

$$\ln(q_{i+1}/q_i) = \lambda, q_i, q_{i+1} \in R^+, \lambda > 0,$$

где  $i=1, 2, \dots, n-1$ ;  $\lambda$  – неизвестная постоянная;  $R$  – множество всех действительных чисел;  $R^+$  – множество всех положительных чисел. Следовательно, если выбран первый способ сравнения, то выполняется

$$q_i - q_j = d_{ij}, q_i, q_j \in R, \lambda > 0, \quad (1)$$

если выбран второй, то

$$\ln(q_i/q_j) = d_{ij}, q_i, q_j \in R^+, \lambda > 0, \quad (2)$$

где  $d_{ij} = \lambda(r_i - r_j)$ ,  $r_i = i, r_j = j, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$ ;  $\lambda$  – неизвестная постоянная. Значение  $d_{i,j}$  будем называть элементом матрицы парных сравнений  $D$ , функцию  $r_i = r(A_i)$  – рейтингом,  $r_i$  – рейтингом объекта  $A_i$ , в рассматриваемом случае  $r_i = i$ . Можно сформулировать обратную задачу, найти значения величины  $Q$ , если на основании наблюдений известна матрица парных сравнений и не определен первый (1) или второй (2) способ сравнения.

Определение 1. Пусть величина объектов  $A_1, A_2, \dots, A_n$  изменяется равномерно. Тогда выполняется равенство (1) или (2), где  $d_{ij} = \lambda(r_i - r_j)$ ,  $r_i = i, r_j = j, \lambda > 0, \lambda$  – неизвестная постоянная,  $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n, q_i = q(A_i)$  – значения величины  $Q$ ;  $d_{ij}$  – матрица парных сравнений. Отображение  $r_i = r(A_i) = i$  будем называть рейтингом объекта.

Последовательность значений  $q_i, i=1, 2, \dots, n$  в первом случае (1) является арифметической, а во втором случае (2) – геометрической прогрессией. Таким образом, сформулировано классическое определение рейтинга.

На практике значения рейтинга можно получить, проводя парные сравнения объектов. Пусть в качестве объекта, с которым сравнивают все объекты, выбран объект с номером  $a$ . Тогда соответствующую систему линейных уравнений обозначим  $M_a$ .

**Критерий  $K_1$ .** Математическая модель рейтинга адекватна эмпирическим данным, если частные решения альтернативных систем  $M_a$  и  $M_b$  связаны статистически значимой линейной возрастающей зависимостью:  $r_i^a = kr_i^b + C + \varepsilon_i$ ,

где коэффициент регрессии  $k$  является положительным и значимым,  $i = 1, \dots, n, C$  – постоянная,  $\varepsilon_i$  – случайные ошибки, независимые нормально распределенные случайные величины с математическим ожиданием  $E(\varepsilon_i) = 0$  и постоянной дисперсией,  $r_i^a$  и  $r_i^b$  – частные решения альтернативных систем,  $a, b = 1, \dots, n$ .

**Пример, [1].** Построить функцию принадлежности нечеткого множества "высокий мужчина" на универсальном множестве  $M = \{170, 175, 180, 185, 190, 195\}$ . Парные сравнения удобно записать в виде матрицы парных сравнений:

Таблица 1 – Отношение рейтингов

$H_i/H_j$	170	175	180	185	190	195
170	1	1/2	1/4	1/6	1/8	1/9
175	2	1	1/3	1/5	1/7	1/8
180	4	3	1	1/4	1/4	1/5
185	6	5	4	1	1/3	1/3
190	8	7	4	3	1	1
195	9	8	5	3	1	1

На основании табл. 1 получим частные решения (столбцы табл. 2),

Таблица 2 – Разность рейтингов

$H_i/H_j$	170	175	180	185	190	195
170	0	-1	-3	-5	-7	-8
175	1	0	-2	-4	-6	-7
180	3	2	0	-3	-3	-4
185	5	4	3	0	-2	-2
190	7	6	3	2	0	0
195	8	7	4	2	0	0

Корреляционная матрица частных решений приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Корреляционная матрица

1,00	1,00	0,97	0,99	0,98	0,99
1,00	1,00	0,97	0,99	0,98	0,99
0,97	0,97	1,00	0,97	0,97	0,98
0,99	0,99	0,97	1,00	0,96	0,98
0,98	0,98	0,97	0,96	1,00	1,00
0,99	0,99	0,98	0,98	1,00	1,00

Результаты расчетов подтверждают, адекватность математической модели рейтинга эмпирическим данным.

#### Литература

1. Романчук В.М. Оценивание методом рейтинга // Информатика. – 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 52–61.

УДК 004.056:061.68

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СКРЕМБЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ПРОИЗВЕДЕНИЕМ ДВОИЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Бокуть Л.В.<sup>1</sup>, Деев Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

Рассматривается защита информации от перехвата за счет увеличения энергетической скрытности канала связи. Классический метод повы-

шения энергетической скрытности за счет снижения спектральной плотности энергии модулирующего сигнала путем расширения его спек-

ра с последующей угловой модуляцией имеет характерный колоколообразный спектр сигнала в канале. Этот спектр легко фиксируется средствами радиобнаружения. Если спектр сигнала в канале будет подобен спектру белого шума, то установить факт сеанса связи сложно. Сформировать такой спектр скремблированного частотно – модулированного (ЧМ) сигнала можно произведением двоичных последовательностей, одна из которых – псевдослучайная с известным законом формирования, другая – случайная, формируемая с помощью источника физического шума и компаратора.

Смесь сигнала и помехи, принимаемую на входе устройства обработки ЧМ сигнала, можно представить:

$$r(t) = S(t) + n(t), \quad (1)$$

где  $S(t)$  – скремблированный частотно-модулированный сигнал,  $n(t)$  – помеха представляет белый гауссовский шум.

Алгоритм оптимального приёма сигнала на фоне помехи сводится к определению уравнений для текущих оценок информационного параметра  $\lambda^*(t)$  и параметра задержки  $\tau^*(t)$  скремблированного сигнала. Эти уравнения для случая некогерентной обработки сигнала имеют вид [1]:

$$\frac{d\lambda^*(t)}{dt} = -\alpha\lambda^*(t) + \sigma_\lambda^2 \cdot k_0 \frac{\partial L(\tau^*, \lambda^*)}{\partial \lambda^*}; \quad (2)$$

$$\frac{d\tau^*(t)}{dt} = \sigma_\tau^2 \cdot k_0 \frac{\partial L(\tau^*, \lambda^*)}{\partial \tau^*}, \quad (3)$$

где  $\lambda^*(t)$  – оценка сообщения, содержащегося в сигнале;  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий ширину спектра сообщения;  $\tau^*(t)$  – оценка задержки скремблирующей последовательности;  $\sigma_\lambda^2$  и  $\sigma_\tau^2$  – апостериорные стационарные дисперсии оценок соответствующих параметров;  $k_0 = 1/\Delta$  – коэффициент, определяемый временем корреляции  $\Delta$  сигнала.

Функция  $L(\tau^*, \lambda^*)$  в случае слабого сигнала (по отношению к помехе) определяется выражением:

$$L(\tau^*, \lambda^*) = \left[ \int_{t-\Delta}^t r(t) \cdot g(t-\tau^*) \cdot X^*(t) \exp[-j(\omega_0 + \lambda^*)t] dt \right]^2 \quad (4)$$

где  $g(t-\tau^*)$  – синхронизированная псевдослучайная последовательность;  $X^*(t)$  – апостериорная оценка случайной последовательности.

В соответствии с уравнениями (2) – (4) построена структурная схема обработки скремблированного ЧМ сигнала.

Схема устройства обработки скремблированного ЧМ сигнала состоит из перемножителей сигналов (ПС<sub>1</sub> – ПС<sub>4</sub>); полосовых фильтров (ПФ<sub>1</sub> – ПФ<sub>3</sub>), регистра сдвига с обратной связью (РСОС), фильтра нижних частот (ФНЧ); генератора, управляемого напряжением (ГУН); квадратора (КВ); частотного детектора (ЧД).

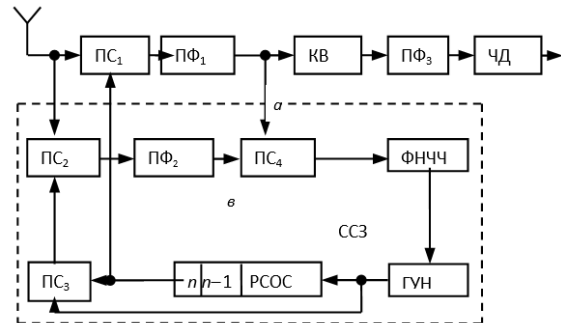


Рисунок 1 – Структурная схема обработки скремблированного сигнала

Операция дифференцирования по  $\tau^*$  в уравнении (3) реализуется за счет формирования на входе (ПС<sub>2</sub>) последовательности типа «Манчестер»:

$$M(t) = g(t - \tau^*) \cdot m(t - \tau^*), \quad (5)$$

где  $m(t)$  – меандр колебаний тактовой частоты

и ПСП  $g(t - \tau^*)$  перемножаются в (ПС<sub>3</sub>).

Схема слежения за задержкой (ССЗ) обеспечивает управление ГУН и осуществляет квазикогерентную обработку фазоманипулированного ЧМ сигнала за счет перемножения в ПС<sub>4</sub> сигналов с выходов прямого ПС<sub>1</sub> и дифференциального ПС<sub>2</sub> каналов. КВ в цепи ЧД обеспечивает снятие фазовой манипуляции с ЧМ сигнала и последующее детектирование в частотном детекторе.

В отличие от известных технических решений в данном случае работоспособность ССЗ обеспечивается за счет снятия случайной фазовой манипуляции в ПС<sub>4</sub>. Случайная последовательность, выделенная полосовым фильтром ПФ<sub>1</sub> подается на вход (а) ПС<sub>4</sub>. Выделение ЧМ сигнала осуществляется после КВ, который снимает случайную фазовую манипуляцию. ПФ<sub>3</sub> и ЧД настроены на вторую гармонику ЧМ сигнала.

Моделирование маскирования информации на основе скремблирования ЧМ сигнала произведением двоичных последовательностей (псевдослучайной с известным законом формирования и случайной, формируемой с помощью источника физического шума) проведено в среде MATLAB Simulink.

На рисунке 2 приведена информационная последовательность, модулирующая частоту радиосигнала.

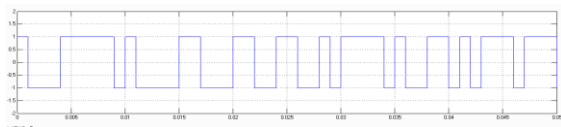


Рисунок 2 – Информационная последовательность

При скремблировании ЧМ сигнала произведением ПСП и клипированного шума спектр расширяется (рис. 3). Полоса спектра ПСП значительно больше полосы спектра шумовой последовательности. При обработке обеспечивается корреляционная свертка спектра скремблированного сигнала до полосы шумовой последовательности. Отношение сигнал/шум в этой полосе в  $N$  раз больше чем на входе. Таким образом, на входе квадратора, снимающего с ЧМ сигнала скремблирующую шумовую последовательность, спектр имеет такую же полосу, как у исходного ЧМ сигнала.

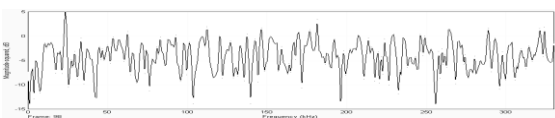


Рисунок 3 – Спектр скремблированного сигнала

Результат компьютерного моделирования разработанных алгоритмов подтверждает энергетическую скрытность сигнала, а отсутствие регулярности спектральных составляющих в скремблированном ЧМ сигнале его структурную скрытность. Форма сигнала на выходе ЧД подтверждает качественное выделение информационной последовательности.

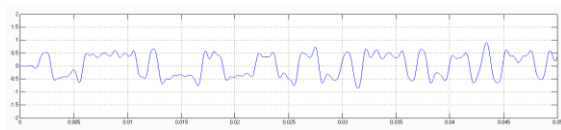


Рисунок 4 – Сигнал информационной последовательности на выходе частотного детектора

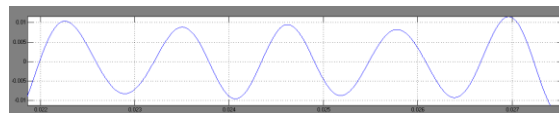


Рисунок 5 – Дескремблированный сигнал

Для оценки качества выделения сообщения при скремблировании ЧМ сигнала используется вероятность ( $P_e$ ) ошибки воспроизведения элемента информационной последовательности. Эта вероятность определяется отношением сигнал – шум ( $q_2$ ) на выходе ПФ<sub>2</sub>. Для некогерентного приема частотно – модулированного сигнала вероятность ошибки воспроизведения элемента информационной последовательности [2] составляет

$$P_e = 0,5 \exp[-q_2/4], \quad (6)$$

Особенность предлагаемого скремблирования состоит в том, что кроме энергетической скрытности обеспечивается аperiodичность результирующей двоичной последовательности. Добавление случайной компоненты позволяет избежать регулярности спектральных составляющих и тем самым увеличить число ключевых комбинаций. В приемном устройстве осуществляется свертка спектра сигнала за счет его перемножения на синхронизированную псевдослучайную последовательность. Случайная фазовая манипуляция ЧМ сигнала снимается возведением в квадрат.

Согласно основным характеристикам (уровню защиты информации, стоимости и сложности реализации) рассмотренный способ является предпочтительным для использования в системах конфиденциальной радиосвязи.

#### Литература

1. Тихонов, В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 512 с.
2. Чердынцев В.А., Деев Н.А. Подавление комплекса помех в каналах связи / В.А. Чердынцев, Н.А. Деев // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – № 2. – С. 31–36.

УДК 620.17

### УСТРОЙСТВО И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСШИРЕНИЯ И НАГРЕВАНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ГИПСА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Киселев М.Г., Богдан П.С., Монич С.Г., Кучинская О.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Гипс – это один из самых распространенных вспомогательных материалов, используемых в зуботехническом производстве.

Согласно ГОСТ Р51887-2002, ИСО 6873, все стоматологические гипсы делятся на пять классов, в соответствии с их назначением и твердостью:

1. Гипс для оттисков. Мягкий и податливый низкотвердый гипс. Используется для получения

частичных и полных оттисков (окклюзионных оттисков), в том числе и с челюстей без зубов. Такой гипс быстро твердеет и обладает наименьшим расширением.

2. Медицинский гипс. Алебастровый гипс обычной твердости. Этот вид материала подходит для изготовления диагностических анатомических моделей, а также моделей, используемых для планирования ортопедической конструкции. Гипс