

РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ С МНОГОПОЗИЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ И СВЁРТОЧНЫМ КОДИРОВАНИЕМ

Э.Б. ЛИПКОВИЧ¹, М. БУРКОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kafstk@bsuir.by*

Приведены результаты расчёта эффективности систем по полученным ранее формулам (см. в данном сборнике статью «Эффективность свёрточного кодирования в системах с многопозиционной модуляцией»).

Ключевые слова: помехоустойчивость, декодер Витерби, модуляция.

На рис. 1 приведены зависимости изменения ОНШ (P_0, P_{0K}) на входе демодулятора в функции вероятности ошибки на выходе декодера Витерби $P_{ош.в}$, рассчитанные для систем с QPSK (КАМ-4, ФМ-4) модуляцией и $R_{СК}=1/2, 3/4, 7/8$. Видно, что с уменьшением $R_{СК}$ улучшается помехоустойчивость устройства и расширяется диапазон скорректированных ошибок. Аналитическая взаимосвязь между вероятностями битовых ошибок на входе $P_{ош.вх}$ и выходе декодера Витерби $P_{ош.в}$ при условии $P_0 = P_{0K}$ имеет вид:

$$-\lg P_{ош.вх} = \lg \left(\frac{m \cdot \sqrt{2.3 \cdot \pi}}{2 \cdot (1 - 1/\sqrt{M})} \right) + \frac{A_1 + 0.5 \cdot \lg 2.3 \cdot A_1}{d_c \cdot \beta(P_{ош.в})}, \quad (1)$$

Формула (1) справедлива для КАМ-М с чётными m . Для КАМ-М с нечётными m в (1) следует принять $(1 - 1/\sqrt{M})=1$, для ФМ-М – принять $2 \cdot (1 - 1/\sqrt{M})=1$.

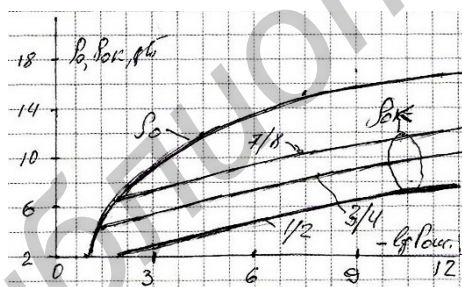


Рис. 1. Кривые помехоустойчивости для QPSK-модуляции

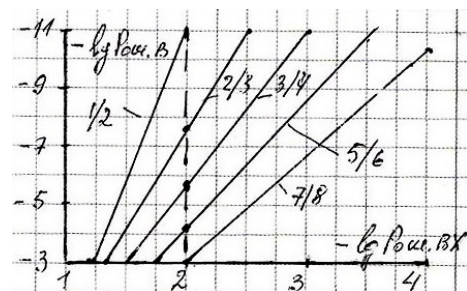


Рис. 2. Уровни исправления ошибок

В соответствии с (1) на рис. 2 представлены характеристики, которые отображают эффективность исправления ошибок декодером Витерби. Уровень исправления ошибок при $P_{ош.вх}=10^{-2}$ составляет от 9 порядков при $R_{СК}=1/2$ до одного при $R_{СК}=7/8$. Важным критерием оценки принятого способа кодирования и декодирования является максимальный уровень ошибок на входе декодера $P_{ош.м}$, с которых начинается их исправление. Формула для определения $P_{ош.м}$ выводится из условия $\Delta G_k=0$ и представляется в виде

$$P_{ош.м} = 10^{-\alpha \cdot (1 - 10^{-\alpha/2})}, \quad \alpha = 1.2 / (1 + 1/d_c \cdot R_{СК}). \quad (2)$$

Согласно (2) для $R_{\text{СК}} 1/2$ и $7/8$ значения $P_{\text{ош.м}}$ составляют $5,9 \cdot 10^{-2}$ и $1,88 \cdot 10^{-2}$ соответственно.

Из анализа полученных формул для ЭВК и помехоустойчивости систем с КАМ-М и ФМ-М модуляцией следует, что применение КАМ-М предпочтительнее ФМ-М при равных M для $M \geq 8$. Вместе с тем, выигрыш от кодирования для них примерно одинаковый и его значение остаётся практически неизменным с повышением M . На рис. 3,а для QPSK-модуляции приведены характеристики ЭВК в функции $P_{\text{ош.в}}$, на рис. 3,б – в функции кодовой скорости $R_{\text{СК}}$. Для $P_{\text{ош.в}}=10^{-6}$ ЭВК составляет от 2,94 дБ для $R_{\text{СК}}=7/8$ до 5,52 дБ для $R_{\text{СК}}=1/2$, в пределе для $R_{\text{СК}}=1/2 \Delta G_{\text{К}}=7,0$ дБ.

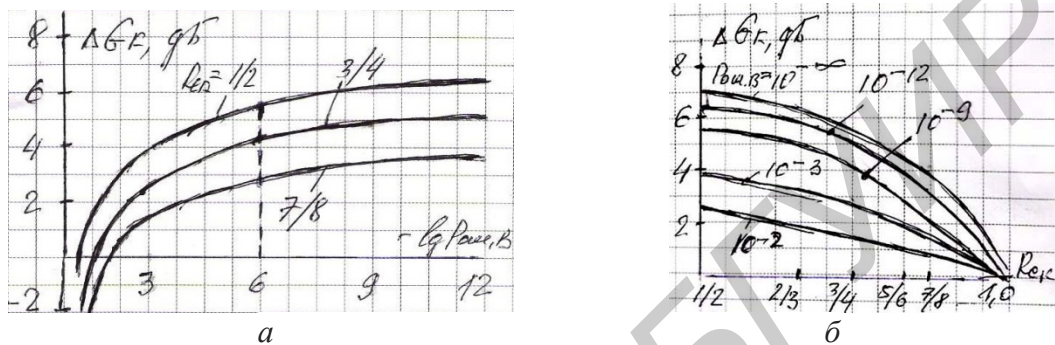


Рис. 3. Энергетический выигрыш от кодирования

На рис.4 показано поведение коэффициента $\xi \approx A_0/A_1$ от уровня ошибок на выходе декодера Витерби. Для $P_{\text{ош.в}} \leq 10^{-6}$ величина $\xi \leq 0,9$ и асимптотически приближается к единице. На рис.5 представлены характеристики информационной эффективности, $\eta_{\text{и}}$, рассчитанные по формуле

$$\eta_{\text{и}} = 10 \lg \frac{B_0}{C} = 10 \lg \left(\frac{0,3 \cdot M \cdot R_{\text{СК}}}{B_0 \cdot 1,5 \cdot (1 + 10^{0,4 \cdot P_{\text{ош.в}}})} \right) = 10 \lg \gamma_0 / \gamma_{\text{ш}}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где B_0, γ_0 – скорость данных в реальном канале связи и его спектральная эффективность; $C, \gamma_{\text{ш}}$ – пропускная способность канала связи и его спектральная эффективность по Шеннону.

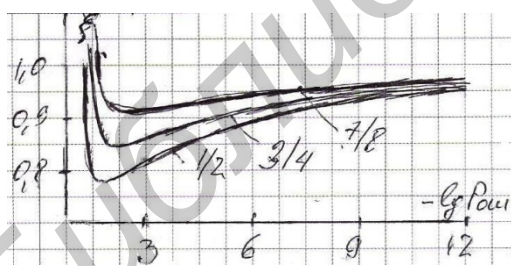


Рис. 4. Поведение коэффициента ξ

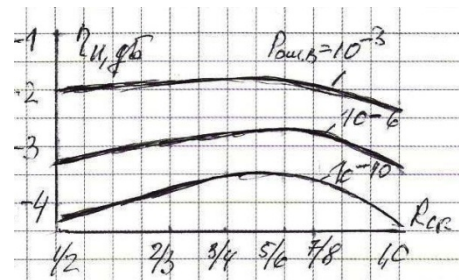


Рис. 5. Информационная эффективность для QPSK – модуляции

Согласно рис. 5 максимум $\eta_{\text{и}}$ приходится на $R_{\text{СК}} 3/4$ и $5/6$. При проектировании систем с кодированием необходимо сбалансировано подходить к выбору параметров в зависимости от приоритетности требований к ним.