

К.А. Индюхов, С.Ю. Андреев

(г. Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации)

**ВЕРОЯТНОСТЬ СИМВОЛЬНОЙ ОШИБКИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ БЕЗ ПАМЯТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ**

PROBABILITY OF SYMBOL ERROR OF THE OPTIMAL RECEIVER FOR MODULATION WITHOUT MEMORY UNDER THE CONDITIONS OF IMPACT OF NON-STATIONARY INTERFERENCE

*Приведены математические выражения, позволяющие определять вероятность символической ошибки в условиях воздействия нестационарных помех.*

*Mathematical expressions are given to determine the probability of a symbolic error under the influence of non-stationary interference.*

*Ключевые слова: вероятность символической ошибки, позиционность модуляции, ядерные методы оценки.*

*Keywords: probability of a symbolic error, the positional feature modulation, kernel estimation methods.*

Вероятность символической ошибки является значимой характеристикой качества оптимального приемника для модуляции без памяти. Очевидно, что оптимизировать её значение не имеет смысла. Однако, можно выполняя требования по максимально допустимой вероятности ошибки определять минимальное допустимое значение расстояния между позициями модуляции или менять позиционность модуляции сохраняя неизменным расстояние. Отметим, что позиционность характеризует скорость передачи данных, а расстояние в первую очередь взаимосвязано с энергетикой сигнала.

Обычно при расчете вероятности ошибочного приема символа считают что шум, присутствующий в канале связи, распределён нормально с нулевым математическим ожиданием и некоторой дисперсией  $\sigma_{\text{ш}}^2$ . В таком случае предлагается использовать следующую формулу из [1]:

$$P_M = \frac{M-1}{M} \frac{2}{\sigma_{\text{ш}} \sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\tau}{2}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{\text{ш}}^2}} dx, \quad (1)$$

где  $P_M$  - средняя вероятность ошибочного приема символа;

$M$  - позиционность модуляции;

$\tau$  - расстояние между позициями модуляции;

$\sigma_{\text{ш}}^2$  - дисперсия шума в канале связи.

Для  $M$ -позиционной амплитудной модуляции расстояние между соседними сигнальными точками описывается следующей формулой:

$$\tau = \sqrt{2d^2 e_g}, \quad (2)$$

где  $d$  – половина расстояния между амплитудами соседних позиций модуляции;  $e_g$  – энергия базового сигнального импульса.

Далее, преобразуем формулу (2) следующим образом:

$$d^2 e_g = \frac{6P_{cp}T}{M^2-1} = \frac{6P_{cp}T_b k}{M^2-1} = \frac{6e_b \log_2 M}{M^2-1}, \quad (3)$$

где  $T$  – символьный интервал;

$P_{cp}$  – средняя мощность сигнала;

$T_b$  – битовый интервал;

$k$  – длина блоков двоичных символов;

$e_b$  – средняя энергия на бит.

Обычно принято показывать зависимость вероятности ошибки из формулы (1) от отношения средней энергии на бит из формулы (3) к удвоенной дисперсии шума  $\sigma_{ш}^2$  [1].

В ходе анализа формулы (1) несложно заметить, что неуправляемым фактором, влияющим на вероятность ошибочного приема, является дисперсия шума в канале связи. Тем не менее, если в канале присутствует нестационарная помеха, то попытка воспользоваться формулой (1) может привести к тому, что значение  $P_M$  не будет адекватно отражать существующую в канале шумовую обстановку. Это является следствием того, что нестационарная помеха не может быть представлена нормальным законом распределения. Неправильно специфицированная параметрическая модель никогда не сойдется к истинной модели [2].

В связи с этим, для расчета средней вероятности ошибочного приема символа, автором предлагается использовать следующую формулу:

$$P_M = \frac{M-1}{M} \left[ 1 - \left( \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{1}{Nh} \sum_{l=1}^N K_k \left( \frac{x_l - x}{h} \right) dx \right) \right], \quad (4)$$

где  $|\tau_2 - \tau_1| = \sqrt{2d^2 e_g}$ ,  $N$  – объем анализируемой выборки,  $h$  – оптимальная ширина окна ядерной оценки.

В ней расчет осуществляется с помощью ядерных функций, которые, в отличие от параметрического нормального закона, позволяют данным самим определять форму функции плотности вероятности. Таким образом, фиксируя среднюю вероятность ошибочного приема символа, с помощью формулы (4) можно определять либо минимальное требуемое расстояние между позициями модуляции, либо позиционность модуляции.

Таким образом, выдвигается предположение о том, что такой подход, в условиях воздействия нестационарной помехи, позволит увеличить технический эффект цифровых линий связи.

### Список литературы

1. *Прокис Джон*. Цифровая связь: пер. с англ./ Прокис Джон.; под ред. Д. Д. Кловского. - М.: Радио и связь. 2000. - 800 с.
2. *Джеффри Расин*. Непараметрическая эконометрика: вводный курс/ Джеффри Расин // Квантиль. – 2008. – №4. – С. 7 - 56.

*Материал поступил в редколлегию 12.10.20.*