

ОЦЕНКА УХУДШЕНИЯ АВТОКОРЕЛЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО ПСЕВДОСЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА ПОСЛЕ КАНАЛА СВЯЗИ

В. Н. Гарбуз

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Е. А. Храбров

При организации связи в условиях сильных шумов, в частности, когда уровень шума превышает уровень сигнала, чаще всего применяют корреляционный метод приема [1, с. 174]. Требования к передаваемым сигналам в этом случае – хорошие корреляционные свойства, которые обеспечат разборчивость сигнала на фоне шумов. М-последовательности [2] обладают хорошими корреляционными характеристиками (большой центральный всплеск автокорреляционной функции и незначительные побочные) и часто используются при построении каналов связи, в частности в сейсморазведке.

Расчет надежности корреляционного декодера приведен, например, в [3, с. 236]. Вероятность неприема p_n сигнала синхронизации длиной N символов корреляционным приемником с порогом срабатывания k определится с учетом того, что передаваемая последовательность будет не принята, если количество искаженных шумом

отсчетов будет лежать в пределах от $N-k-1$ до N следующим образом (p_T – вероятность искажения одного символа передаваемой последовательности):

$$p_n = \sum_{i=N-k-1}^N C_N^i \cdot p_T^i (1-p_T)^{N-i}. \quad (1)$$

Следует учесть, что данная формула была получена для двоичного канала связи, т. е. символы «1» и «0» передаются постоянными уровнями напряжения. Однако в системах связи для передачи сообщений по каналу связи используется аналоговая реализация М-последовательности с фазовой модуляцией, модулируемым сигналом в которой является синусоида, период следования которой равен периоду следования одного символа модулирующей последовательности [4, с. 22].

Очевидно, что маленькие уровни фазоманипулированного сигнала на участках с фазами около 0 и 180° будут искажены шумом больше, чем большие уровни этого сигнала на участках с фазами 90 и 270° . При приеме моменты выборки отсчетов фазоманипулированного сигнала могут попасть на участки сигнала с фазами около 0 и 180° . В этом случае отсчеты фазоманипулированного сигнала будут сильно искажены шумом в канале связи. Чтобы повысить надежность приема, выборки отсчетов фазоманипулированного сигнала производят несколько раз за период поднесущей фазоманипулированного сигнала. Таким образом, осуществляется корреляционный прием отсчетов, расположенных на участках сигнала и с фазами около 0 и 180° , и с фазами около 90 и 270° . Для оценки помехоустойчивости приемника фазоманипулированного сигнала необходимо найти соотношение, учитывающее рассмотренные выше особенности.

В результате рассмотрения приема фазоманипулированного сигнала, поднесущей которого является синусоида, была получена формула вероятности неприема в зависимости от отношения сигнал-шум x и количества отсчетов на период поднесущей r :

$$p_n(r) = \prod_{i=1}^r \sum_{j=N-k-1}^N C_N^j \cdot p_T \left(r x \frac{\sin^2\left(\frac{2\pi}{r}(i-1) + \frac{\pi}{r}\right)}{\sum_{j=1}^r \sin^2\left(\frac{2\pi}{r}(i-1) + \frac{\pi}{r}\right)} \right)^j \cdot \left(1 - p_T \left(r x \frac{\sin^2\left(\frac{2\pi}{r}(i-1) + \frac{\pi}{r}\right)}{\sum_{j=1}^r \sin^2\left(\frac{2\pi}{r}(i-1) + \frac{\pi}{r}\right)} \right) \right)^{N-j}. \quad (2)$$

Найденная формула была проверена методом имитационного моделирования в математическом пакете *MathCAD*. Результаты проверки, представленные на рис. 1, показывают хорошее соответствие найденной теоретической зависимости (2) и зависимости, полученной на модели системы связи.

Неидеальности канала связи, например, неравномерность его АЧХ и ФЧХ, вносят дополнительные искажения формы передаваемого сигнала, а значит, ухудшают его корреляционные характеристики и разборчивость на фоне шума. Искажение каналом связи фазовых и амплитудных характеристик сигнала приводит к тому, что на входе приемника помимо текущего передаваемого символа присутствует еще и отклик канала на несколько предыдущих символов. Такое явление получило название межсимвольной интерференции. Учесть влияние параметров канала при передаче в качестве сигнала М-последовательности очень сложно. Оценки ухудшения разборчивости приема для самых простых случаев приводятся, например, в [5, с. 325–331]. В силу свойств М-последовательности условия приема каждого символа оказываются уникальными, отличными от любого другого символа. Поэтому определение вероятности неприема по формулам (1) и (2) не дает корректных результатов.

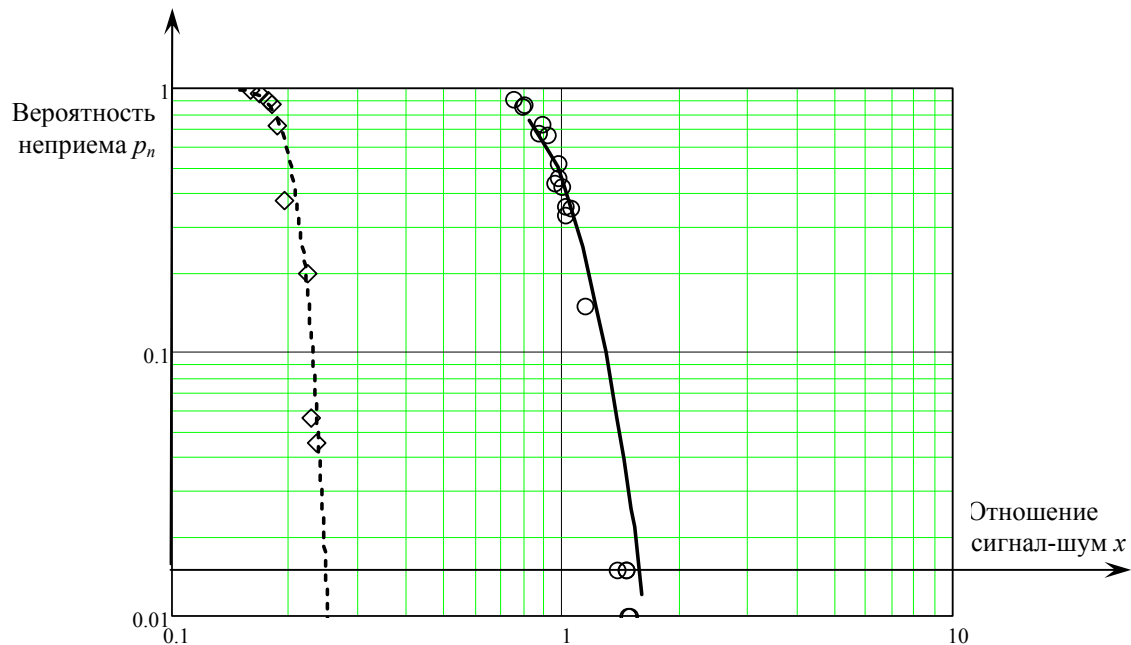


Рис. 1. Зависимость вероятности неприема от соотношения сигнал-шум:

- — — — — корреляционного декодера при числе отсчетов на период следования фазоманипулированного сигнала $r = 6$ (рассчитана по формуле (2));
- ◇ ◇ ◇ — вероятность неприема декодера, определенная методом имитационного моделирования в среде *MathCAD*;
- результаты расчета для канала с искажениями при помощи разработанной программы;
- ○ ○ — точки, полученные на канале с искажениями экспериментально

Для оценки характеристик системы связи с неидеальным каналом передачи сообщения в пакете математического программирования *MathCAD* была разработана программа. Данная программа позволяет, располагая переходной характеристикой канала связи, определить при заданных r , N , k и соотношении сигнал-шум x вероятность неприема M -последовательности.

Проведено макетирование системы передачи цифровой информации. В качестве канала с искажениями для передачи цифрового сообщения использовался звуковой канал: фазоманипулированный сигнал с поднесущей частотой 1 кГц излучался с помощью колонки и принимался на микрофон. Результаты (рис. 1), полученные при макетировании системы цифровой связи, и результаты работы программы совпали, что показывает, что программу можно использовать при расчетах надежности приемников, работающих на каналах с искажениями.

Таким образом, повышение количества отсчетов фазоманипулированного сигнала на период следования одного символа M -последовательности приводит к повышению надежности приема. Предложена формула для расчета вероятности неприема передаваемого фазоманипулированного сигнала в зависимости от заданного соотношения сигнал-шум и количества отсчетов на период. Корректность формулы доказана с помощью имитационного моделирования.

АЧХ и ФЧХ канала связи необходимо учитывать при проектировании телекоммуникационных систем, использующих псевдослучайные сигналы. Искажения сигнала в канале связи приводят к размытию его формы, а следовательно, и ухудшению