication systems with enhanced resistance to illegitimate influences are of great interest in the development of modern information technologies. The modern methods of implementing such radio systems are the technologies of cryptographic information protection, methods of direct spectrum expansion. Despite the achievements of the selected subject area, the practical implementation of radio systems of this level is hampered by models of radio communication channels. Known results in their totality do not take into account the potential capabilities of implemented modulation formats, which limits their practical application and indicates the relevance of the study. The aim of the scientific work is to formalize theoretical principles and approaches to the formation and evaluation of the effectiveness of signals of complex structure. The authors posed and solved the problem of a formalized presentation of the obtained solutions, conducted a critical analysis of the results obtained by different methods. In this case, methods of statistical radio engineering, harmonic analysis of discrete signals, random graph theories, and decision making were used. The authors conducted a simulation of the processes of manifestation of various structures of the generated signals. The coincidence of theoretical and practical results is substantiated. During the study, the properties of signals of complex structures were determined. A theoretical statement is formulated and proved that justifies the increase in the structural secrecy properties of the generated radio signals. The novelty of the approach is the use of random graph theory, which has reduced the complexity of the evidence base, the stages of simulation. The theoretical results obtained are critically evaluated in relation to the final modeling data, which made it possible to substantiate the adequacy of the results. The obtained solutions substantiate theoretical approaches to the formation of signal construct of complex structure. In contrast to the known studies, the study reveals the potential stability boundaries of radio systems based on signals with uncertain parameters. The theoretical significance of the presented results is the expansion of the practical implementation of the methods of the general theory of communication in the field of building noise-immune systems. Practical significance is based on the results of analytical and simulation modeling presented in the work.

Keywords: signal construct of complex structure, noise immunity, structural complexity, random graph

DOI: 10.17587/it.27.132-137

References

1. **Samoilenko D. V., Finko O. A.** Imitation-robust data transmission in secure unidirectional communication systems based on polynomial residue classes, *Nelineyny Mir*, 2013, vol. 11, no. 9, pp. 647–658 (in Russian).
2. **Vishnevsky A. K., Finko O. A.** Implementation of typical functions of hybrid cryptosystems by arithmetic-logical polynomials, *Teoriya i Tekhnika Radiosvyazi*, 2011, no. 1, pp. 32–36 (in Russian).
3. **Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A. E., Shestopalov V. I.** Interference immunity of radio communication systems with spreading of the spectrum by direct modulation by a pseudo-random sequence, Moscow, Radiosoft, 2011, 550 p. (in Russian).
4. **Borisov V. I., Zinchuk V. M.** Interference immunity of radio communication systems. Probabilistic-time approach, Moscow, RadioSoft, 2008, 260 p. (in Russian).
5. **Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A. E.** Interference immunity of radio communication systems with the expansion of the spectrum of signals by modulation of the carrier pseudo-random sequence, Moscow, Radio and communications, 2003, 640 p. (in Russian).
6. **Dvornikov S. V., Pshenichnikov A. V.** The formation of spectrally-efficient signal structures in radio channels for data transmission of control and measuring systems, *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Priborostroenie*, 2017, vol. 60, no. 3, pp. 221–228 (in Russian).
7. **Dvornikov S. V., Pshenichnikov A. V., Manaenko S. S.** A model of a phase-shifted broadband signal with software tuning of the operating frequency, *Telekommunikacii*, 2017, no. 9, pp. 8–12 (in Russian).
8. **Dvornikov S. V., Pshenichnikov A. V., Manaenko S. S., Dvornikov S. S.** Method for the formation of multi-position noise-protected signal structures, *Informacionnye Tehnologii*, 2017, vol. 23, no. 9, pp. 669–676 (in Russian).
9. **Dvornikov S. V., Pshenichnikov A. V.** A model of a multi-position noise-protected signal structure based on time-frequency matrices, *Telekommunikacii*, 2017, no. 6, pp. 22–27 (in Russian).
10. **Eremeev I. Yu., Staritsin S. S., Poddubnykh E. V.** Signal models with "fast" pseudo-random tuning of the operating frequency, *Telekommunikacii*, 2015, no. 8, pp. 20–25 (in Russian).
11. **Kanevsky Z. M., Litvinenko V. P.** Potential stealth of multi-channel simplex and duplex radio links, *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2002, no. 4-2, pp. 9–10 (in Russian).
12. **Litvinenko V. P.** Energy signal stealth and radio link security: tutorial. Voronezh, VSTU, 2009, 166 p. (in Russian).
13. **Sklyar B.** Digital communication: theoretical foundations and practical application, Moscow, Williams, 2016, 1099 p. (in Russian).
14. **Xiao Z., Su L., Jin D., Zeng L.** Performance comparison of rake receivers in sc-UWB systems and ds-UWB systems, *IEICE Transactions on Communications*, 2010, vol. E93-B, no. 4, pp. 1041–1044.
15. **Yen-Ming Chen, Yeong-Luh Ueng.** Noncoherent Amplitude/Phase Modulated Transmission Schemes for Rayleigh Block Fading Channels, *IEEE Trans. Com.*, 2013, vol. 61, no. 1, pp. 217–227.
16. **Tsepkov G. V., Yakovenko I. N.** Analysis of non-stationary signals in an adaptive sequential basis, *Control. Diagnostics*, 2010, no. 4, pp. 26–31 (in Russian).
17. **Raphaelli D.** Noncoherent Coded Modulation, *IEEE Transaction on Communication*, February 1996, vol. 44, no. 2, pp. 172–183.
18. **Dvornikov S. V., Pshenichnikov A. V., Avanesov M. Yu.** Cognitive character destructive model, *Informaciya i Kosmos*, 2018, no. 2, pp. 22–29 (in Russian).
19. **Kolchin V. F.** Random graphs, Moscow, Fizmat, 2004, 256 p. (in Russian).
20. **Kolchin A. V., Kolchin V. F.** On transition of distributions of sums of independent identically distributed random variables from one lattice to another in the generalised allocation scheme, *Discrete Mathematics and Applications*, 2006, vol. 16, no. 6, pp. 527–540.