

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ТИПОВ КОДОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Серченя А.А.

Липкович Э.Б. – доцент

Применение помехоустойчивого кодирования с исправлением ошибок в современных системах связи является обязательным. Кодирование информации позволяет, с одной стороны, уменьшить количество ошибок в канале, возникающих из-за влияния частотно-селективных замираний, промышленных помех и прочих факторов, и тем самым уменьшить общее время неготовности линии связи, и с другой стороны, снизить значение пороговой чувствительности приемника, за счет чего можно увеличить энергетику линии связи.

За последние годы в технику связи успешно внедрены многопороговые декодеры, декодеры максимального правдоподобия Витерби, коды Рида-Соломона (РС), каскадные схемы кодирования, алгоритмы турбокодов и др. Однако требования к алгоритмам коррекции ошибок в каналах связи с помехами непрерывно растут. При этом сохраняется основная проблема – декодирование с эффективностью, близкой к оптимальной, при существующем ОСШ в канале связи.

На сегодняшний день известно много различных классов помехоустойчивых кодов, отличающихся друг от друга структурой, функциональным назначением, энергетической эффективностью, алгоритмами кодирования и декодирования и многими другими параметрами. Среди всего разнообразия классификации выделим два вида кодов: блочные и непрерывные. К первым относится код Рида-Соломона, недвоичный циклический блочный код, отличающиеся наличием минимального кодового расстояния Хэмминга  $d_m$  среди блочных кодов с равной величиной  $R_k$ . Среди непрерывных кодов можно выделить сверточные, наиболее распространенные в системах связи благодаря тому, что в каналах с белым гауссовским шумом (БГШ) их использование позволяет получить весьма существенный энергетический выигрыш от кодирования (ЭВК) при относительно простой реализации декодера. Рассмотрим эти два вида кодов и сравним их энергетическую эффективность.

Требуемое отношение сигнал/шум и энергетический выигрыш от кодирования можно вычислить несколькими способами. Первый – это классический способ, трудоемкий и времязатратный, предполагающий знание весовых коэффициентов для каждого вида модуляции и использование сложной вычислительной техники. Однако в данной статье для вычисления требуемых характеристик используется другой способ – математические модели, значительно упрощающие расчеты, использующие при этом лишь основные параметры модуляции и кодирования (свободное расстояние сверточного кода  $d_c$ , минимальное кодовое расстояние Хэмминга  $d_m$ , порядок модуляции  $m$ , относительная скорость кода  $R_k$ ).

В таблице 1 представлены формульные соотношения для определения требуемого отношения сигнал/шум и энергетического выигрыша от кодирования при использовании сверточного кодирования и кодирования кодами Рида-Соломона. Как можно заметить, формульные соотношения имеют сходную структуру для обоих видов кодов. Подобные им математические модели были разработаны также и для других видов кодов (кодов Хэмминга, БЧХ-кодов и др.) и являются гораздо более простыми и эффективными в использовании. Параметры  $C_i$ ,  $q_i$ , использованные в формулах, представляют собой коэффициенты, зависящие от вида модуляции.

Таблица 1 - Формульные соотношения расчета энергетического выигрыша от кодирования для СК и кодов РС

СК 1	Коды РС 2
$h_k = 10 \lg \left[ \frac{2,3 \cdot (D_m - 0,5 \cdot \lg(2,3D_m / \mu_m))}{\mu_m} \right], \text{ дБ}$	$h_k = 10 \lg \left[ \frac{2,3 \cdot (B - 0,5 \cdot \lg(2,3B / \mu))}{\mu} \right], \text{ дБ}$
$\Delta G_k = h_0 - h_{0k} = 10 \lg R_k \cdot d_c \cdot \beta \cdot \xi, \text{ дБ}$	$\Delta G_k = h_0 - h_{0k} = 10 \lg R_k \cdot (t+1) \cdot \beta \cdot \xi, \text{ дБ}$
$\xi = \frac{A - 0,5 \lg(2,3A / q_i)}{D_m - 0,5 \lg(2,3D_m / \mu_m)}$	$\xi = \frac{A - 0,5 \lg(2,3A / q_i)}{B - 0,5 \lg(2,3B / \mu)}$
$\mu_m = R_k d_c \beta_m q_i$	$\mu = R_k (t+1) \beta q_i$
$\beta_m = [1 - L_m / (6\sqrt{P_b} (1 - R_k) \cdot L_m - \lg P_b)] / Q, \text{ дБ}$	$\beta_m = [1 - L_d / (3,5\sqrt{P_b} \cdot L_d - \lg P_b)] / Q, \text{ дБ}$
$L_m = \lg(R_k d_c \sqrt{d_c q_i})$	$L_d = \lg(R_k (t+1) \sqrt{d_m q_i})$

1	2
$A = -\lg P_b - \lg \frac{\sqrt{\pi q_i}}{C_i}$	$A = -\lg P_b - \lg \frac{\sqrt{\pi q_i}}{C_i}$
$D_M = -\lg P_b - \lg \frac{\sqrt{\pi q_i}}{C_i} \cdot (2N - 3) + \lg \left( \sqrt{\frac{\mu}{q_i}} \right), \text{ дБ}$	$B = -\lg P_b - \lg \frac{\sqrt{\pi q_i}}{C_i} + \lg \left( \sqrt{\frac{\mu}{q_i}} \right), \text{ дБ}$
$Q = 1 + \frac{0,8\sqrt{P_b}}{(1 - R_k)}$	$Q = 1 + \lg \frac{(t + 1)n}{2t(-\lg P_b)}$

Кривые помехоустойчивости, полученные вышеобозначенным способом, идентичны тем, что рассчитываются при использовании классического метода их получения с помощью весовых коэффициентов. При расчете получаем, что в области значения ошибок от  $10^{-2}$  до  $10^{-10}$  кодирование с помощью РС кода проигрывает сверточному коду с  $R_{\text{ск}} = 0,75$  по величине ОСШ (около 1 дБ для  $P_b = 10^{-5}$ ) всех рассматриваемых порядков КАМ модуляции и в области значений от  $10^{-3}$  до  $10^{-8}$  РС коды проигрывают сверточному коду при использовании ФМ-М видов модуляции. Соответственно, использование того или иного кода обусловлено величиной вероятности ошибки.

Рассмотрим сравнение кодов еще по одной крайне важной энергетической характеристике – энергетическому выигрышу от кодирования (ЭВК). На рисунке 1 представлены зависимости энергетического выигрыша от кодирования при использовании квадратурно-амплитудной модуляции разного порядка.

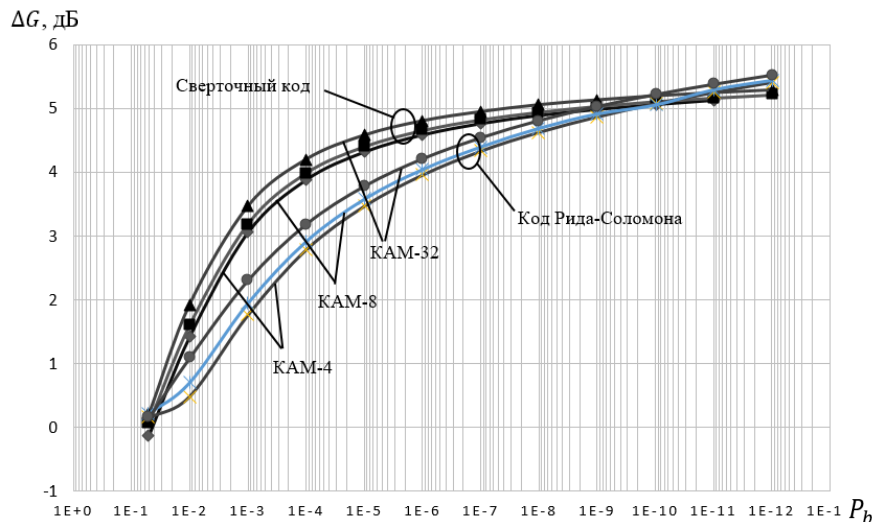


Рисунок 1 – Зависимости  $\Delta G = f(P_b)$  для КАМ-М модуляции при использовании РС и сверточных кодов

Анализ приведенных зависимостей показывает, что в зоне ошибок от  $10^{-2}$  до  $10^{-8}$  сверточное кодирование обладает преимуществами в ЭВК и, следовательно, в энергетической эффективности перед кодом РС с принятыми параметрами. Аналогичное поведение ЭВК для сравниваемых кодов характерно и для каналов с многопозиционной фазовой модуляцией. Различие в ЭВК между зависимостями для  $P_b = 10^{-5}$  составляет около 1 дБ.

Имеется еще ряд характеристик, которые характеризуют тот или иной помехоустойчивый код, однако, как видно из статьи, по энергетическим характеристикам сверточный код обладает преимуществом по отношению к коду Рида-Соломона, что весьма важно для современных систем радиорелейной связи, т.к. это позволяет иметь меньшее ОСШ на входе приемного устройства.

Список использованных источников:

1. Липкович, Э. Б. Цифровые системы радиосвязи и радиовещания : электронный ресурс по учебной дисциплине / Э. Б. Липкович [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2016. – Режим доступа: <http://www.bsuir.by/>
2. Золотарёв, В.В., Овечкин, Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : Справочник / Ю.Б. Зубарев, – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 126 с.