

Министерство образования и науки Украины
Запорожский национальный технический университет
Радиоприборостроительный факультет

Основы теории передачи информации

Методические указания

к лабораторным (практическим) занятиям

для студентов специальности
«Радиотехника»,
«Системы защиты от несанкционированного доступа»,
«Информационные сети связи»

2009

Методические указания к лабораторным (практическим) занятиям с использованием ЭВМ (ПК) по дисциплинам "Основы теории передачи информации", "Теория информации и кодирования", "Теория электрической связи", "Теория информации" для студентов специальностей 7.090701 "Радиотехника", 7.160103 "Системы защиты от несанкционированного доступа", 7.092402 «Информационные сети связи» для всех форм обучения / Сост. Б.Н. Бондарев - Запорожье, ЗНТУ, 2009. - 20 с.

Составитель: доц., к.т.н. Б.Н. Бондарев

Ответственный за выпуск: доц., к.т.н. Б.Н. Бондарев

Утверждено на заседании
кафедры радиотехники

Протокол № 2 от 12.01.2009

Рецензент: проф., д.т.н. Д.М. Пиза

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНЫЕ (ПРАКТИЧЕСКИЕ) ЗАНЯТИЯ

	стр.
1 Энтропия дискретного источника сообщений. Оптимальное (статистическое) кодирование	4
2 Помехоустойчивое кодирование (расчеты помехоустойчивости корректирующих кодов).....	7
3 Помехоустойчивое кодирование. Коды Хэмминга	11
4 Помехоустойчивое кодирование. Циклические коды.....	15
Приложение 1. Таблица значений функции $f(p) = -p \cdot \log_2 p$	19
Приложение 2. Таблица значений двоичных логарифмов целых чисел от 1 до 100	20

1 ЭНТРОПИЯ ДИСКРЕТНОГО ИСТОЧНИКА СООБЩЕНИЙ. ОПТИМАЛЬНОЕ (СТАТИСТИЧЕСКОЕ) КОДИРОВАНИЕ

1.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основ теории информации и принципов оптимального кодирования дискретных сообщений для каналов без шумов.

1.2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить по указанной литературе материал в соответствии с приведенными ниже контрольными вопросами.

2.2 Освоить методику вычисления энтропии дискретного источника сообщений.

2.3 Освоить методику построения кода Шеннона-Фэно.

2.4 Вычислить энтропию источника с алфавитом из 4-х элементов с вероятностями $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/8$ и построить для него код Шеннона-Фэно.

1.3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования. - Киев: "Вища школа", 1986. - 238с.
2. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. - М.: "Сов. Радио", 1979. - 278с.
3. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1973.- 376с.
4. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи. Сборник задач и упражнений. - М.: "Сов. Радио", 1990. - 280с.
5. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1980. - 288 с.
6. Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория электрической связи. М.: Связь, 1998-434с.
7. Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть I. Запорожье, ЗНТУ, 2001-63с.
8. Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть II. Запорожье, ЗНТУ, 2001-42с.
9. Приложение 1. Таблица значений функции $f(p) = -p \cdot \log_2 p$.
10. Приложение 2. Таблица значений двоичных логарифмов целых чисел от 1 до 100.

11. Жураковский Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – К.: Вища школа, 2001-256с.

1.4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При выполнении работы используется программа "INFORM", которая позволяет:

1 Вычислить энтропию дискретного источника сообщений с заданными статистическими параметрами (вероятностями).

2 Построить для выбранного источника сообщений оптимальный код Шеннона-Фэно и вычислить среднюю длительность кодовой комбинации полученного кода.

Ввод данных (выбор статистики источника сообщений) в используемой программе может осуществляться:

- "вручную" (ввод с клавиатуры) с объемом алфавита $m = 2...32$ и произвольным распределением вероятностей,

- автоматически (моделирование) с биномиальным распределением вероятностей элементов алфавита при $m = 2...32$ ($n = 1...31$) и различных значениях p .

1.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Для дискретного источника сообщений с объемом алфавита $m = 8$ и равномерным распределением вероятностей ($P_i = 1/8$) произвести ввод данных с клавиатуры и, запустив соответствующую подпрограмму, вычислить энтропию источника и построить оптимальный код Шеннона-Фэно. Записать полученные результаты.

5.2 Для дискретного источника с объемом алфавита $m = 8$ задаться произвольным неравномерным распределением вероятностей, произвести ввод данных с клавиатуры и, запустив соответствующую подпрограмму, вычислить энтропию источника и построить оптимальный код Шеннона-Фэно. Записать полученные результаты и выписать все кодовые комбинации. Вычислить избыточность источника. Сравнить значения энтропии и средней длительности кодовой комбинации.

5.3 Повторить вычисления для дискретного источника сообщений с биномиальным распределением вероятностей при $m = 8$ ($n=7$) и $p = 0,5; 0.1$.

5.4 Повторить вычисления для источника сообщений с биномиальным распределением вероятностей при $m = 10 + k \pmod{20}$ и $p = 0,5; 0,1$, где k – номер рабочего места (компьютера).

Примечание: для полученного кода при $m = 10 + k \pmod{20}$ выписать только две первых и две последних кодовых комбинации.

1.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Количественная мера информации по Хартли.
- 6.2 Количественная мера информации по Шеннону.
- 6.3 Энтропия дискретного источника сообщений.
- 6.4 Энтропия двоичного источника сообщений.
- 6.5 Избыточность источника сообщений.
- 6.6 Источники с максимальной энтропией.
- 6.7 Совместная энтропия двух источников сообщений.
- 6.8 Производительность источника сообщений.
- 6.9 Пропускная способность дискретного канала без шумов.
- 6.10 Принципы оптимального (статистического) кодирования дискретных сообщений для канала без шумов.
- 6.11 Код Шеннона-Фэно.

2 ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ (РАСЧЕТЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОДОВ)

2.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основ теории помехоустойчивого кодирования дискретных сообщений для каналов с шумами и приобретение навыков расчетов помехоустойчивости корректирующих кодов для каналов с независимыми ошибками.

2.2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Изучить по указанной литературе материал в соответствии с приведенными ниже контрольными вопросами.

2.3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Кузьмин И.В., Кедров В.А. Основы теории информации и кодирования. - Киев: "Вища школа", 1986. - 238с.

2 Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. - М.: "Сов. Радио", 1979. - 278с.

3 Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1973.- 376с.

4 Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи. Сборник задач и упражнений. - М.: "Сов. Радио", 1990. - 280с.

5 Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1980. - 288 с.

6 Кодирование информации. Двоичные коды. Справочник /под ред. Березюка Н.Т. - Харьков: Вища школа. 1978. - 251с.

7 Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория электрической связи. М.: Связь, 1998-434с.

8 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть I. Запорожье, ЗНТУ, 2001-63с.

9 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть II. Запорожье, ЗНТУ, 2001-42с.

10 Жураковский Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – К.: Вища школа, 2001-256с.

2.4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При выполнении работы используется программа "Статистика" из программного пакета "NUMERI", которая позволяет моделировать различные законы распределения для дискретных и непрерывных случайных величин и выводить на экран графики и таблицы дифференциальной $f(x)$ и интегральной $F(x)$ функций распределения.

В данной работе из программы "Статистика" используется подпрограмма "Биномиальный закон распределения". Указанный закон описывает распределение вероятностей для числа ошибочных элементов в кодовых комбинациях для каналов с независимыми ошибками.

Ввод данных (n, p) в используемой программе осуществляется с клавиатуры.

2.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Определить число элементов в кодовых комбинациях кода без избыточности

$$k = 15 + s,$$

где s – номер рабочего места (компьютера).

5.2 Определить необходимое число проверочных r элементов и длину кодовых комбинаций $n = r + k$ для систематического кода, исправляющего одиночные ошибки ($d = 3$) по формуле (методом последовательного подбора)

$$r \geq 0.5 \cdot \left(\binom{k-1}{1} + \binom{k-1}{2} + \dots + \binom{k-1}{k-1} \right) \log_2 \left(\binom{k+1}{1} + \dots + \binom{k+1}{k} \right)$$

где $n = k + r$.

5.3 Повторить вычисления п.5.2 для кода, исправляющего двойные ошибки ($d = 5$).

5.4 Произвести ввод данных с клавиатуры по п.5.1 и, запуская соответствующие подпрограммы, вывести на экран графики и таблицы биномиального закона распределения $f(x)$ при значениях вероятностей ошибок $p = 0,2; 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001$.

Зарисовать графики функции $f(x)$ и выписать значения вероятностей правильного приема кодовых комбинаций $P_{\text{пр}}$ из первой строчки таблицы для функции $f(x)$.

Вычислить значения вероятностей ошибочного приема кодовых комбинаций

$$P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{пр}}.$$

5.5 Произвести ввод данных с клавиатуры по п. 5.2 для кода, исправляющего одиночные ошибки. Вывести на экран таблицы функции $f(x)$ при указанных в п.5.4 значениях вероятности p .

Выписать из таблиц значения вероятностей отсутствия искажений в кодовой комбинации $P(0)$ (первая строка таблицы) и вероятности искажения $P_{\text{иск}} = P(1)$ одного элемента в кодовой комбинации (вторая строка таблицы).

Полагая вероятность исправления ошибки $P_{\text{исп}} = P_{\text{иск}}$, вычислить вероятности правильного и ошибочного приема кодовой комбинации с учетом исправляющей способности кода:

$$P_{\text{пр}} = P(0) + P(1); P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{пр}}.$$

5.6 Произвести ввод данных для кода по п.5.3, исправляющего двойные ошибки. Вывести на экран таблицы функции $f(x)$ при указанных выше значениях вероятности p .

Выписать из таблиц значения вероятностей $P(0)$, $P(1)$ и $P(2)$. Вычислить значения вероятностей исправляемых ошибок, правильного и ошибочного приема с учетом исправляющей способности кода:

$$P_{\text{исп}} = P(1) + P(2); P_{\text{пр}} = P(0) + P_{\text{исп}}; P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{пр}}.$$

5.7 Построить на одном графике зависимости $P_{\text{ош}} = f(p)$ по результатам измерений п.п. 5.4, 5.5, 5.6. При построении использовать логарифмическую шкалу по обеим осям.

2.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Принципы построения корректирующих кодов.
- 6.2 Принцип обнаружения ошибок.
- 6.3 Принцип исправления ошибок.
- 6.4 Кодовое расстояние корректирующих кодов.
- 6.5 Кодовое расстояние и корректирующая способность кода.
- 6.6 Определение необходимого числа проверочных элементов корректирующего кода.
- 6.7 Биномиальный закон распределения.
- 6.8 Статистика ошибок в каналах передачи информации.
- 6.9 Расчет вероятности обнаруживаемых ошибок.
- 6.10 Расчет вероятностей исправляемых ошибок.
- 6.11 Расчет вероятности правильного приема кодовой комбинации корректирующего кода.
- 6.12 Расчет вероятности ошибочного приема кодовой комбинации корректирующего кода.

3 ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ. КОДЫ ХЭММИНГА

3.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципов построения алгоритмов и структурных схем кодирующих и декодирующих устройств систематических кодов Хэмминга.

3.2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Изучить по указанной литературе материал в соответствии с приведенным ниже перечнем контрольных вопросов.

3.3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. - Минск: Высшая школа, 1988. - 370 с.

2 Пенин П.И., Филиппов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации. - М.: Радио и связь, 1984, - 256 с.

3 Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1973, - 376с

4 Радиотехнические системы передачи информации. Под ред. Калмыкова В.В. - М.: Радио и связь, 1990, - 304 с.

5 Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. - М.: Связи, 1980 (1986), - 288 с.

6 Кодирование информации. Двоичные коды: Справочник / под ред. Березюка Н.Т. - Харьков.: Вища школа, 1978, - 252с.

7 Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Основы теории радиотехнических систем", ч 3-я, ЗГТУ, 1996, стр. 4 - 16.

8 Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория электрической связи. М.: Связь, 1998-434с.

9 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть I. Запорожье, ЗНТУ, 2001-63с.

10 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть II. Запорожье, ЗНТУ, 2001-42с.

11 Жураковский Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – К.: Вища школа, 2001-256с.

3.4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В лабораторной работе используются программы KOD - НЕМ 5 или KOD-НЕМ 7. Программы позволяют строить модифицированные коды Хэмминга (5,4) или (7,4) с 5-ю или 7-ю информационными и 4-мя проверочными элементами (в модифицированных кодах Хэмминга проверочные элементы располагаются в конце кодовых комбинаций). Оба кода позволяют гарантированно исправлять одиночные ошибки.

Проверочные элементы формируются путем сложения по модулю 2 определенной группы элементов информационных.

В модифицированном коде Хэмминга (5,4) нумерация последовательности различных элементов следующая:

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{И1} & \text{И2} & \text{И3} & \text{И4} & \text{И5} & \text{П1} & \text{П2} & \text{П3} & \text{П4} \\ \text{А1} & \text{А2} & \text{А3} & \text{А4} & \text{А5} & \text{А6} & \text{А7} & \text{А8} & \text{А9}, \end{array}$$

где буква И означает элемент информационный (из исходной кодовой комбинации без избыточности), а буква П - проверочный элемент.

Проверочные элементы для этого кода определяются из следующих уравнений (равенств):

$$\begin{aligned} b_1 &= A_1 + A_2 + A_4 + A_5 + A_6(\text{П1}) == 0, \\ b_2 &= A_1 + A_3 + A_4 + A_7(\text{П2}) == 0, \\ b_3 &= A_2 + A_3 + A_4 + A_8(\text{П3}) == 0, \\ b_4 &= A_5 + A_9(\text{П4}) == 0, \end{aligned}$$

где сложение проводится по модулю 2.

В отсутствии искажений для принятой комбинации вычисленное двоичное число

$$\text{П} \Rightarrow b_4 b_3 b_2 b_1 = 0000 \Rightarrow 0.$$

При искажении одного элемента кодовой комбинации это число не будет равно нулю.

Программа позволяет вводить в сформированную кодовую комбинацию одиночную ошибку в виде комбинации ошибки

0000x0000,

где $x=1$ - искажаемый элемент, местоположение которого может изменяться клавишей горизонтального перемещения курсора.

В процессе декодирования искаженной комбинации (путем проверки линейных соотношений между элементами комбинации) программа определяет локатор ошибки, который указывает местоположение (номер) ошибочного элемента (локаторы приведены в таблице).

определение локатора ошибки не представляет затруднений. Например, если искажен элемент А3, то из приведенных выше проверочных соотношений получим

$$b_1 = 0, b_2 = 1, b_3 = 1, b_4 = 0 \text{ и } \Pi \Rightarrow 0110 - \text{локатор}$$

Ввод данных и управление программой осуществляются с помощью цифровых клавиш.

3.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Пользуясь приведенной выше методикой, вычислите проверочные элементы и сформируйте одну кодовую комбинацию кода Хэмминга. В качестве исходной комбинации кода без избыточности можно взять свой порядковый номер в журнале группы, записанный в виде 5-разрядного двоичного числа (например, 26 \Rightarrow 11010).

5.2 определите локатор для одиночной ошибки в искаженной комбинации. Номер искаженного элемента (считая слева направо) выбрать равным номеру рабочего места (компьютера).

Примечание. В программе в таблице локаторов нумерация элементов (слева направо) производится не с 1 до 9, а с 0 до 8.

5.3 Запустить программу, ввести выбранную кодовую комбинацию кода без избыточности. В режиме "Таблица..." проверить результаты расчета по п.5.1.

5.4 В режиме "Эксперимент" набрать исходную кодовую комбинацию без избыточности, ввести комбинацию одиночной ошибки в соответствии с п.5.2. Убедиться в правильности определения локатора ошибки.

5.5 Повторить операции п.п. 5.1 - 5.4 для другой комбинации, полученной из ранее выбранной путем ее инвертирования (заменяя единицы на нули, а нули на единицы).

5.6 Выйти из данной программы и запустить программу KOD-HEM7. Повторить (без предварительных вычислений) операции пп. 5.3 и 5.4.

3.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Общий принцип построения корректирующих кодов.
 - 6.2 Принципы обнаружения и исправления ошибок.
 - 6.3 Примеры простейших корректирующих кодов.
 - 6.4 Кодовое расстояние и исправляющая способность кода.
 - 6.5 Модели ошибок в каналах передачи информации.
 - 6.7 Универсальный метод декодирования корректирующих кодов.
 - 6.8 Принципы построения систематических кодов.
 - 6.9 Принципы декодирования систематических кодов.
- Синдромы и локаторы ошибок.
- 6.10 Коды Хэмминга, принцип построения.
 - 6.11 Принципы декодирования кодов Хэмминга.
 - 6.12 Модифицированные коды Хэмминга.

4 ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ. ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОДЫ

4.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципов построения алгоритмов и структурных схем кодирующих и декодирующих устройств циклических кодов.

4.2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Изучить по указанной литературе материал в соответствии с приведенным ниже перечнем контрольных вопросов.

4.3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. - Минск: Высшая школа, 1988. - 370 с.

2 Пенин П.И., Филиппов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации. - М.: Радио и связь, 1984, - 256 с.

3 Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1973, - 376 с.

4 Радиотехнические системы передачи информации. Под ред. Калмыкова В.В. - М.: Радио и связь, 1990, - 304 с.

5 Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. - М.: Связь, 1980 (1986), - 288 с.

6 Кодирование информации. Двоичные коды: Справочник / под ред. Бенрезюка Н.Т. - Харьков : Вища школа, 1978, - 252с.

7 Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория электрической связи. М.: Связь, 1998-434с.

8 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть I. Запорожье, ЗНТУ, 2001-63с.

9 Бондарев Б.Н. Основы теории передачи информации. Конспект лекций. Часть II. Запорожье, ЗНТУ, 2001-42с.

10 Жураковский Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – К.: Вища школа, 2001-256с.

4.4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В лабораторной работе используется программа ZIKL-KOD. Программа позволяет строить циклические коды на основе 4-х различных порождающих полиномов:

$$P(x) = X^3 + X + 1 \quad (r = 3),$$

$$P(x) = X^3 + X^2 + 1 \quad (r = 3),$$

$$P(x) = X^4 + X + 1 \quad (r = 4),$$

$$P(x) = X^4 + X^3 + 1 \quad (r = 4).$$

Приведенным порождающим полиномам соответствуют двоичные числа

1011; 1101; 10011; 11001.

На основе первых двух формируется 7-ми разрядный циклический код (7,4) с 4-мя информационными и 3-мя проверочными разрядами, на основе последних 2-х - циклический код (9,5) с 5-ю информационными 4-мя проверочными разрядами.

Программа позволяет вводить в сформированную кодовую комбинацию циклического кода одиночную ошибку в виде комбинации ошибки

$$0000x0000,$$

где $x = 1$ – искажаемый элемент, местоположение которого может изменяться клавишей горизонтального перемещения курсора.

В процессе декодирования искаженной комбинации программа вычисляет остаток от ее деления на порождающий полином (локатор ошибки) и указывает местоположение ошибочного элемента (таблица).

Ввод данных и управление программой осуществляется с помощью цифровых клавиш.

4.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 На основе одного из порождающих полиномов 4-й степени сформируйте кодовую комбинацию циклического кода. В качестве исходной комбинации кода без избыточности можно взять свой

порядковый номер в журнале группы, записанный в виде 5-разрядного двоичного числа (например, $26 \Rightarrow 11010$).

Припишите к полученному двоичному числу 4 нуля (в нашем примере получим 110100000).

Произведите деление полученного 9-разрядного двоичного числа на двоичное число, соответствующее выбранному порождающему полиному (операции сложения при делении чисел необходимо проводить по модулю 2). Например, для 3-го полинома получим:

$$\begin{array}{r}
 110100000 \\
 \oplus \\
 10011 \\
 \hline
 10010000 \\
 \oplus \\
 10011 \\
 \hline
 1000 - \text{остаток}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 | 10011 \\
 \hline
 | 11001 - \text{целая часть}
 \end{array}$$

Полученный остаток от деления приписываем справа к исходной комбинации безызбыточного кода и получаем кодовую комбинацию циклического кода

$$110101000.$$

5.2 Убедиться в правильности произведенных операций. Для этого необходимо провести по приведенной выше методике деление полученной кодовой комбинации на число, соответствующее выбранному полиному. Остаток от деления при этом должен быть равен нулю.

5.3 Определить локатор одиночной ошибки в искаженной комбинации по комбинации ошибки (например, 000100000). Номер искаженного элемента (считая справа налево) выбрать равным номеру рабочего места (компьютера). Локатор ошибки определяется как

остаток (4-разрядный) от деления синдрома ошибки на порождающий полином. Например:

$$\begin{array}{r}
 000100000 \\
 \oplus \quad 10011 \\
 \hline
 0110 \Rightarrow \text{локатор 6-го элемента}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 10011 \\
 \hline
 1
 \end{array}$$

Примечание. В программе в таблице локаторов нумерация элементов (справа налево) производится не с 1 до 9, а с 0 до 8.

5.4 Запустить программу, выбрать порождающий полином. В режиме "Таблица..." проверить результаты расчета по п.5.1.

В режиме "Эксперимент" набрать исходную кодовую комбинацию без избыточности и синдром одиночной ошибки в соответствии с п.5.3. Убедиться в правильности определения локатора ошибки (остатка).

5.5 Повторить операции п.5.4 для любого другого порождающего полинома из п.4 (без предварительных вычислений по п.5.1-5.3).

5.6 Пользуясь таблицей, убедиться, что суммирование по модулю 2 двух или более кодовых комбинаций циклического кода дает одну из комбинаций этого же кода.

4.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Общий принцип построения корректирующих кодов.
 - 6.2 Принципы обнаружения и исправления ошибок.
 - 6.3 Примеры простейших корректирующих кодов.
 - 6.4 Кодовое расстояние и исправляющая способность кода.
 - 6.5 Модели ошибок в каналах передачи информации.
 - 6.7 Универсальный метод декодирования корректирующих кодов.
 - 6.8 Принципы построения систематических кодов.
 - 6.9 Принципы декодирования систематических кодов.
- Синдромы и локаторы ошибок.
- 6.10 Порождающие неприводимые полиномы.
 - 6.11 Принципы построения циклических кодов.
 - 6.12 Принципы декодирования циклических кодов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица значений функции $f(p) = -p \cdot \log_2 p$

p	-plog₂p	p	-plog₂p	p	-plog₂p	p	-plog₂p
0,01	0,0664	0,26	0,5053	0,51	0,4954	0,76	0,3009
0,02	1128	0,27	5100	0,52	.4906	0,77	2903
0,03	1518	0,28	5142	0,53	4854	0,78	2796
0,04	1858	0,29	5179	0,54	4800	0,79	2787
0,05	2161	0,30	5211	0,55	4744	0,80	2575
0,06	0,2435	0,31	0,5238	0,56	0,4685	0,81	0,2462
0,07	2686	0,32	5260	0,57	4623	0,82	2348
0,08	2915	0,33	5278	0,58	4558	0,83	2231
0,09	3126	0,34	5292	0,59	4491	0,84	2112
0,10	3322	0,35	5301	0,60	4422	0,85	1992
0,11	0,3503	0,36	0,5306	0,61	0,4350	0,86	0,1871
0,12	3671	0,37	5307	0,62	4276	0,87	1748
0,13	3826	0,38	5305	0,63	4199	0,88	1623
0,14	3971	0,39	5298	0,64	4121	0,89	1496
0,15	4105	0,40	5288	0,65	4040	0,90	1368
0,16	0,4230	0,41	0,5274	0,66	0,3957	0,91	0,1238
0,17	4346	0,42	5256	0,67	3871	0,92	1107
0,18	4453	0,43	5236	0,68	3784	0,93	974
0,19	4552	0,44	5210	0,69	3694	0,94	839
0,20	4644	0,45	5184	0,70	3602	0,95	703
0,21	0,4728	0,46	0,5153	0,71	0,3508	0,96	0,0565
0,22	4806	0,47	5120	0,72	3412	0,97	426
0,23	4877	0,48	5083	0,73	3314	0,98	286
0,24	4941	0,49	5043	0,74	3215	0,99	144
0,25	5000	0,50	5000	0,75	3113	1,00	0,0000

Таблица двоичных логарифмов целых чисел от 1 до 100

n	log₂n	n	log₂n	n	log₂n
1	0,0000	35	5,1293	68	6,0875
2	1,0000	36	1699	69	1085
3	1,5850	37	2095	70	1293
4	2,0000	38	2479	71	1498
5	2,3219	39	2854	72	1699
6	2,5850	40	5,3219	73	6,1898
7	2,8074	41	3575	74	2095
8	3,0000	42	3923	75	2288
9	3,1699	43	4263	76	2479
10	3,3219	44	4594	77	2668
11	3,4594	45	5,4919	78	6,2854
12	5850	46	5236	79	3038
13	7004	47	5546	80	3219
14	8074	48	5850	81	3399
15	9069	49	6147	82	3575
16	4,0000	50	5,6439	83	6,3750
17	0875	51	6724	84	3923
18	1699	52	7004	85	4094
19	2479	53	7279	86	4263
20	3219	54	7549	87	4429
21	4,3923	55	5,7814	88	6,4594
22	4594	56	8074	89	4757
23	5236	57	8329	90	4919
24	5850	58	8580	91	5078
25	6439	59	8826	92	5236
26	4,7004	60	5,9069	93	6,5392
27	7549	61	9307	94	5546
28	8074	62	9542	95	5699
29	8580	63	9773	96	5850
30	9069	64	6,0000	97	5999
31	4,9542	65	6,0224	98	6,6147
32	5,0000	66	0444	99	6294
33	0444	67	0661	100	6439
34	0875				