

**СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ  
АЛГОРИТМА ПРИЕМА «В ЦЕЛОМ» СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ  
СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ С МЕЖСИМВОЛЬНОЙ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ**

Одним из методов сужения спектра передаваемой последовательности сигналов является применение спектрально-эффективных сигналов с межсимвольной интерференцией (МСИ). Под МСИ понимается явление наложения сигналов, соответствующих подряд идущим передаваемым канальным символам. Использование сигналов с МСИ приводит к уменьшению помехоустойчивости приема. Для сохранения той же вероятности ошибочного приема, что и для сигналов без МСИ, необходимо увеличить мощность передаваемой последовательности сигналов. Под удельными энергетическими затратами будем понимать отношение энергии, затрачиваемой на передачу одного информационного символа (в данном случае информационный символ совпадает с канальным)  $E_{\sigma}$  к спектральной плотности средней мощности нормального белого шума  $N_0$ , действующего в канале связи. Для снижения удельных энергетических затрат при использовании сигналов с МСИ целесообразно использовать алгоритм приема «в целом».

Пусть передаваемая случайная последовательность сигналов  $s(t)$  имеет вид

$$s(t, d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}) = A_0 \sum_{k=0}^{N-1} d_r^{(k)} g(t - kT) \cos(\omega_0 t),$$

где  $d_r^{(k)}$  – символ канального алфавита, переданный на интервале  $[kT; (k+1)T]$  и принимающий два возможных значения 1 или -1,  $g(t)$  – сигнал длительностью  $nT$ , соответствующий символу  $d_r^{(k)}$ . При выборе  $n > 1$  возникает явление межсимвольной интерференции. Будет рассмотрены значения  $n = 2, 4$  для

$$g(t) = A_0 \sin\left(\frac{\pi(t - nT/2)}{T}\right) / \left(\frac{\pi(t - nT/2)}{T}\right), \quad 0 < t < nT$$

На рис. 1 изображены графики функции  $g(t)$  для  $n=2, n=4$ .

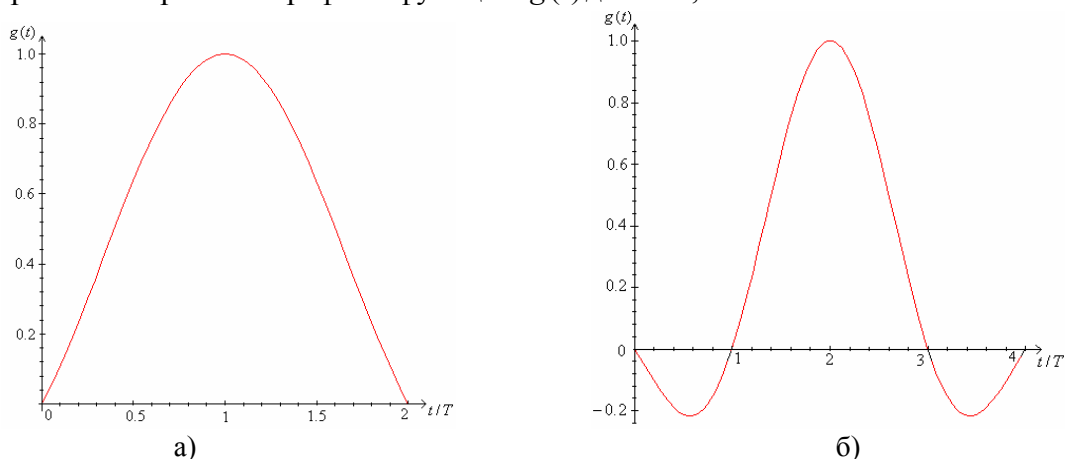


Рис. 1. Графики функции  $g(t)$ : а) при  $n=2$ ; б) при  $n=4$

Алгоритм приема сигналов в «целом» заключается в нахождении такой последовательности символов  $\hat{d}_r^{(0)}, \hat{d}_r^{(1)}, \dots, \hat{d}_r^{(N-1)}$ , которая минимизирует величину

$$f(d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}) = \int_0^{NT} (x(t) - s(t, d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}))^2 dt,$$

где  $x(t) = s(t, \tilde{d}_r^{(0)}, \tilde{d}_r^{(1)}, \dots, \tilde{d}_r^{(N-1)}) + n(t)$  – передаваемый сигнал,  $\tilde{d}_r^{(0)}, \tilde{d}_r^{(1)}, \dots, \tilde{d}_r^{(N-1)}$  – передаваемая последовательность канальных символов,  $n(t)$  – нормальный белый шум.

В простейшем случае простого перебора всех возможных последовательностей символов количество операций сравнения для нахождения решения равно  $2^N$ .

Для уменьшения количества операций сравнения будем использовать алгоритм Витерби [1]. Суть алгоритма Витерби заключается в том, что в моменты времени  $t = kT$ , где  $k = n, n+1 \dots N$  происходит отсев половины комбинаций  $d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(k)}$  путем разбиения их на пары, у которых  $n-1$  последних символов совпадают. В каждой паре определяется лучшая комбинация. Т.о. число предполагаемых решений в данные моменты времени становится равным  $2^{n-1}$ . Увеличение числа комбинаций производится добавлением к каждой оставшейся комбинации по два приращения символами 1 и -1. Количество операций сравнения для нахождения  $(\hat{d}_r^{(0)}, \hat{d}_r^{(1)}, \dots, \hat{d}_r^{(N-1)})$  при больших  $N$  примерно равно  $2^{n-1} N$ .

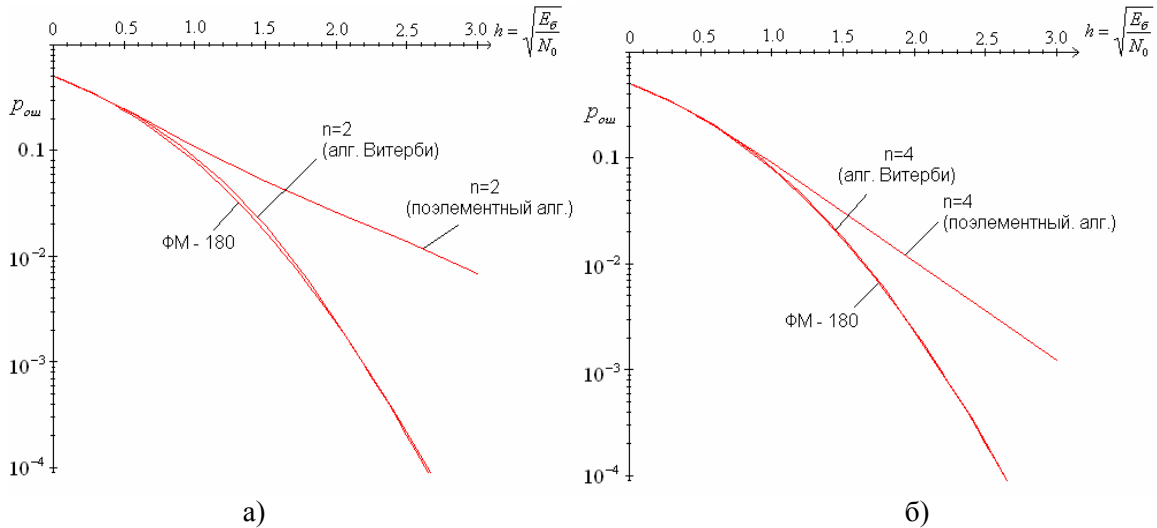


Рис. 2. Графики вероятностей ошибочного приема по поэлементному алгоритму и алгоритму Витерби а)  $n=2$ ; б)  $n=4$

На рис. 2 приведены кривые средней вероятностей ошибочного приема символов для  $N=500$  (проведено 2000 экспериментов) от значения  $h_0 = \sqrt{E_s / N_0}$  для алгоритма Витерби

(численный расчет) и поэлементного алгоритма:  $d_r^{(k)} \int_{kT}^{(k+n)T} x(t)g(t-kT)\cos(\omega_0 t)dt > 0$ .

Уменьшение вероятности ошибочного приема при увеличении  $n$  связано с уменьшением дисперсии, модуля минимального и максимального значения дискретной

случайной величины  $\sum_{i=1}^{n-1} d_r^{(i)} \int_0^{nT} g(t)g(t \pm iT)dt / \int_0^{nT} g^2(t)dt$ , определяющей уровень МСИ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Макаров С.Б., Цикин И.А. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания. – М.: Радио и связь, 1988.