

## ВОЗДЕЙСТВИЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПОМЕХ НА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СО СВЕРТОЧНЫМ КОДИРОВАНИЕМ

**Полушин Петр Алексеевич**

доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники и радиосистем.  
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

**Синицин Дмитрий Вячеславович**

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем. ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

**Джулани Ислам**

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем. ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

**Гомес Жилберто Лоуренсо**

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем. ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

*E-mail: pap@vlsu.ru.*

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

**Аннотация:** В современной обстановке на системы передачи цифровой информации действует зачастую набор различных помех. Типичным случаем является совместное действие теплового шума и узкополосной сосредоточенной помехи. Исследованию помехоустойчивости систем со сверточным кодированием в таких условиях функционирования посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** сверточные коды, «мягкое» декодирование, узкополосная помеха, вероятность ошибки.

### Постановка задачи

В настоящее время в связи с постоянным увеличением количества радиоизлучающих средств помеховая обстановка постоянно усложняется. В то же время возрастают и требования на качество передачи информации. Одним из методов обеспечения необходимого уровня помехоустойчивости является использование различного рода кодирования сигналов, в том числе сверточного кодирования. К настоящему времени достаточно подробно исследованы характеристики помехоустойчивости сверточных кодов с различными параметрами. Однако это относится в основном к воздействию АБГШ различного уровня. В то же время помеховая обстановка часто содержит и иные виды помеховых сигналов, приходящие от внешних источников излучения и действующих на приемник совместно с АБГШ ([1–4]).

В этих условиях определенная корректирующая способность сверточных кодов сохраня-

ется, однако, поскольку структурные особенности внешних помех могут сильно отличаться от АБГШ, то и соответствующие характеристики помехоустойчивости также могут сильно измениться. В частности, в этих условиях они будут определяться не соотношением двух показателей: «мощность сигнала-мощность шума», а уже трех показателей мощности: «сигнал-шум-помеха» с учетом дополнительных параметров помехового сигнала. Изучению воздействия на вероятность ошибки внешней сосредоточенной помехи в форме узкополосного колебания совместно с АБГШ в системах со сверточным кодированием посвящена данная статья.

### Явления при демодуляции

Рассмотрим подробнее обработку принимаемых сигналов при демодуляции до сверточного декодирования на примере модуляции BPSK. При этом принимаемый полезный сиг-

нал, опорный сигнал коррелятора и сигнал узкополосной помехи определяются, соответственно, выражениями:

$$S_C(t) = U_C \cos(\omega_C t + \varphi_C + \psi_k),$$

$$S_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$S_Z(t) = U_Z \cos(\omega_Z t + \varphi_Z),$$

где  $U_C$ ,  $U_0$  и  $U_Z$ ;  $\omega_C$ ,  $\omega_0$  и  $\omega_Z$ ;  $\varphi_C$ ,  $\varphi_0$  и  $\varphi_Z$  – соответственно, амплитуды, частоты и начальные фазы полезного сигнала, опорного сигнала и помехи;  $\psi_k$  – значение фазы, равное  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , и несущее передаваемую цифровую информацию.

Полагаем, что в результате автоподстройки частота и начальная фаза опорного сигнала в достаточной степени совпадают с частотой и начальной фазой принимаемого сигнала. В этом случае при приеме  $k$ -го символа после его окончания на выходе коррелятора будет сигнал, равный:

$$u_k = \frac{\alpha}{T_C} \int_{(k-1)T_C}^{kT_C} S_C(t) S_0(t) dt = 0,5\alpha U_C U_0 \cos \psi_k = x_k,$$

где  $x_k$  без учета шума принимает значения  $+1$  или  $-1$  в соответствии с передаваемой информацией;  $\alpha$  – масштабирующий коэффициент, обеспечивающий постоянную величину модуля  $x_k$ . В случае «жесткого» декодирования величина  $x_k$  сравнивается с нулевым порогом, в случае «мягкого» декодирования величина  $x_k$  дискретизируется на соответствующее количество уровней для формирования необходимых метрик переходов.

Считаем, что вне полосы пропускания приемного тракта внешние сосредоточенные помехи подавляются, т.о. требуется учитывать только те помехи, частота которых отличается от  $\omega_0$  на величину не большую, чем половина полосы пропускания тракта,  $|\omega_0 - \omega_Z| < 2\pi/T_C$ .

В случае появления помехи к величине  $x_k$  добавляется помеховая составляющая, равная:

$$z_k = \frac{\alpha}{T_C} \int_{(k-1)T_C}^{kT_C} S_Z(t) S_0(t) dt = \\ = \frac{U_Z}{U_C} \frac{\sin(\Delta\omega T_C/2)}{\Delta\omega T_C/2} \cos(k\Delta\omega T_C + \Delta\varphi),$$

где  $\Delta\omega = \omega_Z - \omega_0$ ;  $\Delta\varphi = \varphi_Z - \varphi_0 - 0,5\Delta\omega T_C$ .

Таким образом, воздействие сосредоточенной помехи проявляется в том, что перед пороговым устройством при «жестком» декодировании информационного сигнала добавляется переменная добавка, изменяющаяся согласно гармонической функции с фазовым сдвигом между соседними символами, равным  $\Delta\omega T_C$ . В результате пороговое устройство принимает ошибочные решения о том, какой символ был передан. При «мягком» декодировании величина отсчетов также определяется неверно.

Сказанное иллюстрируется рис. 1. На графике 1 приведен пример последовательности отсчетов на выходе коррелятора в отсутствии помех (шум также не показан). Под ним помещен график 2 суммы  $x_k + z_k$  отсчетов полезного сигнала и сосредоточенной помехи. На графике 3 изображены значения отсчетов  $x_{Hk}$ , которые формируются после порогового устройства при «жестком» декодировании. На графике 4 изображены значения отсчетов, которые формируются после АЦП при «мягком» декодировании.

В обоих случаях хорошо заметно появление ошибок, однако характер ошибок – различный. В случае «жесткого» декодирования появляются длинные ошибочные серии, в которых независимо от текущих значений отсчетов полезного сигнала формируются подряд идущие отсчеты либо одного, либо другого знака. В случае «мягкого» декодирования в соответствующих сериях, часть отсчетов дискретизируется с некоторой ошибочной добавкой, уровни другой части отсчетов дискретизируются значительно менее точно.

Тем не менее, после декодера из-за его корректирующих свойств общее количество ошибок уменьшается. Степень исправления ошибок определяется различными факторами, результаты ее исследования излагаются в экспериментальной части данной статьи.

### Экспериментальная часть

Для изучения влияния узкополосной помехи на результаты сверточного декодирования было проделано несколько серий компьютерных экспериментов. На рис. 2-4 представлены некоторые характерные зависимости, получен-

ные в экспериментах. Эксперименты производились при кодах разной степени сложности. На рис. 2 и 3 приведены зависимости, полученные для «крайних» ситуаций – простейшего кода и достаточно сложного кода. В качестве простейшего сверточного кода выбран код типа (5,7), образующийся с помощью сдвигового регистра с тремя ячейками памяти. В качестве сложного кода выбран код NASA типа (133,171), образующийся с помощью сдвигового регистра с шестью ячейками памяти. На рисунках графики для первого кода обозначены сплошными линиями, для второго кода – прерывистыми линиями.

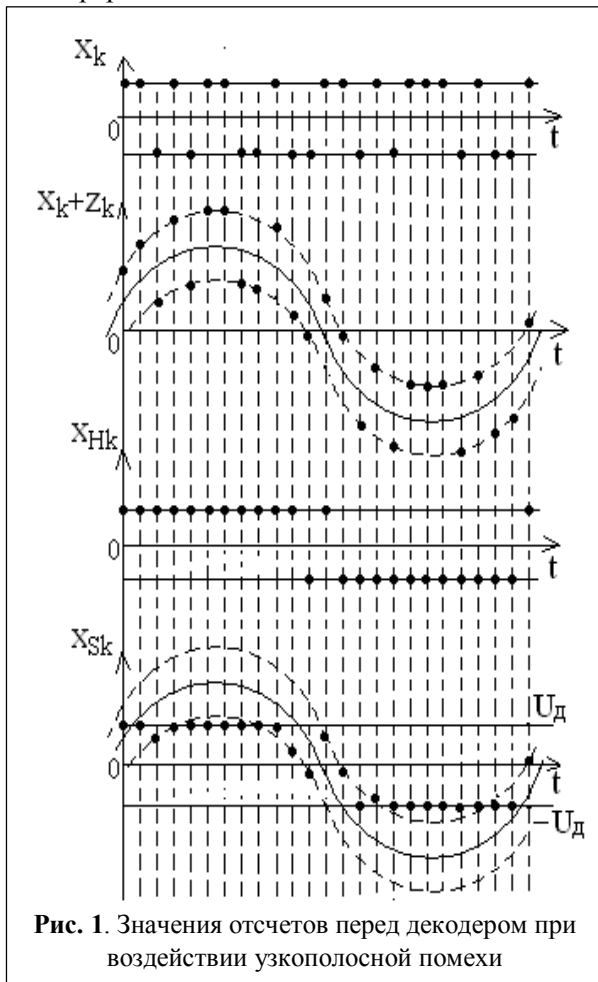


Рис. 1. Значения отсчетов перед декодером при воздействии узкополосной помехи

Во всех экспериментах информационный сигнал имитировался бинарной последовательностью случайных равновероятных символов. Эта последовательность кодировалась сверточным кодом соответствующего типа с кодовой скоростью, равной  $\frac{1}{2}$ . После добавления составляющих узкополосной помехи опре-

деленного уровня последовательность декодировалась с помощью «мягкого» алгоритма Витерби и результат декодирования сравнивался с исходной информационной последовательностью достаточно большой длины. На основе подсчета несовпадений значений символов определялась вероятность ошибки  $P_{\text{ош}}$ .



Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки после декодирования от соотношения уровней сигнала и помехи

На графиках рис. 2 представлены полученные зависимости величины  $P_{\text{ош}}$  от отношения уровней «сигнал/помеха» для различной частотной расстройки несущей частоты полезного сигнала и частоты помехи. Приведены графики для соотношений периода расстройки частоты  $T_Z = 2\pi/(\omega_Z - \omega_0)$  к длительности символа  $T_C$ , равных, соответственно 500 (графики 1); 100 (графики 2) и 10 (графики 3).

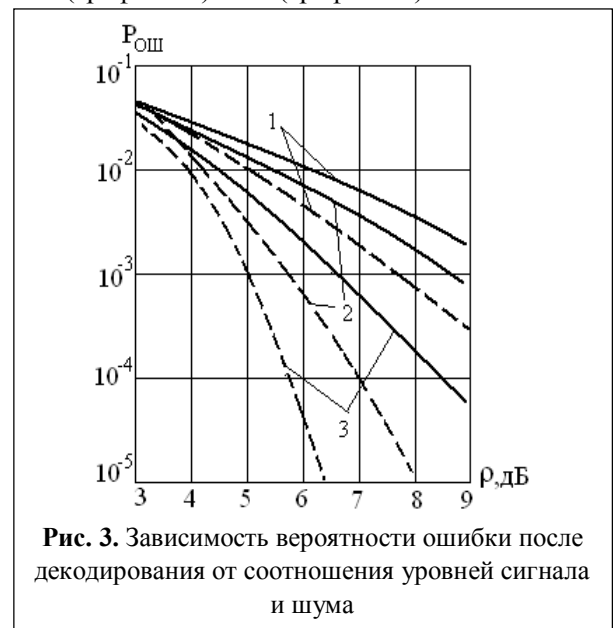
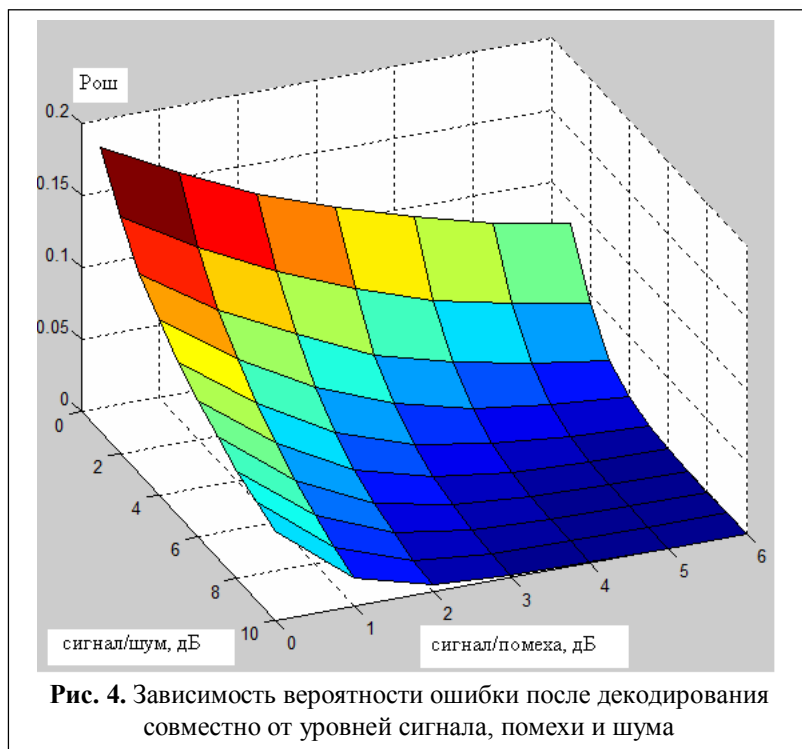


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки после декодирования от соотношения уровней сигнала и шума



Графики на рис. 2 приведены для случая воздействия «чистой» узкополосной помехи, когда влиянием теплового шума на вероятность ошибки можно пренебречь (отношение «сигнал/шум»  $\rho$  полагалось большим, чем 40 дБ). Однако при заметном уровне шума оба эти негативных фактора совместно влияют на результаты декодирования, причем характер их влияния – различный. На рис. 3 в качестве примера приведены типичные зависимости вероятности ошибки  $P_{ош}$  после декодирования от величины  $\rho$  при значении отношения «сигнал/помеха», равном 3 дБ. Сплошные и прерывистые линии здесь также указывает на коды типов (5,7) и (133,171), нумерация графиков соответствует тем же соотношениям периода частоты расстройки помехи и длительности символов, как и на рис. 2. Исследовались также ситуации использования перфорированных сверточных кодов с кодовыми скоростями  $2/3$  и  $3/4$ . Поведение соответствующих кривых в этом случае – аналогичное поведению графиков на приведенных рисунках, помехоустойчивость уступает кодам со скоростью  $1/2$ .

Поступила 10 января 2014 г.

Факт, что вероятность ошибки зависит сразу от двух параметров – и, может быть отражен на 3D графиках, один из которых приведен на рис. 4.

### Выводы

1. Влияние узкополосной помехи на системы со сверточным кодированием при шумах незначительной величины становится заметным, когда уровень помехи соизмерим с уровнем полезного сигнала или превосходит его.

2. Декодеры со сложными типами кодов значительно более устойчивы к воздействию узкополосной помехи.

3. Степень воздействия узкополосной помехи сильно зависит от величины отстройки ее частоты от несущей частоты сигнала, при их сближении негативное воздействие помехи на вероятность битовой ошибки резко возрастает.

Наличие теплового шума заметного уровня существенно усиливает негативное воздействие помех на помехоустойчивость передачи сигналов.

### Литература

1. Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Изд.дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Полушин П.А. Методы борьбы с помехами и искажениями – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2011. – 341 pp.
3. Полушин П.А., Самойлов А.Г. Избыточность сигналов в радиосвязи – М.: Радиотехника, 2007. – 256 с.
4. Полушин П.А., Синицин Д.В., Мартышевская Д.А. Адаптация сверточного алгоритма кодирования при замираниях сигнала/ Материалы 10-й МНТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации ПТСПИ-2013», Владимир, 26-28 июня 2013г., т.1. – С. 133-134.

## The Influence of Concentrated Interferences on Signal Transmitting Systems with Convolutional Encoding

*Pyotr Alekseevich Polushin* – Doctor of Engineering, Professor, Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Dmitry Vyacheslavovich Sinitsyn* – post-graduate student Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Dzhuliani Islam* – post-graduate student Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Gomez Zhilberto Lourenso* – post-graduate student Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Address:* 600000 Vladimir, Gorky str., 87.

*Abstract:* Nowadays various types of encoding are widely applied for transmission of information in digital communication systems, including convolutional encoding with the usage of a soft-decision Viterbi algorithm. Encoding serves the purpose of reducing the probability of an error when operating under the conditions of rather small "signal/noise" magnitude. The action of thermal noise having a Gaussian law of distribution is supposed, as a rule, to be in effect in this case. However, in the modern environment a set of different interferences influences transmitting systems of digital information. The combined action of a thermal noise and a spectrum concentrated narrowband interference is typical in this case. The interference action nature of such structure differs considerably from the action of a thermal noise, so modification of encoding algorithms designated for operation under these conditions requires the analysis of combined effect of both noise and narrowband interference on a decoder. The work describes modeling of the process of soft-decision decoding of the binary information sequence attacked by a Gaussian noise and an external noise, it also specifies characteristics of noise immunity at different interference and noise parameters. The results can be used in the development of efficient algorithms for decoding digital signals under complex interference conditions.

*Key words:* convolutional codes, soft-decision decoding, narrowband interference, error probability.

### References

1. *Sklyar B.* Digital Communication. Theory and Practice. M.: Izd.dom «Viljams», 2003. 1104 p.
2. *Polushin P.A.* Methods of Interference and Distortion Control. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2011. 341 p.
3. *Polushin P.A., Samojlov A.G.* Signal Redundancy in Radio Communication. M.: Radiotekhnika, 2007. 256 p.
4. *Polushin P.A., Sinicin D.V., Martyshesvskaja D.A.* Adaptation of Convolutional Encoding Algorithm at Signal Depression. Materials of the 10th MNTK “Prospective Technologies in Information Transmission Facilities PTSPI-2013”, Vladimir, 26-28 June 2013, Vol.1. P. 133-134.