

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

К.С. ВАСЮТА, А.И. КУШНИР, С.В. ОЗЕРОВ

В работе раскрывается понятие скрытности сигнала применительно к радиотехническим системам передачи информации с хаотической несущей, анализируются методы обнаружения хаотических сигналов. Рассматриваются причины недостаточной скрытности хаотических несущих с позиции применения к ним методов обнаружения, основанных на анализе статистических и динамических характеристик сигнала.

**Ключевые слова:** скрытность,  $\chi^2$ -статистика, корреляционный радиометр, цифровой анализатор спектра, BDS-статистика, непараметрический обнаружитель.

### ВВЕДЕНИЕ

В современной теории военного противоборства все большее значение придается внедрению новых систем управления, основанных на сетевых принципах, при этом основой такой системы управления является радиотехническая система передачи информации (РТС ПИ).

Основным требованием, предъявляемым к современным РТС ПИ, является их повышенная помехозащищенность, которая характеризуется успешным противодействием системы деструктивному воздействию со стороны противника. Под основой современного деструктивного воздействия на РТС ПИ [1] следует понимать применение средств радиотехнической разведки (РТР) и радиоэлектронного подавления (РЭП).

Анализ литературы [2–6] показывает, что одним из подходов повышения помехозащищенности РТС ПИ является применение хаотических сигналов. Однако непрерывное развитие методов обнаружения требует более детального анализа заявленной скрытности хаотических сигналов.

Таким образом, **целью работы** является анализ современных методов обнаружения сигналов с позиции обнаружения хаотических сигналов.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Под скрытностью следует понимать [7] способность противостоять мерам радиотехнической разведки: обнаружению сигнала и определению его структуры на основе оценки ряда его

параметров. В качестве критерия скрытности можно принять величину  $P_{\text{скр}} = 1 - P_p$ . Часто задача раскрытия смысла информации не ставится, и тогда можно принять, что скрытность определяется вероятностью разведки  $P_p = P_{\text{обн}} P_{\text{скр}}$ , которая характеризуется вероятностью правильного обнаружения сигнала  $P_{\text{обн}}$  и вероятностью раскрытия его структуры  $P_{\text{стр}}$ .

Радиотехническая разведка предусматривает последовательное выполнение трех основных задач [7]: выявление факта работы радиоэлектронных средств (обнаружение сигнала), определение структуры обнаруженного сигнала (на основе определения ряда его параметров) и раскрытие информации, содержащейся в сигнале.

Перечисленным задачам радиотехнической разведки могут быть противопоставлены три вида скрытности сигналов [7]: энергетическая, структурная и информационная. Энергетическая скрытность характеризует способность противостоять мерам, направленным на выявление сигнала разведывательным приемным устройством. Структурная скрытность характеризует способность противостоять мерам радиотехнической разведки, направленным на раскрытие формы сигнала. Информационная скрытность определяется способностью противостоять мерам, направленным на раскрытие смысла передаваемой информации. На рис. 1 приведен структурный граф обнаружения и «вскрытия» структуры сигнала станцией РТР [8].

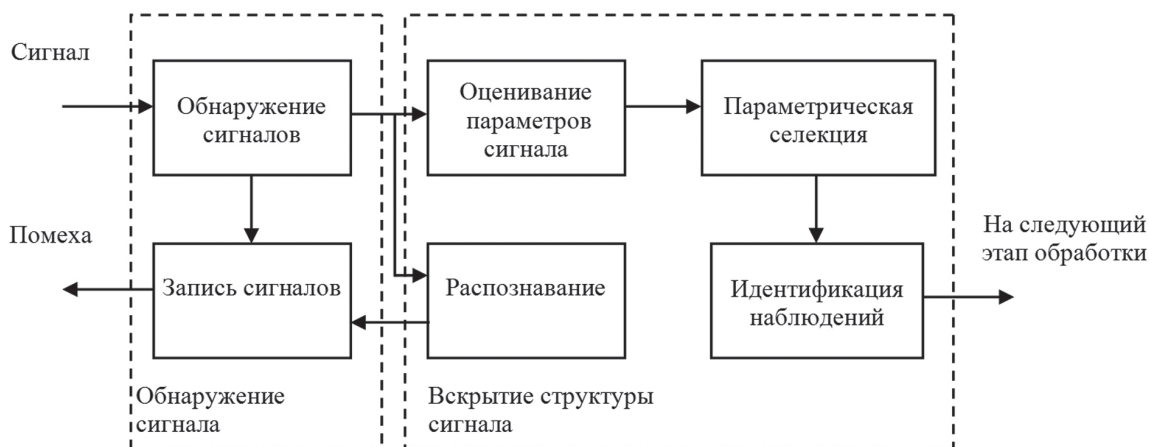


Рис. 1. Структурный граф обнаружения сигнала станцией РТР

Операции обнаружения и оценивания параметров сигналов могут осуществляться как раздельно, так и совместно [8]. Параметрическая (как правило, частотно-пространственная) селекция означает процедуру проверки принадлежности сформированного по результатам обнаружения и оценивания наблюдения к некоторой области пространства первичных наблюдений. Задача распознавания состоит в определении принадлежности данного наблюдения одному из заранее выделенных классов объектов в соответствии с имеющимися эталонными описаниями. Задача идентификации состоит в определении принадлежности объекта к некоторому классу объектов без указания на его принадлежность к каким-либо другим классам («он – не он»).

### МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ОСНОВАННЫЕ НА АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА

#### Широкополосный энергетический обнаружитель

Структурная схема широкополосного (одноканального) энергетического обнаружителя показана на рис. 2 и включает в себя: широкополосный полосовой фильтр (ШПФ) со средней частотой  $f_s$  и полосой пропускания  $w_s$ , квадратичный детектор  $(\bullet)^2$ , интегратор и устройство сравнения [9].

Такой обнаружитель обеспечивает измерение энергии принятой реализации в пределах конечного времени интегрирования  $T_n$  и сравнивает выходной сигнал интегратора  $z$  с порогом  $z_0$  для принятия решения. Алгоритм обнаружения имеет вид: принимается решения  $d_1$  о наличии сигнала  $s(t)$ , если статистика  $z \geq z_0$ , и решение  $d_0$  об отсутствии сигнала, если  $z < z_0$ , т.е.

$$z = \frac{2}{G_0} \int_0^{T_n} y^2(t) dt \begin{cases} \geq z_0 \rightarrow d_1 \\ < z_0 \rightarrow d_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $y(t) = s(t) + n(t)$  ( $s(t)$  – сигнал,  $n(t)$  – шум) – выходной сигнал полосового фильтра,  $2/G_0$  – множитель нормировки статистики. Так как  $s(t)$  и  $n(t)$  на выходе ШПФ ограничены по частоте полосой  $|f| \leq W_s/2$ ,  $s(t)$  и  $n(t)$  целесообразно представить в виде квадратурных составляющих [9]:

$$\begin{aligned} s(t) &= s_c(t) \cos \omega_0 t - s_s(t) \sin \omega_0 t \\ n(t) &= n_c(t) \cos \omega_0 t - n_s(t) \sin \omega_0 t \end{aligned} \quad (2)$$

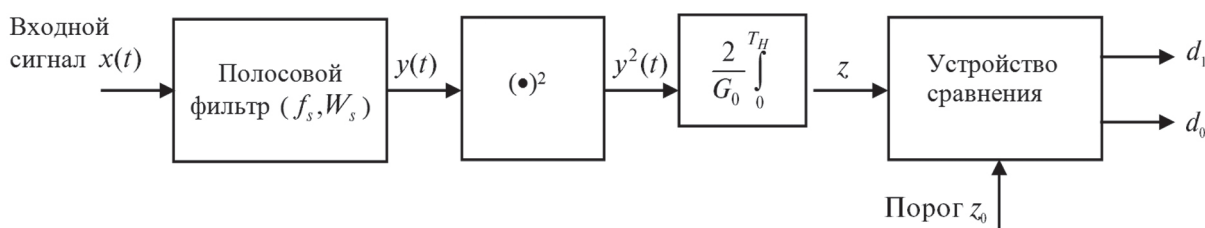


Рис. 2. Структурная схема широкополосного (одноканального) энергетического обнаружителя

При помощи теоремы Котельникова выражение (1) при наличии сигнала (гипотеза  $H_1$ ) преобразуем к виду:

$$z = \frac{1}{G_0 W_s} \left\{ \sum_{i=1}^{T_n W_s} \left[ s_c\left(\frac{i}{W_s}\right) + n_c\left(\frac{i}{W_s}\right) \right]^2 + \sum_{i=1}^{T_n W_s} \left[ s_s\left(\frac{i}{W_s}\right) + n_s\left(\frac{i}{W_s}\right) \right]^2 \right\}, \quad (3)$$

где  $n_c(\frac{i}{W_s})$ ,  $n_s(\frac{i}{W_s})$  – независимые гауссовские случайные величины с нулевым средним.

Из (3) следует, что выходная статистика обнаружителя  $z$  описывается нецентральным  $\chi^2$ -распределением с  $2T_n W_s$  степенями свободы и параметром нецентральности

$$\lambda = \frac{2E_s}{G_0}, \quad (4)$$

где  $E_s$  – энергия сигнала в полосе частот  $W_s$  и в интервале времени  $T_n$ . Среднее значение  $M[z]$  и дисперсия  $D[z]$  статистики  $z$  определяются формулами [9]

$$M[z] = \lambda_s + 2T_n W_s; \quad (5)$$

$$D[z] = 4\lambda_s + 4T_n W_s. \quad (6)$$

Вероятности ложной тревоги  $P_F$  и обнаружения  $P_D$  для рассматриваемого обнаружителя описываются выражениями:

$$P_F = \int_{z_0}^{\infty} p_0(z) dz; \quad P_D = \int_{z_0}^{\infty} p_1(z) dz, \quad (7)$$

где  $p_0(z)$ ,  $p_1(z)$  – функции плотности вероятности, которые имеют вид [10]:

$$\left. \begin{aligned} &\text{– при отсутствии сигнала (гипотеза } H_0) \\ p_0(z) &= \frac{1}{2^L \Gamma(L)} z^{L-1} \exp\left(-\frac{z}{2}\right), z \geq 0; \\ p_0(z) &= 0, z < 0; \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} &\text{– при наличии сигнала (гипотеза } H_1) \\ p_1(z) &= \frac{1}{2} \left(\frac{z}{\lambda}\right)^{\frac{L-1}{2}} \exp\left(-\frac{z+\lambda}{2}\right) I_{L-1}(\sqrt{z\lambda}), z \geq 0; \\ p_1(z) &= 0, z < 0, \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где  $I_n(x)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода  $n$ -го порядка;  $\Gamma(L)$  – гамма-функция,  $\Gamma(L) = (L-1)!$ ;  $L = [T_n W_s]$  – число степеней свободы.

Учитывая (7), (8), (9), выражения для вероятностей  $P_F$  и  $P_D$  можно представить в виде:

$$P_F = Q \left[ \frac{z_0 - 2T_{II}W_S}{2\sqrt{T_{II}W_S}} \right]; \quad (10)$$

$$P_D = Q \left[ \frac{z_0 - 2T_{II}W_S - \lambda}{2\sqrt{T_{II}W_S + \lambda}} \right], \quad (11)$$

где  $Q(x)$  – дополнительная функция к гауссовскому интегралу вероятности.

Из (4) и (11) следует, что метод энергетического обнаружения сигналов, основанный на  $\chi^2$ -статистике, опирается только на энергетические показатели сигнала, а именно на отношение сигнал / шум на входе разведприемника.

### Корреляционный радиометр

На рис. 3 приведена структурная схема корреляционного радиометра [9], который содержит две независимые антенны  $A_1$  и  $A_2$ , перекрывающие одну и ту же геометрическую площадь [9, 11].

В случае отсутствия сигнала полезные составляющие, поступающие на вход умножителя из каждого параллельного канала, являются коррелированными (идентичными по амплитуде и фазе), в то время как шумовые составляющие являются некоррелированными. На выходе интегратора только взаимно коррелированные сигналы имеют постоянное напряжение. Преимущество корреляционного радиометра по сравнению с энергетическим обнаружителем заключается в том [9], что корреляционный радиометр для обнаружения сигнала требует отношения сигнал / шум на 3 дБ меньше при одних и тех же вероятностях  $P_F$  и  $P_D$ .

Кроме того, корреляционный радиометр с двумя антеннами  $A_1$  и  $A_2$  позволяет получить информацию относительно направления на источник излучения (передатчик РТС ПИ). При вращении базовой линии, соединяющей антенны, выходное напряжение корреляционного радиометра становится максимальным при условии, что базовая линия перпендикулярна направлению на источник излучения. В случае, если выходное напряжение превышает порог обнаружения, то принимается решение о наличии сигнала и одновременно определяется направление на источник излучения. Если вращение базовой ли-

нии не представляется возможным, то в каналах корреляционного радиометра применяется линия задержки.

Согласно [9, 11] корреляционный радиометр с точки зрения требуемой для обнаружения мощности сигнала РТС ПИ эквивалентен двум независимо работающим широкополосным энергетическим обнаружителям. При этом каждая из антенн обнаружителя должна «охватывать» половину заданной для корреляционного радиометра геометрической площади обзора.

Из вышесказанного следует:

- факт излучения хаотического сигнала обнаруживается корреляционным радиометром уже при малых отношениях сигнал / шум;

- чтобы факт излучения хаотического сигнала не был выявлен корреляционным обнаружителем, необходимо адаптивно понижать выходную мощность передатчика и повышать чувствительность приемника (работа «под шум»).

### Цифровой анализатор спектра

Алгоритм работы анализатора спектра при обнаружении сигнала приведен на рис. 4.

С теоретической точки зрения выходные сигналы анализатора спектра дискретных частот эквивалентны выходным сигналам квазиоптимального многоканального обнаружителя с некогерентным накоплением [9].

Реализация анализатора спектра требует преобразования высокой частоты от  $f_a$  в область нижних частот до  $f_b$  таким образом, чтобы  $f_a \rightarrow 0$ , а  $f_b \rightarrow f_m$ , где  $f_m = f_b - f_a$ . Перевод полосы высокой частоты в диапазон нижних частот  $(0, f_m)$  предполагает, что перестраиваемые частоты  $f_i$  имеют значения  $f_1 = F_h, f_2 = 2F_h, f_3 = 3F_h$  и т.д., а общее число частот (каналов) будет равно  $f_m / F_h$ . Низкочастотный сигнал вместе с шумом подвергается выборке с частотой  $2f_m$  выборок/с в течение  $T_h, c$  для получения последовательности, состоящей из  $N_m = 2f_m T_h$  выборок. Затем производится вычисление дискретного преобразования Фурье с применением последовательности выборок для каждой перестраиваемой частоты. Одним из путей реализации дискретного преобразования Фурье является использование

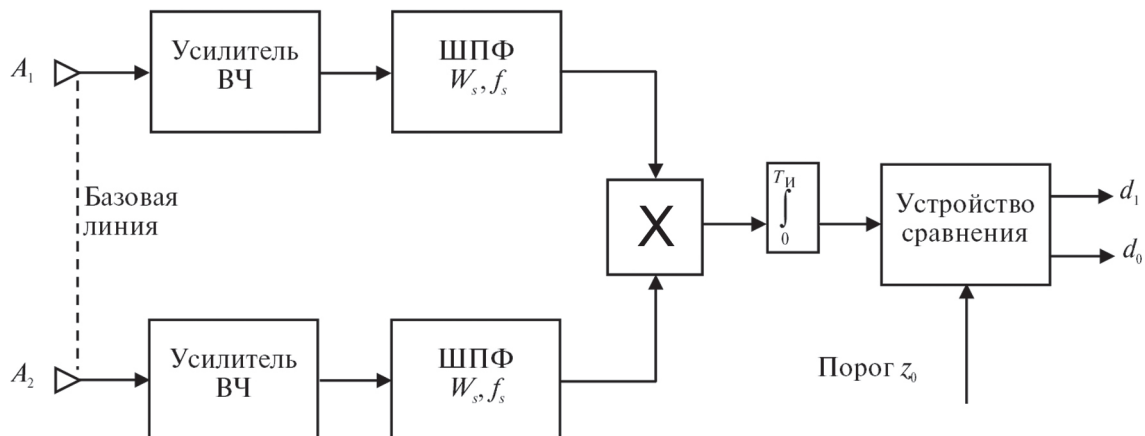


Рис. 3. Корреляционный радиометр

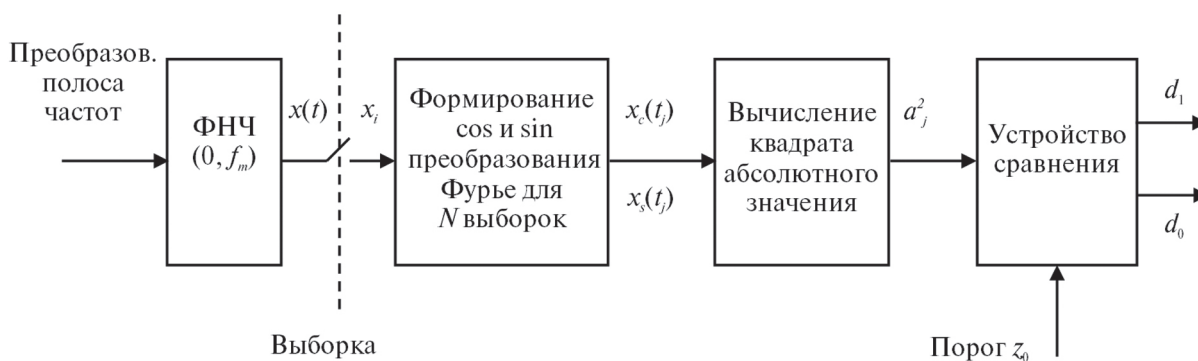


Рис. 4. Алгоритм работы анализатора спектра

цифрового фильтра и алгоритма быстрого преобразования Фурье. При этом косинусное и синусное преобразование Фурье имеют вид [9]

$$\left. \begin{aligned} x_c(t_j) &= \sum_{i=1}^{N_m} x_c \cos\left(i \frac{\pi}{f_m} t_j\right); \\ x_s(t_j) &= \sum_{i=1}^{N_m} x_s \sin\left(i \frac{\pi}{f_m} t_j\right). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Далее вычисляется квадрат абсолютного значения преобразования Фурье

$$a_j^2 = x_c^2(t_j) + x_s^2(t_j), \quad j = 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{f_m}{F_m}\right). \quad (13)$$

Абсолютное значение преобразования Фурье  $a_j^2$  на каждой частоте сравнивается с порогом  $z_0$ , с целью определения является ли ее спектральное значение достаточным для принятия решения о присутствии частотного элемента сигнала. Такая процедура повторяется для каждого скачка частоты. Для перекрытия всего частотного  $W$  разведываемой РТС ПИ необходимо иметь многоканальный анализатор спектра, содержащий  $M_f = W_s / F_h$  одноканальных анализаторов.

### МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Традиционные энергетические методы обнаружения сигналов, рассмотренные выше, опираются только на энергетические показатели сигнала, а именно на базу сигнала и отношение сигнал / шум на входе разведприемника. Для более адекватной оценки скрытности сигнала необходимо переходить в другую область анализа – анализировать «образ» сигнала в фазовом пространстве, т.е. оценивать структуру сигнала.

В работах [12–15] было предложено для оценки структурной скрытности сложных и хаотических сигналов применять BDS-статистику – непараметрическую статистику, которая учитывает дополнительные свойства сигналов и не опирается на вид распределения шума наблюдения (помехи).

BDS-статистика базируется на статистических свойствах корреляционной размерности

процесса в фазовом (псевдофазовом) пространстве, которая в свою очередь определяется корреляционным интегралом [16]. Его вычисления позволяют определить вероятность появления пар точек в псевдофазовом пространстве, находящихся друг от друга на расстояниях, не превышающих  $\epsilon = 0.25\sigma$ , где  $\sigma$  – дисперсия процесса [17]. Корреляционный интеграл определяется выражением [18]:

$$C_{m,N}(\epsilon) = \frac{2}{(N-m+1)(N-m)} \times \sum_{s=m}^N \sum_{l=s+1}^N \prod_{j=0}^{m-1} I_\epsilon(\xi_{s-j}, \xi_{l-j}), \quad (14)$$

где  $I_\epsilon(\xi_i, \xi_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } |\xi_i - \xi_j| \leq \epsilon \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$  – функция

Хевисайда для всех пар значений  $i$  и  $j$ , где  $0 \leq i \leq N$  и  $0 \leq j \leq N$ ,  $m$  – размерность пространства вложения (псевдофазового пространства);  $N$  – количество элементов временного ряда  $\{\xi_i\}_{i=1}^N$  [18].

Брок и другие исследователи показали, что  $C_{m,N}(\epsilon) \Rightarrow C_{1,N}(\epsilon)^m$  с вероятностью 100 % при  $N \rightarrow \infty$ , а  $(C_{m,N}(\epsilon) - C_{1,N}(\epsilon)^m) \cdot \sqrt{N}$  является случайной асимптотически нормально распределенной величиной с нулевым средним и дисперсией,  $\sigma_{m,N}^2(\epsilon)$ , которая определяется как [16]:

$$C_{m,N}^2(\epsilon) = 4 \left\{ R_{1,N}^m + 2 \sum_{j=1}^{m-1} R_{1,N}^{m-j} C_{1,N}^{2j} + (m-1)^2 C_{1,N}^{2m} - m^2 R_{1,N} C_{1,N}^{2m-2} \right\}, \quad (15)$$

где

$$R_{1,N} = \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{s=1}^N I_\epsilon(\xi_i, \xi_s) \right]^2 - 3 \sum_{s=1}^N \sum_{t=s+1}^N I_\epsilon(\xi_s, \xi_t) + 2N \right\}. \quad (16)$$

BDS-статистика определяется следующим выражением [19]:

$$w_{m,N}(\epsilon) = \sqrt{N-m} \frac{C_{m,N}(\epsilon) - C_{1,N-m}(\epsilon)^m}{\sigma_{m,N}(\epsilon)}, \quad (17)$$

и также является нормально распределенной случайной величиной при условии, что оценка  $\sigma_{m,N}(\epsilon)$  близка к ее теоретическому значению.

В контексте анализа BDS-статистики рассмотрим принцип действия непараметрического BDS-обнаружителя хаотических сигналов (рис. 5), предложенного в работах [12–14.]

На входе обнаружителя принятое наблюдение  $\xi(t)$  поступает в блок «R» и одновременно в блоки вычисления корреляционных интегралов « $C_1$ » и « $C_m$ ». В блоке «СКО» вычисляется оценка среднеквадратичного отклонения шума. Полученные данные одновременно с выходов блока разности ( $C_m - C_1^m$ ) и «СКО» поступают на вход блока делителя «БД».

В блоке решающего устройства «РУ  $H_0$ » проверяется нулевая гипотеза  $H_0$  при заданном значении порога  $Z_0$ . Если принимается гипотеза  $H_0$ , то на выходе «РУ  $H_0$ » формируется сигнал «да», т. е. значения в наблюдении  $\xi(t)$  независимы с одинаковыми распределениями, в противном случае – на выходе блока формируется сигнал «нет», который является разрешающим для вычислителя «В». Данные  $\xi(t)$  с блока «ЗУ» подаются в формирователь суррогатных данных «ФСС» для формирования непараметрических статистик «ФНП». В блоке «ФНП» по каждому суррогату вычисляются статистики для блока «СЧ». Из этих статистик формируется оценка плотности распределения вероятности  $P_n$ . Далее в решающем устройстве «РУ  $H_1$ » проверяется справедливость гипотезы  $H_1$  при заданном значении порога  $Z_1$ , если гипотеза принимается, то на выходе блока «РУ  $H_1$ » появляется сигнал «да», т. е. в наблюдении  $\xi(t)$  присутствует хаотический сигнал с вероятностью  $P_n$ , в противном случае – на выходе блока присутствует сигнал «нет».

На рис. 6 приведены результаты оценки структурной скрытности хаотического сигнала с помощью BDS-статистики. Анализ рисунка показывает, что ФКМ-сигнал (кривая 1) обнару-

живается BDS-обнаружителем при отношении сигнал / шум -6 дБ, а хаотический сигнал (кривая 2) – при 3 дБ.

### ВЫВОДЫ

Рассмотренные в работе энергетические методы обнаружения сигналов опираются только на энергетические показатели сигнала, а именно на базу сигнала и отношение сигнал / шум на входе разведприемника. Поэтому для недопущения факта обнаружения хаотического сигнала, необходимо адаптивно понижать выходную мощность передатчика и повышать чувствительность приемника (работа «под шум»).

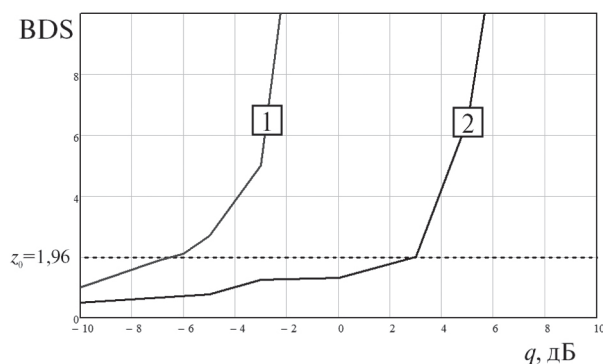


Рис. 6. Зависимость значений BDS-статистики от отношения сигнал / шум (1 – ФКМ-сигнал, 2 – хаотический сигнал)

Применение методов нелинейного анализа, основанных на BDS-статистике, позволяет выявить хаотический сигнал непараметрическим обнаружителем, ввиду явной структурированности сигнала в фазовом пространстве. Для повышения скрытности хаотического сигнала необходимо усложнять его фазовый портрет, т.е. усложнять структуру сигнала.

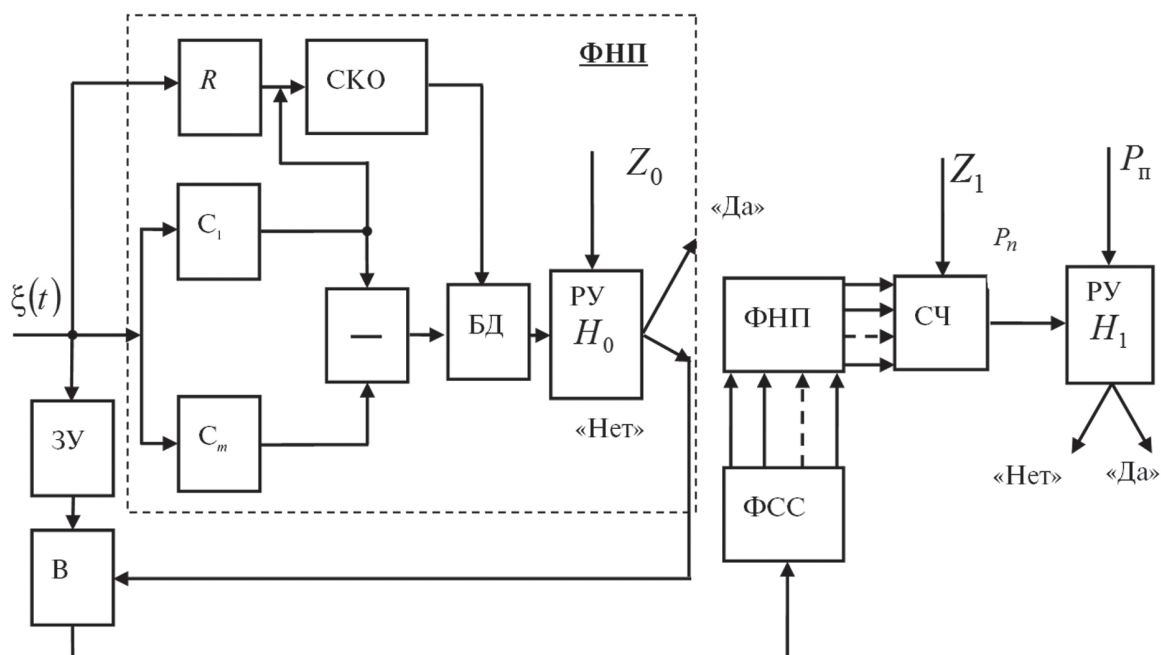


Рис. 5. Структурная схема BDS-обнаружителя

## Литература

- [1] *Макаренко С.И.* Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов. — СПб.: Свое издательство, 2013. — 166 с.
- [2] *Птицын Н.* Приложение теории детерминированного хаоса в криптографии / Н. Птицын. — М.: МГТУ, 2002. — 82 с.
- [3] *Короновский А.А.* О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // Успехи физических наук. — 2009. — Т. 179, № 12. — С. 1281–1310.
- [4] *Короновский А.А.* К вопросу о синхронном поведении связанных систем с дискретным временем / А. А. Короновский, А. Е. Храмов, А. Е. Храмова // Письма в ЖТФ. — 2005. — Т. 82, вып. 3 — С. 176–179.
- [5] *Дмитриев А.С.* Сверхширокополосная беспроводная связь на основе динамического хаоса / А.С. Дмитриев, А.В. Клецов, А.М. Лактюшкин и др. // Радиоэлектроника. — 2006. — Т. 51, № 10. — С. 1193.
- [6] *Кузнецов С. П.* Динамический хаос (курс лекций) / С. П. Кузнецов. — М.: Изд. Физико-математической литературы, 2001. — 296 с.
- [7] Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. — М.: Радио и связь, 1985. — 264 с.
- [8] *Радзиевский В.Г.* Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В.Г. Радзиевский, А.А. Сирота 2-е изд., испр., доп. — М.: Радиотехника, 2004. — 431 с.
- [9] Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лымарев и др. — М.: Радио и связь 2000. — 384 с.
- [10] Справочник по специальным функциям: пер. с англ. / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. — М.: Наука, 1979. — 832 с.
- [11] *Torrieri D.J.* Principles of military communication systems / D.J. Torrieri — M.A.: Artech House, Inc., 1981 — 306 p.
- [12] Использование BDS-статистики для оценки скрытности сигнала, полученного перемешиванием хаотической несущей / П. Ю. Костенко, К. С. Васюта, А. Н. Барсуков и др. // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2010. — № 5 (53). — С. 41–45.
- [13] Непараметрический BDS-обнаружитель хаотических сигналов на фоне белого шума / П. Ю. Костенко, К. С. Васюта, А. Н. Барсуков и др. // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2011. — Т. 54, № 1. — С. 23–31.
- [14] Новый подход к непараметрическому обнаружению хаотических сигналов на фоне белого шума с использованием «нелинейной динамической статистики» / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков и др. // Збірник наукових праць ХУПС. — 2010. — № 3 (25). — С. 108–116.
- [15] Обнаружение хаотического процесса искаженного белым шумом с использованием BDS-статистик / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков и др. // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2009. — Т. 52, № 11. — С. 41–50.
- [16] Theiler J. Constrained-Realization Monte — Carlo Method For Hypothesis Testing / J. Theiler, D. Prichard // Physica D. — 1996. — V. 94, No 4. — P. 221–235.
- [17] Chaos or noise: Difficulties of a distinction / M. Cencini, M. Falcioni, E. Olbrich et al // Physical Review E. — 2000. — V. 62, No 1. — P. 427–437.
- [18] *Петерс Э.* Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории Хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс [пер. с англ.]. — М.: Интернет–трейдинг, 2004. — 304 с.
- [19] *Schreiber T.* Discrimination power of measures for nonlinearity in a time series / T. Schreiber, A. Schmitz // Physical Review E. — 1997. — V. 55, No 5. — P. 5443–5447.

Поступила в редколлегию 28.11.2013

**Васюта Константин Станиславович**, фото и сведения об авторе см. на с. 486.

**Кушнир Александр Иванович**, начальник войск связи и информационных систем — заместитель начальника штаба командования Воздушных Сил ВС Украины. Научные интересы: применение хаотических сигналов в радиотехнических системах.

**Озеров Сергей Викторович**, адъюнкт кафедры боевого применения радиотехнического вооружения Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: применение хаотических сигналов в радиотехнических системах передачи информации.



УДК 621.391

**Аналіз методів виявлення хаотичних сигналів** / К.С. Васюта, А.І. Кушнір, С.В. Озеров // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2013. — Том 12. — № 4. — С. 553–558.

У роботі розкривається поняття скритності сигналу стосовно до радіотехнічних систем передачі інформації з хаотичною несучою, аналізуються методи виявлення хаотичних сигналів. Розглядаються причини недостатньої скритності хаотичних несучих з позиції застосування до них методів виявлення, заснованих на аналізі статистичних і динамічних характеристик сигналу.

*Ключові слова:* скритність,  $\chi^2$ -статистика, кореляційний радіометр, цифровий аналізатор спектра, BDS-статистика, непараметричний виявляч.

Л.: 6. Бібліогр.: 19 найм.

UDC 621.391

**Analyzing methods for detection of chaotic signals** / K.S. Vasyuta, A.I. Kushnir, S.V. Ozerov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2013. — Vol. 12. — № 4. — P. 553–558.

The paper reveals the concept of signal security as applied to radio systems of information transmission with a chaotic carrier as well as analyzes methods of detecting chaotic signals. The causes of insufficient secrecy of chaotic carriers from the position of applying the detection methods to them which are based on the analysis of statistical and dynamic signal characteristics are considered.

*Keywords:* secrecy,  $\chi^2$ -statistics, correlation radiometer, digital spectrum analyzer, BDS-statistics, nonparametric detector.

Fig.: 6. Ref.: 19 items.