

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиотехники

**ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ СВЯЗИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы  
для студентов направления 11.04.01 «Радиотехника»  
Магистерская программа — «Радиотехнические средства  
обработки и защиты информации в каналах связи»

Воронеж 2022

УДК 621.37(07)  
ББК 32.84я7

**Составитель**

*канд. техн. наук, доц. Р. П. Краснов*

**Защита информации в каналах связи: методические указания** к выполнению курсовой работы для студентов направления 11.04.01 «Радиотехника» магистерская программа — «Радиотехнические средства обработки и защиты информации в каналах связи / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Р. П. Краснов. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. - 32 с.

В методических указаниях приведены материалы для выполнения курсовой работы по дисциплине «Защита информации в каналах связи» для студентов 1 курса направления 11.04.01 «Радиотехника». Методические указания содержат два вида заданий, выполняемых по вариантам.

Предназначены для студентов 1 курса направления 11.04.01 «Радиотехника», магистерская программа — «Радиотехнические средства обработки и защиты информации в каналах связи».

Подготовлены в электронном виде и содержатся в файле КР ЗИ в КС 2022.pdf.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 621.37(07)**  
**ББК 32.84я7**

**Рецензент** – А. В. Володько, канд. техн. наук, доц. кафедры РЭУС ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Тематика и состав курсовой работы дают развитие понятий, подходов и методов изученных в ходе теоретической и практической частей курса «Защита информации в каналах связи». Базовыми функциями настоящей работы является развитие самостоятельного подхода к выбору технических решений при создании защищенных систем передачи данных, а также приобретение навыка оценки их основных характеристик и технических показателей.

Задания, изложенные в настоящих методических указаниях, представляются в виде двух вариантов, отличающихся типами исходных данных и методами их передачи.

В первом варианте представлена система передачи данных, источник которой вырабатывает непрерывные сообщения. Передача осуществляется цифровым методом, для защиты информации предложен выбор системы кодирования. При этом важно обеспечить требуемый уровень качества передачи, т.е. ограничить величину средней битовой ошибки. Во втором варианте система передачи данных имеет источник, вырабатывающий дискретные сообщения. Каждый из перечисленных методов построения системы имеет тридцать разновидностей, отличающихся численными значениями исходных данных.

Определение номера варианта и типа задания определяется по номеру зачетной книжки следующим образом. Вариант 1 следует выбирать, если сумма последних трех цифр номера зачетной книжки – четное число. В случае нечетной суммы выбирается вариант 2. Номер набора исходных данных для выбранного варианта равен последним двум цифрам номера зачетной книжки.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

## ВАРИАНТ 1 – Система передачи данных с источником непрерывных сообщений

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ: информационные сообщения от непрерывного источника подвергаются аналого-цифровому преобразованию, в результате формируется ИКМ - сигнал. Для передачи в канале связи с аддитивным белым гауссовым шумом используется помехоустойчивое кодирование и осуществляется модуляция сигнала для согласования полос канала и передатчика.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (приложение А):

1) Источник сообщений вырабатывает информационный сигнал  $b(t)$  с нулевым средним. Получаемый сигнал характеризуется следующими параметрами:

- плотностью вероятности мгновенных значений  $p(b)$ . В зависимости от версии задания,  $p(b)$  может характеризоваться одним из законов распределения случайной величины: нормальным распределением (НР), двусторонним экспоненциальным распределением (ДЭР), равномерным распределением на интервале  $[-b_{max}, b_{max}]$  (РР);

- средней мощностью сигнала  $P_b$ ;

- пик-фактором  $K_a$ ;

- максимальной рабочей частотой  $f_{max}$ .

2) Выполнение аналого-цифрового преобразования непрерывного сигнала в цифровой сопровождается возникновением неустранимой ошибки квантования, характеризующейся отношением сигнал/шум квантования  $\gamma_{кв}$ .

3) Допустимое отношение сигнал/шум на выходе канала  $\gamma_{вых}$ .

3) Вид модуляции.

4) Метод приема: когерентный либо некогерентный.

5) Величина ожидаемого энергетического выигрыша кодирования (ЭВК).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1) Привести *структурную схему* системы передачи данных с источником непрерывных сообщений. Пояснить назначение составляющих блоков, а также дать определение основных параметров, которыми характеризуется каждый блок.

2) Выполнить *расчет АЦП и ЦАП*. Результатом должно быть описание работы схем АЦП и ЦАП, рассчитанные значения частоты дискретизации, интервала дискретизации, количество уровней квантования, длительность двоичного символа, отношение сигнал/шум квантования, допустимая вероятность символьной ошибки на входе ЦАП  $P_{\sigma}$ .

3) Осуществить *расчет информационных характеристик* источника непрерывных сообщений. По заданным вероятностным параметрам сообщений источника и качеству сообщения на входе получателя производится расчет энтальпии  $H_{\epsilon}(b)$  и избыточности  $\chi$ . Сделать вывод о причинах избыточности источника. Определить энтропию квантованных отсчетов в АЦП  $H_{кв}(b)$ . Далее оценить производительность источника цифровых ИКМ - сообщений  $H_{и}$ .

4) Выполнить *расчет помехоустойчивости демодулятора*. По заданному виду модуляции и способу приема построить график зависимости вероятности ошибки двоичного символа на выходе демодулятора от отношения сигнал/шум  $p = f(\gamma^2)$ . Используя заданную величину допустимой вероятности ошибки символа на входе ЦАП  $P_{\sigma}$  определить требуемые отношения сигнал/шум  $\gamma_{\sigma}^2$  и  $(P_c/N_0)_{ЦП}$ .

5) Выбрать *тип корректирующего кода* и *рассчитать помехоустойчивость* системы передачи данных с помехоустойчивым кодированием. Руководствуясь заданным видом модуляции, способом приема и ЭВК, произвести выбор типа корректирующего кода, при котором обеспечивается допустимая величина вероятности символьной ошибки на выходе декодера  $p_D \leq P_{\sigma}$ . Далее необходимо построить зависимость вероятности символьной ошибки на выходе декодера от отношения сигнал/шум на входе демодулятора

$p_d = f(\gamma_\sigma^2)$  и определить полученный ЭВК. Используя отношение  $(P_c/N_0)_a$ , определить требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора  $(P_c/N_0)_{цд}$ . Индекс модуляции определить из двух условий: ограничения полосы частот канала и обеспечение работы демодулятора выше порогового уровня шума.

6) Выполнить *сравнение эффективности* систем передачи непрерывных сообщений. Рассчитать и сравнить информационную, энергетическую и частотную эффективности систем связи: с цифровой передачей и помехоустойчивым кодированием, с цифровой передачей без помехоустойчивого кодирования и аналоговой передачей с частотной модуляцией (ЧМ). Построить график предельной зависимости  $\beta = f(\gamma)$ , точками обозначить эффективность каждой из трех систем передачи. Сравнить полученные показатели эффективности с предельной эффективностью, сделать выводы по результатам сравнения.

7) Сделать *общие выводы* по рассмотренной в курсовой работе системе передачи данных.

## **ВАРИАНТ 2 – Система передачи данных с источником дискретных сообщений**

**ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ:** информационные сообщения от дискретного источника кодируются сначала двоичным примитивным, а затем корректирующим кодом и передаются по каналу связи с аддитивным белым гауссовским шумом сигналом цифровой модуляции.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ** (приложение Б):

1) Дискретный источник вырабатывает независимые равновероятные символы русского либо английского текста с объемом алфавита  $M_a$ .

2) Допустимая вероятность символьной ошибки на входе получателя  $P_{zn}$ .

- 3) Скорость на выходе кодера примитивного кода  $B$ .
- 4) Метод приема: когерентный либо некогерентный.
- 5) Величина ожидаемого энергетического выигрыша кодирования (ЭВК).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1) Привести *структурную схему* системы передачи данных с источником дискретных сообщений. Пояснить назначение составляющих блоков, а также дать определение основных параметров, которыми характеризуется каждый блок.

2) Выполнить *расчет параметров кодера и декодера примитивного кода*. Рассчитать значность кода  $n$ , длительность двоичного символа  $T_\sigma$ , время передачи одного знака  $T_{zn}$ , допустимую вероятность символьной ошибки на выходе декодера  $P_\sigma$ .

3) Произвести *расчет информационных характеристик источника дискретных сообщений*. По заданным вероятностным параметрам источника дискретных сообщений произвести расчет энтропии  $H(A)$ , избыточности  $\chi$  и производительности источника  $H_u$ . Сделать вывод о причинах избыточности источника. Сформулировать требования к пропускной способности канала связи.

4) Выполнить *расчет помехоустойчивости демодулятора*. По заданному виду модуляции и способа приема построить график зависимости вероятности битовой ошибки на выходе демодулятора от отношения сигнал/шум на входе демодулятора  $p = f(\gamma^2)$ . Для величины допустимой вероятности символьной ошибки на входе декодера простого кода  $P_\sigma$  определить требуемые отношения сигнал/шум  $\gamma_\sigma^2$  и  $(P_c/N_0)_1$ .

5) Осуществить *выбор корректирующего кода и расчет помехоустойчивости* системы связи с помехоустойчивым кодированием. Руководствуясь заданным видом модуляции, способом приема и ЭВК, выбрать корректирующий код, при использовании которого обеспечивается требуемая вероятность

ошибки символа на выходе декодера  $p_D = f(\gamma_\sigma^2)$  и определить полученный ЭВК. Далее определить требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора  $(P_c/N_0)_2$ , при котором обеспечивается требуемый уровень вероятности символьной ошибки на выходе декодера  $P_\sigma$ .

6) Выполнить *сравнение эффективности* систем передачи дискретных сообщений. Рассчитать и сравнить информационную, энергетическую и частотную эффективности систем связи: с помехоустойчивым кодированием и без него. Построить график предельной зависимости  $\beta = f(\gamma)$ , точками обозначить эффективность каждой из систем передачи. Сравнить полученные показатели эффективности с предельной эффективностью, сделать выводы по результатам сравнения.

7) Сделать *общие выводы* по рассмотренной в курсовой работе системе передачи данных.

## 2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Структурная схема цифровой системы передачи данных с непрерывным источником приведена на рис. 1, а

Роль кодера примитивного кода здесь выполняет АЦП, формируя сигнал в формате ИКМ. Далее сигнал поступает на вход кодера корректирующего кода, модулируется и поступает в канал связи. Затем выполняется цепочка обратных преобразований, включающая демодуляцию, декодирование и восстановление исходной формы сигнала посредством ЦАП.

Структурная схема цифровой системы передачи данных с дискретным источником приведена на рис. 1, б. Система содержит кодер источника, выполняющий кодирование примитивным кодом, который затем подвергается процедуре корректирующего кодирования. Далее цифровой поток модулируется и поступает в канал связи. На приемной стороне происходит последовательность обратных преобразований:

демодуляция, декодирование с обнаружением и исправлением ошибок, восстановление исходного вида данных.

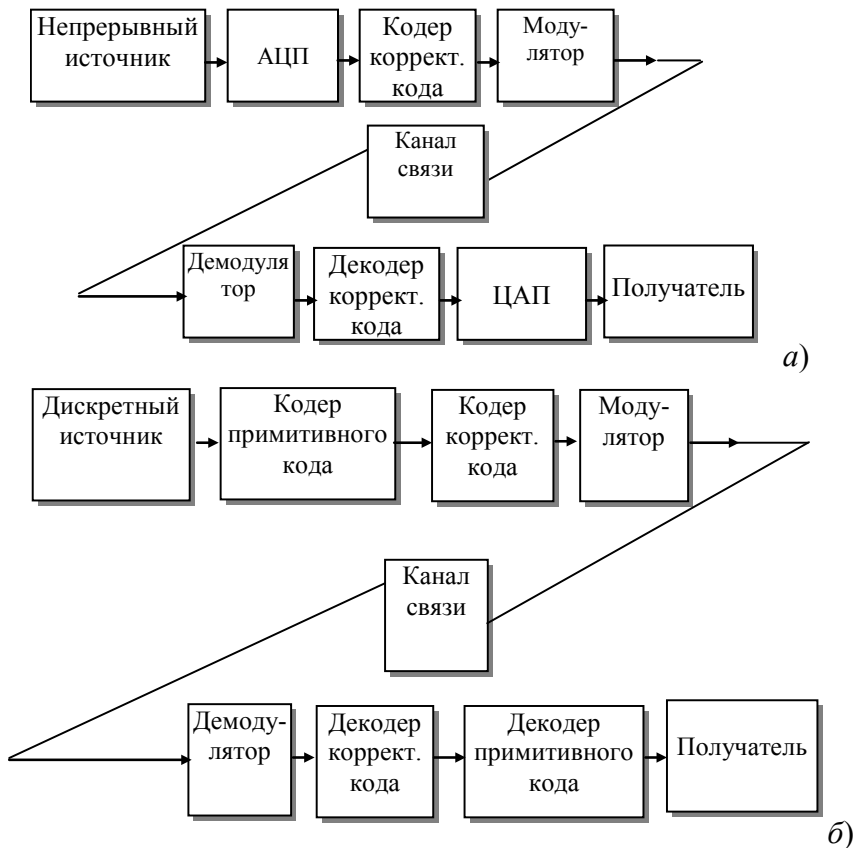


Рис. 1. Структурные схемы систем передачи данных

### 3. АЦП и ЦАП

В этом разделе курсовой работы требуется рассчитать:

- интервал дискретизации  $T_\delta$  и частоту дискретизации  $f_\delta$ ;
- число уровней квантования  $L$  и значность двоичного ИКМ-кода  $n$ ;
- длительность двоичного символа  $T_\sigma$ ;
- отношение сигнал/шум квантования  $\gamma_{кв}$ ;

– допустимую вероятность символьной ошибки  $P_\sigma$  на входе ЦАП.

Интервал дискретизации по времени  $T_\delta$  выбирается на основе теоремы Котельникова. Обратная величина к  $T_\delta$  – частота дискретизации  $f_\delta$  выбирается из условия

$$f_\delta \geq 2f_{\max}. \quad (3.1)$$

Функциональные блоки АЦП и ЦАП необходимо дополнить входным ФНЧ, ограничивающим спектр сигнала. Необходимость такого блока объясняется медленным спадом спектра входного сигнала. Величина  $f_{\max}$  не есть частота, выше которой спектр равен нулю

Схему ЦАП необходимо также дополнить выходным ФНЧ, выполняющим функцию сглаживающего фильтра.

Увеличение частоты дискретизации позволяет упростить входной фильтр АЦП, ограничивающий спектр первичного сигнала, и выходной (интерполирующий) ФНЧ ЦАП, восстанавливающий непрерывный сигнал по отсчетам. Но увеличение частоты дискретизации приводит к уменьшению длительности двоичных сигналов на выходе АЦП, что требует нежелательного расширения полосы частот канала связи для передачи этих символов. Обычно параметры входного ФНЧ АЦП и выходного ФНЧ ЦАП выбирают одинаковыми.

Чтобы входные ФНЧ не вносили искажений, граничные частоты  $f_1$  и  $f_2$  (рис. 2) должны удовлетворять условию

$$\begin{aligned} f_1 &\geq f_{\max}, \\ f_2 &\leq (f_\delta - f_{\max}). \end{aligned} \quad (3.2)$$

При этом, чтобы порядок ФНЧ не оказался слишком высоким, отношение граничных частот следует выбирать из условия:

$$f_2 / f_1 = 1,3 \dots 1,4. \quad (3.3)$$

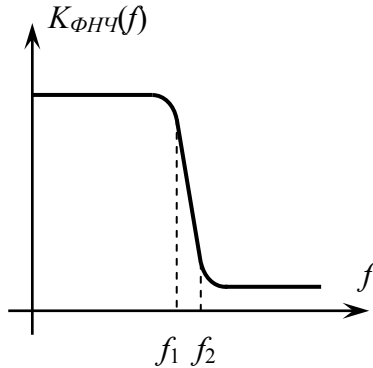


Рис. 2. АЧХ входного ФНЧ

После подстановки соотношений (3.2) в (3.3) можно выбрать частоту  $f_{\delta}$ .

Помехоустойчивость системы передачи непрерывных сообщений определяется величиной

$$\gamma_{\text{вых}} = P_b / \sigma_{\varepsilon}^2. \quad (3.4)$$

где  $\sigma_{\varepsilon}^2$  - средняя мощность шума.

При формировании на выходе ЦАП ИКМ-сигнала мощность шума будет определяться как:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 + \bar{\varepsilon}_{\text{ли}}^2. \quad (3.5)$$

где  $\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2$  - средняя мощность шума квантования;  $\bar{\varepsilon}_{\text{ли}}^2$  - средняя мощность шумов ложных импульсов.

Если задано отношение сигнал/шум квантования  $\gamma_{\text{кв}}$ :

$$\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 = P_b / \gamma_{\text{кв}}. \quad (3.6)$$

Если задано  $\gamma_{\text{ex}}$ , то  $\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2$  и  $\bar{\varepsilon}_{\text{ли}}^2$  полагают равными:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 = \bar{\varepsilon}_{\text{ли}}^2 = 0,5\sigma_{\varepsilon}^2. \quad (3.7)$$

При проведении расчетов по формулам (3.4) и (3.6) заданные в децибелах отношения сигнал/шум необходимо представить в разгах

$$\gamma[\text{раз}] = 10^{0,1\gamma[\text{дБ}]}. \quad (3.8)$$

Средняя мощность шума квантования выражается через шаг квантования  $\Delta b$  следующим образом:

$$\bar{\varepsilon}_{кв}^2 = (\Delta b)^2 / 12. \quad (3.9)$$

В свою очередь шаг квантования зависит от числа уровней квантования  $L$ :

$$\Delta b = (b_{\max} - b_{\min}) / L. \quad (3.10)$$

У сигналов с нулевым средним  $b_{\min} = -b_{\max}$ . Если  $b_{\max}$  не задано, оно определяется как:

$$b_{\max} = K_a \sqrt{P_b}, \quad (3.11)$$

где  $K_a$  – пик-фактор, равный превышению максимальным значением сигнала его среднеквадратического значения, которое равно корню квадратному из средней мощности сигнала.

Из (3.9) и (3.10) получаем минимальное число уровней квантования

$$L_{\min} = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{\sqrt{12\varepsilon_{кв}^2}}. \quad (3.12)$$

Тогда значность двоичного ИКМ-кода на выходе АЦП определяется из соотношения:

$$n = \log_2 L. \quad (3.13)$$

С округлением до ближайшего наибольшего целого.

Далее необходимо определить отношение сигнал/шум квантования

$$\gamma_{кв} = 3L^2 / K_a^2. \quad (3.14)$$

Далее нужно рассчитать допустимую величину мощности шума ложных импульсов:

$$\bar{\varepsilon}_{ли}^2 = \sigma_\varepsilon^2 - \bar{\varepsilon}_{кв}^2. \quad (3.15)$$

Затем требуется рассчитать допустимую вероятность ошибки символа  $P_\sigma$  на входе ЦАП, исходя из условия:

$$\bar{\varepsilon}_{ли}^2 = p_\sigma (\Delta b)^2 \sum_{i=1}^n 2^{2(i-1)}. \quad (3.16)$$

Длительность двоичного символа на выходе АЦП определяется согласно:

$$T_{\sigma} = T_{\delta} / n. \quad (3.17)$$

#### 4. КОДЕК ПРИМИТИВНОГО КОДА

Кодер примитивного кода формирует равномерный код, для которого требуется определить:

- длительность двоичного символа на выходе кодера  $T_{\sigma}$ ;
- значность примитивного кода  $n$ ;
- время передачи одного знака  $T_{zn}$ ;
- допустимую вероятность битовой ошибки декодера  $P_{\sigma}$ .

Длительность двоичного символа на выходе кодера определяется как

$$T_{\sigma} = 1 / B. \quad (4.1)$$

Значность кода определяется из объема алфавита источника

$$n = \lceil \log_2 M_a \rceil. \quad (4.2)$$

При расчете  $n$  может потребоваться округление до ближайшего большего целого.

Время передачи одного знака рассчитывается согласно:

$$T_{zn} = nT_{\sigma}. \quad (4.3)$$

Допустимая вероятность битовой ошибки определяется в предположении, что символьные ошибки в канале связи независимы:

$$P_{\sigma} = P_{zn} / n. \quad (4.4)$$

#### 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ

##### *Непрерывный источник*

Сообщение непрерывного источника преобразуется в первичный аналоговый сигнал  $b(t)$ . Для него необходимо рассчитать:

- энтальпию источника  $H_{\epsilon}(B)$ ;

- коэффициент избыточности источника  $\chi$ ;
- производительность источника  $H_u$ .

Эпсилон –энтропия  $H_\varepsilon(B)$  есть такой минимум среднего количества информации, при котором сигналы на входе  $B$  и выходе  $\hat{B}$  канала эквивалентны. Итак, по определению

$$H_\varepsilon(B) = h(B) - \max h(B | \hat{B}), \quad (5.1)$$

Входящие в формулу (5.1) дифференциальная энтропия  $h(B)$  и условная энтропия  $h(B | \hat{B})$  вычисляются с помощью соотношения (5.2) при известных плотностях вероятности.

$$h(B) = \int_{-\infty}^{\infty} p(b) \log \frac{1}{p(b)} db, \quad (5.2)$$

$$h(B | \hat{B}) = m \left\{ \log \frac{1}{p(b | \hat{b})} \right\},$$

где  $m(x)$  – математическое ожидание величины  $x$ .

Рассмотрим случай, когда сообщение  $B(t)$  представляет собой стационарный гауссовский процесс с заданной мощностью  $P_B$ . Условная дифференциальная энтропия  $h(B | \hat{B})$  сообщения  $B(t)$  полностью определяется шумом  $\varepsilon(t)$ . Поэтому  $\max h(B | \hat{B}) = \max h(\varepsilon)$ . Если шум  $\varepsilon(t)$  имеет фиксированную дисперсию  $\sigma_\varepsilon^2 = \overline{\varepsilon^2(t)}$ , то дифференциальная энтропия  $h(\varepsilon)$  максимальна при нормальном распределении и равна  $\max h(\varepsilon) = \log \sqrt{2\pi e \sigma_B^2}$ .

При заданной дисперсии сообщения  $\sigma_B^2$  дифференциальная энтропия гауссова источника на один отсчет

$$H_\varepsilon(B) = \log \sqrt{2\pi e \sigma_B^2} - \log \sqrt{2\pi e \sigma_\varepsilon^2} = \frac{1}{2} \log \frac{\sigma_B^2}{\sigma_\varepsilon^2}.$$

Дифференциальная энтропия сигнала зависит от вида распределения вероятностей  $p(b)$  и дисперсии сигнала  $\sigma_b^2$ , и соответствующие расчетные формулы для ее вычислений

приведены в табл. 1. У сигналов со средним значением равным нулю  $\sigma_b^2 = F_b$ .

Таблица 1

Дифференциальная энтропия для некоторых законов распределения случайных величин

Распределение вероятности	Дифференциальная энтропия, бит/отсчет
<p>Нормальное распределение</p> $p(b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left(-\frac{b^2}{2\sigma_b^2}\right)$	$\log_2(\sigma_b \sqrt{2\pi e})$
<p>Двустороннее распределение</p> $p(b) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_b} \exp\left(-\frac{\sqrt{2} b }{\sigma_b}\right)$	$\log_2(\sigma_b \sqrt{2e})$
<p>Равномерное распределение</p> $p(b) = \begin{cases} 0,5/b_{\max}, &  b  \leq b_{\max}, \\ 0, &  b  > b_{\max} \end{cases}$	$\log_2(\sigma_b 2\sqrt{3})$

В расчетах следует считать ошибку гауссовской, тогда условная энтропия  $h(B/\hat{B})$  вычисляется по формуле (5.2), куда подставляется значение дисперсии ошибки (мощности помехи на выходе системы передачи)  $\sigma_\varepsilon^2$ . Значение  $\sigma_\varepsilon^2$  определяется по заданному отношению сигнал/шум  $\gamma_{\text{вых}}$  и средней мощности сигнала  $P_b$  по формуле (3.4).

Перед расчетами заданное в децибелах отношение сигнал/шум необходимо представить в разгах по формуле (3.8).

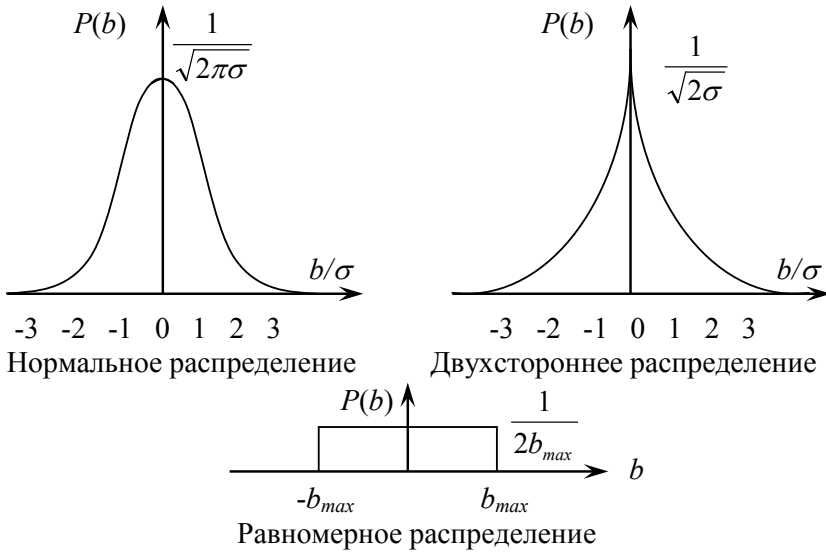


Рис. 3. Распределения случайных величин

Коэффициент избыточности источника  $\chi$  вычисляется по формуле

$$\chi = \frac{h(B) - H_{\varepsilon \max}(B)}{H_{\varepsilon}(B)}. \quad (5.3)$$

Сюда необходимо подставить вычисленное значение  $H_{\varepsilon}(B)$  и ее максимум  $H_{\varepsilon \max}(B)$ , который рассчитывается при нормальном распределении  $b(t)$  и той же дисперсии сигнала  $\sigma_b^2$ .

Производительность источника  $H_u = H_{\varepsilon}(B) / T_0$  вычисляется в предположении, что отсчеты имеют период, определяемый дискретизацией.

### *Информационные характеристики сигнала на выходе АЦП*

Получаемый от источника первичный сигнал  $b(t)$  подлежит преобразованию в цифровой поток посредством аналого-цифрового преобразования. При этом требуется определить:

- энтропию квантованных отсчетов  $H_{кв}(B)$ ;
- скорость кодирования информации ИКМ-кодом  $R_{ИКМ}$ .

Квантованный сигнал  $b_{кв}(t)$  – дискретный по уровню, его энтропия  $H_{кв}(B)$  вычисляется аналогично энтропии дискретного источника:

$$H_{кв}(B) = \sum_{i=1}^L P(b_i) \log \frac{1}{P(b_i)}. \quad (5.4)$$

Вероятности квантованных уровней сигнала здесь

$$P(b_i) = p(b_i) \Delta b \quad (5.5)$$

где  $b_i$  - квантованное значение сигнала на  $i$ -ом уровне квантования;  $p(b)$  - плотность вероятности сигнала;  $\Delta b$  - шаг квантования, определяемый по формуле (3.10).

Скорость кодирования на выходе АЦП вычисляется по формуле:

$$R_{ИКМ} = \frac{H_{кв}(B)}{T_{\delta}}, \quad (5.6)$$

где  $T_{\delta}$  - интервал дискретизации.

#### *Источник дискретных сообщений*

Источник вырабатывает дискретные сообщения, подвергающиеся двухэтапному кодированию. Следует рассчитать:

- энтропию источника  $H(A)$ ;
- коэффициент избыточности  $\chi$ ;
- производительность источника  $H_u$ .

Таблица 2

Вероятности букв в русских текстах

Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность
Пробел	0.175	Р	0.040	Я	0.018	Х	0.009
О	0.089	В	0.038	Ы	0.016	Ж	0.007
Е,Ё	0.072	Л	0.035	З	0.016	Ю	0.006
А	0.062	К	0.028	Ь,Ъ	0.014	Ш	0.006
И	0.062	М	0.026	Б	0.014	Ц	0.004
Т	0.053	Д	0.025	Г	0.013	Щ	0.003
Н	0.053	П	0.023	Ч	0.012	Э	0.003
С	0.045	У	0.021	Й	0.010	Ф	0.002

Таблица 3

## Вероятности букв в английских текстах

Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность
Пробел	0.198	R	0.054	U	0.022	V	0.008
E	0.105	S	0.052	M	0.021	K	0.003
T	0.072	H	0.047	P	0.017	X	0.002
O	0.065	D	0.035	Y	0.012	J	0.001
A	0.063	L	0.029	W	0.012	Q	0.001
N	0.059	C	0.023	G	0.011	Z	0.001
I	0.055	F	0.022	B	0.010		

Необходимые для расчетов вероятности букв в русском и английском текстах приведены в табл. 2 и 3.

Энтропия дискретного источника, выдающего символы  $a_i$  из алфавита объемом  $M_a$  с априорными вероятностями  $p(a_i)$ , равна:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{M_a} p(a_i) \log_2 p(a_i). \quad (5.7)$$

Избыточность источника определяется в сравнении с максимально возможной энтропией, достигаемой при равновероятных независимых символах:

$$H_{\max}(A) = \log_2 M_a. \quad (5.8)$$

Коэффициент избыточности тогда определяется как:

$$\chi = \frac{H_{\max}(A) - H(A)}{H_{\max}(A)}. \quad (5.9)$$

Производительность источника  $H_u$  легко определить, зная энтропию и время передачи одного знака.

$$H_u = \frac{H(A)}{T_{\text{зн}}}. \quad (5.10)$$

Длительность знака  $T_{\text{зн}}$  определяется по формуле (4.3) для кодера примитивного кода.

## 6. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ДЕМОДУЛЯТОРОВ

### *Аналоговый демодулятор*

Выполняется демодуляция сигнала, модулируемого аналоговым методом, в канале связи с аддитивным белым гауссовским шумом. Нужно определить:

- вид зависимости  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$ ;
- отношение сигнал/шум  $P_c/N_0$  на входе демодулятора.

Основной характеристикой демодулятора сигнала аналоговой модуляции является зависимость  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$ , где  $\gamma_{\text{вых}}$  и  $\gamma_{\text{вх}}$  – отношения сигнал/шум на выходе и входе демодулятора соответственно. Значения  $\gamma_{\text{вых}}$  и  $\gamma_{\text{вх}}$  связывает величина  $g$  – выигрыш демодулятора:

$$\gamma_{\text{вых}} = g\gamma_{\text{вх}} \quad (6.1)$$

Далее везде  $\gamma_{\text{вых}}$  и  $\gamma_{\text{вх}}$  следует выражать в разгах.

Для сигналов АМ, БМ и ОМ величина  $g$  определяется следующим образом:

АМ	$g_{\text{ам}} = 2m_{\text{ам}}^2 / (m^2 + K_a^2)$
БМ	$g_{\text{бм}} = 2$
ОМ	$g_{\text{ом}} = 1$

Коэффициент амплитудной модуляции  $m_{\text{ам}}$  подлежит выбору и из условия  $m_{\text{ам}} \leq 1$ . Для заданного вида модуляции – ОМ, БМ или АМ необходимо построить график зависимости  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$  для  $\gamma_{\text{вх}}$ , лежащего в диапазоне от 1 до допустимой величины. Масштаб следует выбирать логарифмическим. Далее следует определить выигрыш  $g$ , требуемое значение  $\gamma_{\text{вх}}$  и обозначить на графике точку, соответствующую допустимому  $\gamma_{\text{вых}}$  и требуемому  $\gamma_{\text{вх}}$ .

При частотной модуляции выигрыш определяется как:

$$g_{\text{чм}} = 2 \cdot \frac{3m_{\text{чм}}^2}{K_a^2} (m_{\text{чм}} + 1), \quad (6.2)$$

где  $m_{\text{чм}}$  - индекс частотной модуляции;

Выигрыш в (6.2) определяется при условии, что  $\gamma_{\text{вх}}$  превышает пороговое значение. Выражение, описывающее зависимость  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$ , можно получить из:

$$\gamma_{\text{вых}} = g_{\text{чм}} \gamma_{\text{вх}} \left/ \left( 1 + 4m_{\text{чм}}^2 \sqrt{3\gamma_{\text{вх}} (1 + 6\gamma_{\text{вх}} / K_a^2) / \pi \exp(-\gamma_{\text{вх}})} \right) \right. . \quad (6.3)$$

Входящая в выражение величина  $m_{\text{чм}}$  неизвестна. При выборе  $m_{\text{чм}}$  следует учитывать, что значение индекса  $m_{\text{чм}}$  ограничено сверху условием работы демодулятора выше порога  $\gamma_{\text{пор}}$ . В расчете следует принять ориентировочное значение  $\gamma_{\text{пор}} = 10$ . Далее нужно определить ориентировочное значение  $m_{\text{чм}}$ , при котором демодулятор будет работать в области порога:

$$m_{\text{чм}} = \sqrt[3]{\gamma_{\text{вых}} K_a^2 / 60} . \quad (6.4)$$

Затем, используя выражение (6.3), построить графики пяти зависимостей  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$  для значения  $m_{\text{чм}}$ , полученного выше, и значений  $m_{\text{чм}} = \pm 2$  и  $\pm 4$ . Из них следует определить значение  $m_{\text{чм}}$ , при котором  $\gamma_{\text{вых}}$  равно допустимому, а  $\gamma_{\text{вх}}$  находится вблизи порога.

Если задана полоса пропускания канала связи  $F_{\text{к}}$ , то  $m_{\text{чм}}$  выбирается из условия ограниченности полосы канала:

$$2(m_{\text{чм}} + 1)F_{\text{max}} \leq F_{\text{к}} . \quad (6.5)$$

Из значений  $m_{\text{чм}}$ , определяемых из условий (6.4) и (6.5) выбирается наименьшее, для выбранного значения  $m_{\text{чм}}$  строится график  $\gamma_{\text{вых}} = f(\gamma_{\text{вх}})$ , если для этого  $m_{\text{чм}}$  раньше график не был построен. На полученном графике указывают точку, соответствующую заданному  $\gamma_{\text{вх}}$  и требуемому  $\gamma_{\text{вых}}$ .

Найденное для АМ, БМ, ОМ, ЧМ отношение

$$\gamma_{\text{вх}} = \frac{P_c}{F_c N_0} , \quad (6.6)$$

где  $F_c$  - полоса частот модулированного сигнала, позволяет определить требуемое отношение

$$P_c / N_0 = \gamma_{\text{вх}} F_c \quad (6.7)$$

на входе демодулятора. Ширина спектра модулированного сигнала определяется следующими соотношениями: при ОМ  $F_c = F_{\max}$ , при БМ и АМ  $F_c = 2F_{\max}$ , при ЧМ  $F_c = 2(m_{\text{чм}} + 1)F_{\max}$ .

### Цифровой демодулятор

Выполняется демодуляция сигнала, модулируемого цифровым методом, и распространяющегося в канале связи с аддитивным белым гауссовским шумом. Нужно определить:

- вид зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум на входе демодулятора  $p = f(\gamma^2)$ ;
- значения требуемого отношения сигнал/шум на входе демодулятора  $\gamma_{\sigma_1}^2$ , при котором обеспечивается допустимая вероятность битовой ошибки  $P_\sigma$ .

В табл. 4 приведены выражения для вероятности битовой ошибки при передаче сигналов цифровой квадратурной манипуляции по каналу с аддитивным белым гауссовским шумом.

Приняты обозначения:  $\gamma^2 = E_c/N_0$  - отношение энергии двоичного символа  $E_c$  к удельной мощности шума  $N_0$ ,  $E_c = P_c T_c$ ,  $P_c$  - средняя мощность сигнала,  $T_c$  - длительность двоичного символа.

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-t^2 / 2) dt - \text{функция Крампа.}$$

Таблица 4

Вероятности ошибки для различных видов модуляции

Способ приема	Вид модуляции	Вероятность ошибки двоичного кода
Когерентный	ФМ-4	$p = 0,5[1 - \Phi(\gamma\sqrt{2})]$
	ОФМ-4	$p = 1 - \Phi^2(\gamma\sqrt{2})$
	КАМ-16	$p = 0,25[1 - \Phi^2(0,9\gamma)]$
Некогерентный	ЧМ-М	$p = 0,25(M - 1) \exp(-0,5\gamma^2 \log_2 M)$ ; $M > 2$

Необходимо построить график зависимости  $p = f(\gamma^2)$  в логарифмическом масштабе для значений  $\gamma^2$ , выраженных в децибелах ( $\gamma^2[\text{дБ}] = 10\lg\gamma^2$ ). Масштаб по  $\gamma^2$  выбирается от 2 дБ до значений, при которых  $p$  окажется меньше значения  $P_\sigma$ .

Если не используется корректирующее кодирование, то допустимая вероятность символьной ошибки на выходе демодулятора равняется значению  $P_\sigma$ , определенному при расчете параметров ЦАП или декодера примитивного кода.

Далее следует определить требуемое отношение сигнал/шум для системы передачи данных без кодирования  $\gamma_{\sigma 1}^2$ , при котором выполнится условие  $p = P_\sigma$  и указать на графике значения  $P_\sigma$  и  $\gamma_{\sigma 1}^2$ .

В завершение расчета требуется определить требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора:

$$(P_c / N_0)_1 = \gamma_{\sigma 1}^2 / T_\sigma. \quad (6.8)$$

В случае модуляции АМ-2:

$$(P_c / N_0)_1 = 0,5\gamma_{\sigma 1}^2 / T_\sigma. \quad (6.9)$$

## 7. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОДИРОВАНИЯ

Использование корректирующего кодирования позволяют уменьшить требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора. В такой системе передачи данных определению подлежат:

- параметры кода: значность  $n$ , число информационных символов  $k$  и кратность исправляемых ошибок  $q_u$ ;
- зависимость вероятности символьной ошибки на выходе декодера от отношения сигнал/шум на входе демодулятора  $p_d = f_1(\gamma_\sigma^2)$ ;
- полученный ЭВК;
- требуемое отношение  $P_c/N_0$  на входе демодулятора.

Системы с корректирующим кодированием и без него удобно сравнивать, если в отношении сигнал/шум использовать энергию одного информационного символа  $E_\sigma = P_c T_\sigma$ :

$$\gamma_\sigma^2 = P_c T_\sigma / N_0. \quad (7.1)$$

Обозначим требуемое отношение сигнал/шум для системы без корректирующего кодирования  $\gamma_{\sigma_1}^2$ , а для системы кодированием -  $\gamma_{\sigma_2}^2$ . ЭВК будет определяться как  $\Delta = \gamma_{\sigma_1}^2 / \gamma_{\sigma_2}^2$  в разгах или

$$\Delta[\partial Б] = \gamma_{\sigma_1}^2[\partial Б] - \gamma_{\sigma_2}^2[\partial Б]. \quad (7.2)$$

При декодировании с исправлением ошибок вероятность ошибки определяется из условия, что число ошибок  $q$  превысит кратность исправляемых ошибок:

$$P_{Од} = \sum_{q=q_{н+1}}^n P(q), \quad (7.3)$$

где  $P(q) = C_n^q p^q (1-p)^{n-q}$  – вероятность ошибки кратности  $q$ ,

$$C_n^q = \frac{n!}{q!(n-q)!}. \quad (7.4)$$

-число сочетаний из  $n$  по  $q$ ;  $p$  - вероятность ошибки двоичного символа на входе декодера, расчет которой выполнен рассмотрен в разд. «Цифровой демодулятор». В используемые там выражения необходимо подставить:

$$\gamma^2 = \gamma_\sigma^2 k / n = (P_c / N_0) T_\sigma k / n. \quad (7.5)$$

Будем считать, что в ошибочно декодированной комбинации имеется  $d_{min}$  ошибочных символов ( $d_{min}$  – минимальное кодовое расстояние). У корректирующих кодов кодовое расстояние  $d_{min} \geq 2q_u + 1$ . Тогда переход от  $P_{Од}$  к  $p_d$  можно выполнить согласно:

$$p_d = P_{Од} (2q_u + 1) / n. \quad (7.6)$$

Расчет помехоустойчивости в канале связи с корректирующим кодом следует вести в следующем порядке:

1) Определить отношение сигнал/шум  $\gamma^2$  на входе демодулятора по формуле (7.5);

2) Рассчитать вероятность символьной ошибки на выходе демодулятора  $p$  по методике, изложенной в разд. «Цифровой демодулятор»;

3) Определить вероятность ошибочного декодирования  $P_{ОД}$  согласно (7.3) - (7.4);

4) Рассчитать вероятность символьной ошибки  $p_D$  согласно (7.6).

Поскольку по заданию требуется обосновать параметры кода, обеспечивающего требуемый ЭВК, следует принять во внимание следующие соображения.

Большая кратность исправляемых ошибок  $q_u$  дает большую помехоустойчивость за счет усложнения кодера и декодера. Рассмотрим применение кодов с наименьшим значением  $q_u = 1$  и, соответственно, с  $d_{min} = 3$ .

Для любого натурального числа  $r = n - k$  существует код Хемминга с  $d_{min} = 3$  при  $n = 2^r - 1$  с наименьшим числом  $r$ , удовлетворяющим условию

$$2^{n-k} - 1 \geq n. \quad (7.7)$$

Отсюда определяются  $n$  и  $k$ , при которых существует код Хемминга. При увеличении  $n$  уменьшается скорость кода  $R_k = k/n$ , но уменьшается отношение сигнал/шум  $\gamma^2$  и уменьшается вероятность символьной ошибки на входе декодера  $p_D$ . При увеличении  $n$  увеличивается также ЭВК.

При больших значениях  $n$  уменьшение  $p_D$  замедляется и при достаточно больших значениях  $n$  начинается рост  $p_D$  и уменьшение ЭВК. Значения ЭВК для  $n \leq 255$ ,  $p_D = 10^{-5}$  и  $p_D = 10^{-7}$  приведены на рис. а при когерентном и на рис. б (приложение В) при некогерентном способе приема в канале связи.

После выбора корректирующего кода требуется построить зависимость  $p_D = f_1(\gamma_\sigma^2)$ , характеризующую помехоустойчивость канала связи с корректирующим

кодированием. Диапазон изменения  $\gamma_\sigma^2$  следует выбирать так, чтобы  $p_D$  изменялась от 0.1 до значения, меньшего  $P_\sigma$ .

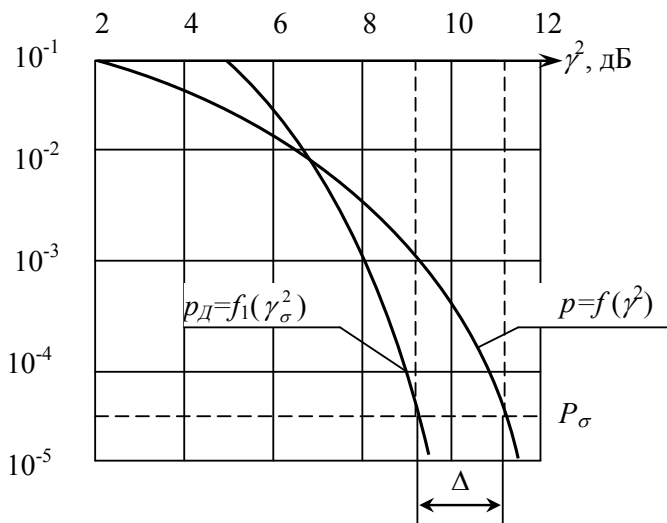


Рис. 4. Определение ЭВК

На ней определяется требуемое отношение сигнал/шум  $\gamma_{\sigma_2}^2$  на входе демодулятора, при котором обеспечивается допустимая вероятность символьной ошибки на выходе декодера, т.е.  $p_D = P_\sigma$ . По найденному  $\gamma_{\sigma_2}^2$  и полученному при расчете помехоустойчивости демодулятора значению  $\gamma_{\sigma_1}^2$  определяется ЭВК по формуле (7.2). Пример такого графического построения показан на рис. 4.

В завершение рассчитывается требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора в канале связи с корректирующим кодированием по формуле

$$(P_c / N_0)_2 = \gamma_{\sigma_2}^2 / T_\sigma. \quad (7.8)$$

В случае модуляции АМ-2:

$$(P_c / N_0)_2 = 0.5 \gamma_{\sigma_2}^2 / T_\sigma. \quad (7.9)$$

## 8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Пропускная способность непрерывного канала связи определяется формулой Шеннона:

$$C = F_{\kappa} \log \left( \frac{P_c}{N_o} + 1 \right). \quad (8.1)$$

При расчете полоса пропускания канала  $F_{\kappa}$  принимается равной ширине спектра модулированного сигнала  $F_c$ .

При передаче сигналов аналоговой модуляции ширина спектра сигналов определялась в соответствующем разделе.

При передаче сигналов дискретной модуляции минимально возможная ширина спектра сигналов определяется пределом Найквиста: при АМ, ФМ, ОФМ и КАМ  $F_c = 1/T_c$  независимо от числа позиций сигнала  $M$ , а при ЧМ  $F_c = M/T_s$  где  $T_s = T_c \log_2 M$  – длительность элемента модулированного сигнала.

Если передаваемое сообщение не подвергается помехоустойчивому кодированию, то значение  $T_c$  равно длительности двоичного символа  $T_{\sigma}$  на выходе АЦП либо кодера примитивного кода. Если же используется помехоустойчивое кодирование, то  $T_c = T_{\sigma} k / n$ .

Пропускную способность непрерывного канала связи следует рассчитать для всех рассмотренных в курсовой работе вариантов передачи непрерывных сообщений: вариант аналоговой передачи и 2 варианта цифровой передачи - с помехоустойчивым кодированием и без него.

Полученные значения пропускной способности канала связи  $C$  следует сравнить с производительностью источника  $H_u$ , определяемую при расчете информационных характеристик источника сообщений.

При расчете эффективности скорость кодирования  $R_{\kappa}$  приравнивается производительности источника  $H_u$ . Коэффициенты эффективности следует рассчитать для всех вариантов передачи.

Коэффициент использования канала по пропускной способности (информационная эффективность) определяется согласно:

$$\eta = \frac{R_k}{C} = \frac{\rho}{\log_2(\rho/\beta + 1)}, \quad (8.2)$$

где  $\rho$  - коэффициент использования канала по полосе (частотная эффективность),  $\rho = R_k/F_k$ ;  $\beta = R_k/(P_c/N_0)$  - коэффициент использования канала по полосе (частотная эффективность).

Согласно теореме Шеннона, при подборе метода передачи и приема  $\eta$  может быть сколь угодно приближена к единице. При этом ошибка может быть сколь угодно малой. В этом случае получается предельная зависимость между  $\beta$  и  $\rho$  (предел Шеннона):

$$\beta = \frac{\rho}{2^\rho - 1}. \quad (8.3)$$

Необходимо построить график предельной зависимости  $\beta = f(\rho)$ , откладывая значения в логарифмических единицах - соответственно  $10\lg\beta$  и  $10\lg\rho$ . На графике показать в виде точек на плоскости с соответствующими координатами  $\beta$  и  $\rho$  эффективности рассмотренных вариантов систем передачи данных.

Сопоставить эффективность систем передачи между собой и с предельной эффективностью. Указать способы повышения энергетической и частотной эффективности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Краснов, Р.П. Теория электрической связи: курс лекций / Р.П. Краснов, Р.Н. Андреев, М.Ю. Чепелев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2014, 230с.

2 Гультяева, Т.А. Основы теории информации и криптографии: конспект лекций / Т.А. Гультяева. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 88 с.

3 Финк, Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – М. Советское радио, 1970, 728с.

4 Конахович, Г. Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах / Г.Ф. Конахович, В.П. Климчук, С. М. Паук, В.Г. Потапов – К.: "МК-Пресс", 2005. – 288 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Исходные данные.....	4
2. Структурная схема системы передачи данных.....	8
3. АЦП и ЦАП.....	9
4. Кодек примитивного кода.....	13
5. Информационные характеристики источников.....	13
6. Помехоустойчивость демодуляторов .....	19
7. Помехоустойчивость корректирующего кодирования .....	22
8. Эффективность системы передачи данных.....	26
Библиографический список .....	28
Приложение 1 .....	29
Приложение 2.....	30
Приложение 3.....	31

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Исходные данные для выполнения КР варианта 1

Номер вар.	Источник сообщений				$\gamma_{\text{вых}}$ , дБ	$\gamma_{\text{кв}}$ , дБ	Метод модуляции	Способ приема	$\Delta$ , дБ
	Распр. вер	$P_b$ , Вт	$K_a$	$F_{\text{max}}$ , кГц					
Ц-00	НР	3.0	5	6.5	36	39	АМ-2	когер	1.2
Ц-01	ДЭР	1.2	8	12	31	34	АМ-2	неког	1.6
Ц-02	РР	2.5	*	2.4	38	41	ЧМ-2	неког	1.5
Ц-03	НР	0.1	5	6.5	42	45	ЧМ-2	когер	1.2
Ц-04	ДЭР	0.3	5,5	8.0	42	45	ФМ-2	когер	2.8
Ц-05	РР	0.5	*	2.4	44	47	ОФМ-2	когер	2.6
Ц-06	НР	0.7	3	2.7	40	43	ОФМ-2	неког	2.0
Ц-07	ДЭР	0.9	4	3.5	37	40	ФМ-4	когер	2.2
Ц-08	РР	1.2	*	5000	50	53	ОФМ-4	когер	3.0
Ц-09	НР	1.5	3,5	2.5	39	42	ЧМ-4	неког	1.5
Ц-10	ДЭР	1.8	4,5	12	36	39	ЧМ-8	неког	1.7
Ц-11	РР	2.0	*	3500	38	41	КАМ-16	когер	2.3
Ц-12	НР	2.5	4,5	14	42	45	ФМ-4	когер	2.5
Ц-13	ДЭР	2.8	6,5	18	33	36	АМ-2	когер	2.7
Ц-14	РР	3.0	*	800	44	47	АМ-2	неког	1.9
Ц-15	НР	0.2	7	12.5	39	42	ЧМ-2	когер	3.0
Ц-16	ДЭР	0.4	8	15	37	40	ЧМ-2	неког	2.0
Ц-17	РР	0.6	*	1.6	50	53	ФМ-2	когер	3.2
Ц-18	НР	0.8	3,5	4.5	45	48	ОФМ-2	когер	3.4
Ц-19	ДЭР	1.0	4,5	7.0	36	39	ОФМ-2	неког	2.2
Ц-20	РР	1.1	*	0.8	38	41	ФМ-4	когер	3.6
Ц-21	НР	1.3	5,5	7.5	42	45	ОФМ-4	когер	1.8
Ц-22	ДЭР	1.4	6,5	9.5	37	40	ЧМ-4	неког	1.1
Ц-23	РР	1.6	*	100	44	47	ЧМ-8	неког	1.2
Ц-24	НР	2.2	4,5	11	42	45	КАМ-16	когер	2.0
Ц-25	ДЭР	2.4	6,5	8.5	33	36	ФМ-4	когер	2.2
Ц-26	РР	2.6	*	0.1	50	53	АМ-2	когер	2.5
Ц-27	НР	1.9	3,5	2.5	45	48	АМ-2	неког	1.3
Ц-28	ДЭР	0.1	3	2.7	46	49	ЧМ-2	когер	2.4
Ц-29	РР	0.3	*	22	38	41	ЧМ-2	неког	1.8
Ц-30	НР	0.5	3.5	2.5	39	42	ФМ-2	когер	3.4

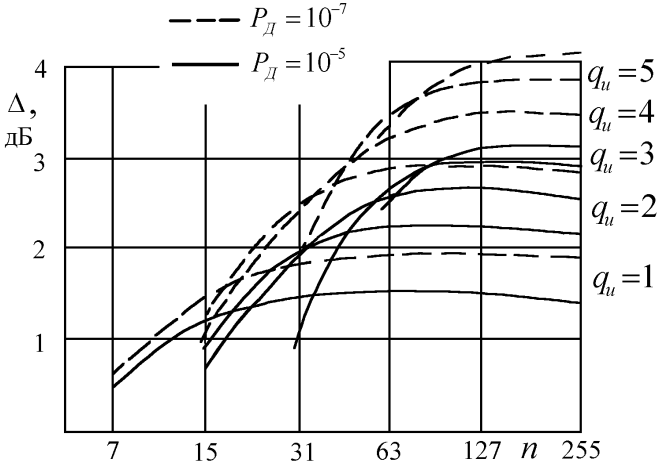
## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Исходные данные для выполнения КР варианта 2

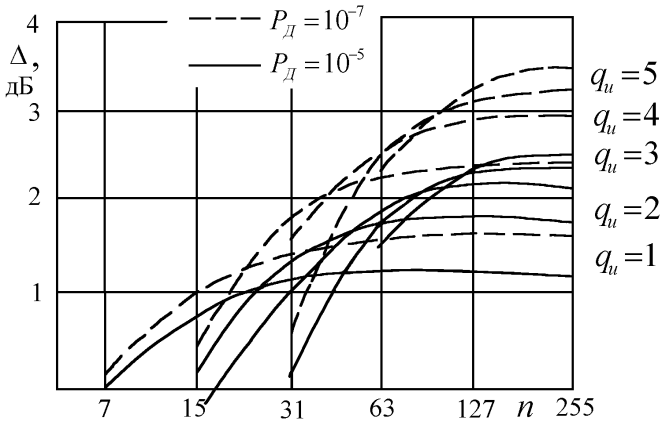
Номер вар.	Источник сообщений	$P_{зн}$	$B$ , Бод	Метод модул.	Способ приема	$\Delta$ , дБ
Д-00	$M_a=32$	1E-7	50	АМ-2	когер	1.6
Д-01	английский	2E-7	9600	АМ-2	неког	2.8
Д-02	$M_a=64$	3E-7	4800	ЧМ-2	когер	1.5
Д-03	Русский	4E-7	2400	ЧМ-2	неког	2.7
Д-04	$M_a=128$	7E-7	1200	ФМ-2	когер	1.6
Д-05	английский	1E-6	600	ОФМ-2	когер	2.2
Д-06	$M_a=32$	2E-6	300	ОФМ-2	неког	1.3
Д-07	Русский	2E-6	200	ФМ-4	когер	2.6
Д-08	$M_a=64$	3E-6	150	ОФМ-4	когер	1.5
Д-09	английский	4E-6	100	ЧМ-4	неког	2.3
Д-10	$M_a=128$	7E-6	75	ЧМ-8	неког	1.2
Д-11	русский	1E-5	50	КАМ-16	когер	2.3
Д-12	$M_a=32$	2E-5	9600	ФМ-4	когер	1.35
Д-13	английский	3E-5	4800	АМ-2	когер	2.5
Д-14	$M_a=64$	4E-5	2400	АМ-2	неког	1.25
Д-15	русский	4E-5	1200	ЧМ-2	когер	2.3
Д-16	$M_a=128$	7E-5	600	ЧМ-2	неког	1.1
Д-17	английский	5E-5	300	ФМ-2	когер	2.1
Д-18	$M_a=32$	1E-4	200	ОФМ-2	когер	1.2
Д-19	русский	2E-4	150	ОФМ-2	неког	1.8
Д-20	$M_a=64$	2E-7	100	ФМ-4	когер	1.6
Д-21	английский	2E-7	75	ОФМ-4	когер	3.3
Д-22	$M_a=128$	4E-7	50	ЧМ-4	неког	1.35
Д-23	русский	4E-7	9600	ЧМ-8	неког	2.6
Д-24	$M_a=32$	5E-7	4800	КАМ-16	когер	1.5
Д-25	английский	1E-6	2400	ФМ-4	когер	3.1
Д-26	$M_a=64$	2E-6	1200	АМ-2	когер	1.55
Д-27	русский	2E-6	600	АМ-2	неког	2.4
Д-28	$M_a=128$	4E-6	300	ЧМ-2	когер	1.45
Д-29	английский	5E-6	200	ЧМ-2	неког	1.65
Д-30	$M_a=32$	4E-6	150	ФМ-2	когер	2.0

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Зависимости ЭВК от значности кода:  
 а) когерентный, б) некогерентный приём.



а)



б)

# **ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ СВЯЗИ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы  
для студентов направления 11.04.01 «Радиотехника»  
Магистерская программа — «Радиотехнические средства  
обработки и защиты информации в каналах связи»

### **Составитель**

**Краснов Роман Петрович**

Компьютерный набор Р.П. Краснова

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 24.06.2022.  
Уч.-изд. л. 1,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84