**Введение**

В данном работе рассматриваются вопрос по помехоустойчивое кодирование. Быстрый рост объемов обработки данных, развитие цифровых систем вещания и вычислительных сетей предъявляют весьма высокие требования к минимизации ошибок в используемой дискретной информации. Переход всех видов создания, хранения, использования и передачи данных, а также средств вещания на цифровые методы, происходящий сейчас во всём мире, ещё более повышает важность высококачественной передачи цифровых потоков и особо надёжного хранения сверхбольших объёмов данных. Успешная работа этих систем возможна только при наличии специальной эффективной аппаратуры, которая позволяет гарантировать достоверную передачу информации. Важнейший вклад в повышение достоверности обмена цифровыми данными вносит теория помехоустойчивого кодирования. На её основе разрабатываются всё новые методы защиты от ошибок, базирующиеся на использовании корректирующих кодов. Эффект от их применения может выражаться в том, что в системе связи они позволяют при прочих равных условиях многократно увеличивать скорость или дальность передачи, снижать размеры очень дорогих антенн или работать при существенно пониженном уровне полезного сигнала. Применение кодирования можно рассматривать и просто как способ многократного увеличения к.п.д. дорогих спутниковых и прочих цифровых каналов связи. Ниже кратко охарактеризована сложившаяся к на- стоящему времени ситуация в технике декодирования. Ограничимся в анализе только системами передачи данных без обратной связи от приемника к передатчику, каналами с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) и линейными кодами, которые существенно облегчают реализацию декодеров.

1. **Обзор технология**

Основное внимание уделим методу коррекции ошибок, называемому многопороговым декодированием (МПД). Основными причинами выбора для глубоких разносторонних исследований и анализа в этом обзоре именно многопороговых алгоритмов являются следующие:

– способность мажоритарных методов исправлять большое число ошибок за пределами гарантированной корректирующей способности;

– крайне незначительная сложность пороговых процедур декодирования;

– свойство разработанных МПД алгоритмов почти всегда достигать оптимальных решений при весьма высоких уровнях шума в канале связи; – предельная легкость реализации МПД даже для очень длинных кодов, когда только и возможно достижение максимально допустимых значений эффективности кодирования. Одной из наиболее важных особенностей разрабатываемых многопороговых алгоритмов, обеспечивающей их высокую эффективность, оказывается идеология проводимых исследований. В то время как все усилия представителей современной западной науки направлены на повышение эффективности новых алгоритмов исправления ошибок при гораздо меньшем их внимании к вопросам сложности реализации, например, выраженной в числе операций декодирования, то обязательным исходным требованием к новым алгоритмам многопорогового декодирования, о которых, в основном, и будет идти далее речь, в течение всех 35 лет их развития всегда являлось предельно малое число операций декодера как при программной, так и при аппаратной их реализации. Столь своеобразный подход к проблеме простого и эффективного декодирования на базе МПД дал поразительные результаты. Оказалось, что практически всегда упрощение уже разработанных ранее алгоритмов становится новой практически неразрешимой проблемой, решением котороваются более простые модификации исходных алгоритмов. Однако во многих случаях такие упрощения довольно заметно снижают эффективность декодирования по срав- нению с исходными методами. В то же время принцип «от простого к более эффективному», которому всегда следовали разработчики алгоритмов класса МПД, продемонстрировал за многие годы их исследования большие возможности Цифровая Обработка Сигналов №1/2008 3 создания и последующей незначительной модификации исходных методов, которая значительно повышала их эффективность при большом уровне шума. Это и позволило сохранить минимальную сложность всех методов декодирования на основе МПД, которая, как будет показано далее, довольно часто оказывается при равной корректирующей способности существенно меньшей, чем у конкурирующих методов, в сотни, а иногда и в тысячи раз.

1. **Принцип многопорогового декодирования**

Многопороговый декодер самоортогональных кодов [1 – 5] является развитием простейшего порогового декодера Месси и позволяет декодировать очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью реализации. В основе работы МПД лежит итеративное декодирование, что позволяет вплотную приблизиться к решению оптимального декодера в достаточно широком диапазоне кодовых скоростей и уровней шума в канале. При этом МПД сохраняет простоту и быстродействие обычного порогового декодера, что делает его очень привлекательным для применения в существующих и вновь создаваемых высокоскоростных системах связи. Рассмотрим принцип работы МПД. Пусть задан двоичный линейный систематический блоковый или свер- точный самоортогональный код (СОК), который используется для передачи сообщения из k двоичных символов. После кодирования общее число кодовых символов равно *n, n>k.* Пример схемы кодера блокового СОК и его многопорогового декодера представлен на рис. 1 и рис. 2. Данный код характеризуется следующими пара- метрами: длина кода n=26, длина информационной части кода k=13, кодовая скорость R=1/2, кодовое расстояние d=5, порождающий полином g(x)=1+x+x 4 +x 6 .