

# **Основы теории радиосистем передачи информации**

## ***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

*к выполнению лабораторной работы № 3  
для студентов специальности 11.05.01  
«Радиоэлектронные системы и комплексы»  
очной формы обучения*

Воронеж 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

# **Основы теории радиосистем передачи информации**

## ***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

*к выполнению лабораторной работы № 3  
для студентов специальности 11.05.01  
«Радиоэлектронные системы и комплексы»  
очной формы обучения*

Воронеж 2022

УДК 721:53(073)

ББК 38.113я7-5

*Составитель канд. техн. наук Д. В. Журавлёв*

**Основы теории радиосистем передачи информации:** методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. В. Журавлёв. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022.– 24 с.

В методических указаниях изучаются вопросы исследования системы передачи дискретной информации с использованием кода Хэмминга. Тематика лабораторной работы соответствует рабочей программе дисциплины «Основы теории радиосистем передачи информации».

Предназначены для студентов 5 курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ОTRСПИ\_УМД\_ЛР3.pdf.

Ил. 15. Табл. 8. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 721:53(073)**

**ББК 38.113я7-5**

**Рецензент** – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор  
кафедры радиотехники ВГТУ

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

## **ВВЕДЕНИЕ**

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой курса «Основы теории радиосистем передачи информации» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Лабораторная работа посвящена изучению корректирующего кода Хэмминга. Моделирование осуществляется в программном обеспечении для математических расчетов Matlab.

Сначала излагаются краткие теоретические сведения, затем описывается задание и ход выполнения работы. В конце размещены контрольные вопросы, предназначенные для подготовки к защите лабораторной работы.

Методические указания содержат авторские иллюстрации.

### **1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА ХЭММИНГА**

#### **1.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цели работы:

- исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи без использования корректирующего кода;
- исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи при использовании кода Хэмминга.

Задачи работы:

- С помощью математического пакета Matlab исследовать схему двоичного симметричного канала;
- С помощью математического пакета Matlab исследовать схему кодера/декодера Хэмминга;
- Проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

#### **1.2. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Изучение статистики ошибок, возникающих при передаче информации по каналу с помехами, исторически велось в предположении, что мешающие факторы носят независимый характер. Такое предположение на первых этапах было вполне оправдано и удобно для исследования математических моделей каналов. В последующем было выявлено, что в большинстве каналов связи (линий связи) ошибки группируются, т. е. предположение о их независимости не всегда оправдано с точки зрения адекватности модели реально протекающим процессам. Тем не менее, в современной литературе по теории кодирования модели с независимыми ошибками используются для первоначальных оценок систем кодирования, поскольку аналитические модели таких систем просты и отражают главные вероятностные характеристики системы обмена данными.

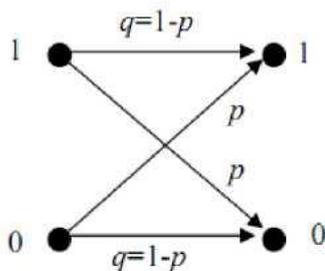
Каналы с независимыми ошибками получили названия дискретных каналов без памяти. В таком канале выполняются соотношения:

$$P_{vu} = P_{uv}, \quad (1)$$

где  $u = 0, 1, \dots$ ;

$v = 0, 1, \dots, V$ .

Простейшей моделью канала без памяти является двоичный, симметричный канал (ДСК,  $U=V=1$ ), схематически представленной на рис. 1.



**Рис. 1.** Граф переходных состояний двоичного симметричного канала

Для такого канала обязательно выполняются следующие вероятностные соотношения  $P_{11} = P_{00} = q$ ,  $P_{10} = P_{01} = P = 1 - q$ . Поскольку в ДСК указывается только вероятность ошибки, то оценить поведение системы удастся только на уровне символов, задавая значение  $P$ .

Распознавание ошибок возможно только при наличии дополнительной избыточной информации, то есть передаваемая информация превышает необходимый минимум. Такая дополнительная информация называется избыточной (*redundans*, лат. — в изобилии). Например, цифра 7 представляется в двоично-десятичном коде как 0111. Если в процессе передачи данных 1 ошибочно передается как 0, то получится 0101. Это уже цифра 5. Без дополнительной информации невозможно узнать, что полученная 5 - ошибочна.

Чтобы определить наличие ошибки, во многих случаях хватает незначительной избыточности. Если ошибка должна быть не только идентифицирована, но и исправлена, требуется больше дополнительных сведений - большая избыточность.

Потребность в идентификации ошибок и их исправлении привела появлению специализированных кодов.

Прежде чем ошибка может быть исправлена, она должна быть обнаружена.

Код, исправляющий ошибки, также является кодом, распознающим ошибки. По сравнению с кодом, распознающим ошибки, код с исправлением ошибок обладает большей избыточностью. Для передачи одного знака требуется на несколько бит больше. Десятичная цифра представляется, например, 7 битами, а не как в коде, распознающим ошибки, 5 битами.

Большая избыточность позволяет выявить ошибочный бит. Если известен ошибочный бит, то самостоятельная коррекция относительно проста.

Если ошибочный бит содержит 1, то правильное значение 0. Если ошибочный бит содержит 0, то правильное значение 1. То есть ошибочный бит должен быть инвертирован. Код с исправлением ошибок производит самостоятельную коррекцию ошибочного бита. Сообщение об ошибке может выдаваться независимо от самокоррекции. Во многих случаях желательна регистрация выявленной ошибки.

В основном коды с исправлением ошибок могут исправлять только одну ошибку в слове. Если в слове ошибочны два бита, то в большинстве случаев выдается сообщение только об одной ошибке. То есть самостоятельное исправление ошибки не произойдет. Вероятность того, что в слове будут одновременно ошибочны два бита, чрезвычайно мала. Если, тем не менее, такая ошибка встретилась, то после сообщения об ошибке нужно остановить передачу данных и устранить ее причину.

В настоящее время разработаны коды, которые могут исправлять два и больше битов в слове. Но им нужно еще больше битов для передачи одного слова, и они так сложно устроены, что их применение экономически нецелесообразно.

Первые работы по корректирующим кодам принадлежат Хеммингу, который ввёл понятие минимального кодового расстояния  $d_{\min}$  и предложил код, позволяющий однозначно указать ту позицию в кодовой комбинации, где произошла ошибка. К «k» информационным элементам в коде Хемминга добавляется «г» проверочных элементов для автоматического определения местоположения ошибочного символа. Помехоустойчивые (корректирующие) коды делятся на блочные и непрерывные.

Блочными называются коды, в которых информационный поток символов разбивается на отрезки и каждый из них преобразуется в определённую последовательность (блок) кодовых символов. В блочных кодах кодирование при передаче (формирование проверочных элементов) и декодирование при приёме (обнаружение и исправление ошибок) выполняются в пределах каждой кодовой комбинации (блока) в отдельности по соответствующим алгоритмам.

Непрерывные или рекуррентные коды образуют последовательность символов, не разделяемую на отдельные кодовые комбинации. Кодирование и декодирование непрерывно совершаются над последовательностью элементов без деления их на блоки.

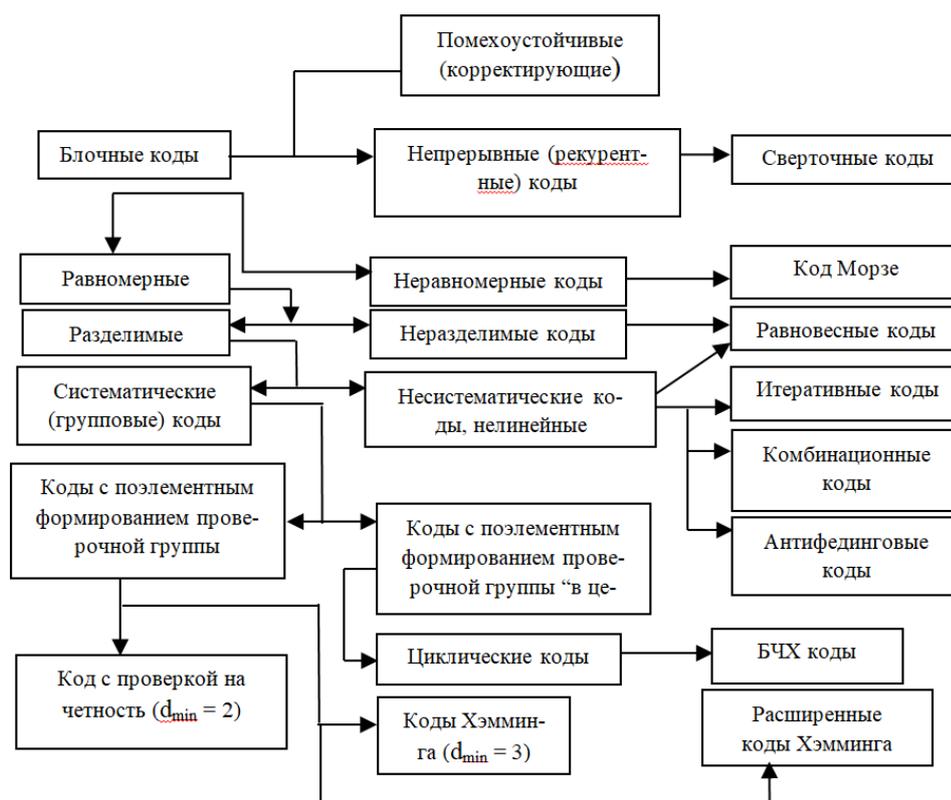
Почти все блочные корректирующие коды принадлежат к разделимым кодам, в которых кодовые комбинации состоят из двух частей: информационной и проверочной. Их символы всегда занимают одни и те же позиции. На рис. 2 приведена упрощённая классификация помехоустойчивых кодов.

Систематические коды образуют наиболее обширную группу  $(n, k)$  - разделимых кодов. Особенностью этих кодов является то, что проверочные (корректирующие) символы образуются с помощью линейных операций над

информационными. Эти коды получили наибольшее применение в системах передачи дискретной информации.

Наиболее известны среди систематических кодов коды Хемминга, которые исторически были найдены раньше многих других кодов и сыграли большую роль в развитии теории корректирующих кодов. В этих кодах используется принцип проверки на чётность определённого ряда информационных символов.

Проверочная группа из  $g$  символов формируется поэлементно по соответствующему алгоритму. Коды Хемминга, имеющие  $d_{\min} = 3$ , позволяют исправить одну ошибку.



**Рис. 2.** Схема классификации помехоустойчивых кодов

Построение кодов Хемминга базируется на принципе проверки на чётность веса  $W$  (числа единичных символов) в информационной группе кодового блока.

Поясним идею проверки на чётность на примере простейшего корректирующего кода, который так и называется кодом с проверкой на чётность или кодом с проверкой по паритету (равенству). В таком коде  $k$  кодовым комбинациям без избыточного первичного двоичного  $k$  - разрядного кода добавляется один дополнительный разряд (символ проверки на чётность, называемый проверочным, или контрольным).

Если число символов «1» исходной кодовой комбинации чётное, то в дополнительном разряде формируют контрольный символ 0, а если число

символов «1» нечётное, то в дополнительном разряде формируют символ 1. В результате общее число символов «1» в любой передаваемой кодовой комбинации всегда будет чётным.

Таким образом, правило формирования проверочного символа сводится к следующему:

$$r_1 = i_1 \oplus i_2 \dots \oplus i_k, \quad (2)$$

где  $i$  - соответствующий информационный символ (0 или 1),  $k$  - общее их число, а под операцией « $\oplus$ » здесь и далее понимается сложение по mod2.

Очевидно, что добавление дополнительного разряда увеличивает общее число возможных комбинаций вдвое по сравнению с числом комбинаций исходного первичного кода, а условие чётности разделяет все комбинации на разрешённые и неразрешённые.

Код с проверкой на чётность позволяет обнаруживать одиночную ошибку при приёме кодовой комбинации, так как такая ошибка нарушает условие чётности, переводя разрешённую комбинацию в запрещённую. Критерием правильности принятой комбинации является равенство нулю результата  $S$  суммирования по mod 2 всех  $n$  символов кода, включая проверочный символ  $r_1$ . При наличии одиночной ошибки  $S$  принимает значение 1:  $S = r_1 = i_1 \oplus i_2 \dots \oplus i_k = \{0 - \text{нет ошибки, } 1 - \text{однократная ошибка}\}$ . Этот код является  $(k + 1, k)$  - кодом, или  $(n, n - 1)$  - кодом. Минимальное расстояние кода равно двум ( $d_{\min} = 2$ ), и, следовательно, никакие ошибки не могут быть исправлены. Простой код с проверкой на чётность может использоваться только для обнаружения (но не исправления) однократных ошибок. Увеличивая число дополнительных проверочных разрядов и формируя по определённым правилам проверочные символы  $r$ , равные 0 или 1, можно усилить корректирующие свойства кода так, чтобы он позволял не только обнаруживать, но и исправлять ошибки. На этом и основано построение кодов Хемминга.

К основным характеристикам корректирующих кодов относятся:

- число разрешённых и запрещённых кодовых комбинаций;
- избыточность кода;
- минимальное кодовое расстояние;
- число обнаруживаемых или исправляемых ошибок;
- корректирующие возможности кодов.

Среди кодов, распознающих ошибки, чаще всего используется код Хемминга, также называемый Хемминг-дополненным двоично-десятичным кодом. Для передачи одной десятичной цифры в коде Хемминга необходимы 7 бит (табл. 1).

Таблица 1

## Код Хемминга

Номер бита	1	2	3	4	5	6	7
Вес	$K_0$	$K_1$	$2^3$	$K_2$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Десятичная цифра	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	1	0	1
	2	0	1	0	1	0	1
	3	1	0	0	0	0	1
	4	1	0	0	1	1	0
	5	0	1	0	0	1	0
	6	1	1	0	0	1	1
	7	0	0	0	1	1	1
	8	1	1	1	0	0	0
	9	0	0	1	1	0	0

По схеме кодирования Хемминга после каждых четырех бит данных добавляются три контрольных бита. Каждая контрольная группа кода Хемминга состоит из трех информационных и одного контрольного бита.

С помощью контрольного бита три информационных бита контрольной группы дополняются до четного числа 1-состояний. Структура контрольной группы  $K_2$  показана в табл. 2. Информационные биты - номер 5, номер 6 и номер 7.

Таблица 2

Структура контрольной группы  $K_2$ 

Номер бита	1	2	3	4	5	6	7
Вес		$K_1$	$2^3$	$K_2$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Десятичная цифра	0			0	0	0	0
	1			1	0	0	1
	2			1	0	1	0
	3			0	0	1	1
	4			1	1	0	0
	5			0	1	0	1
	6			0	1	1	0
	7			1	1	1	1
	8			0	0	0	0
	9			1	0	0	1

Контрольный бит - номер 4.

При изображении десятичной цифры 0 информационные биты не имеют 1-состояний. Поэтому контрольный бит также не получает 1-состояния. При передаче десятичной цифры 1 информационные биты содержат одно 1-состояние. Контрольный бит принимает в этом случае 1-состояние. Тогда количество 1-состояний контрольной группы станет четным. Такая же ситуация

имеет место для представления десятичной цифры 2. При изображении десятичной цифры 3 информационные биты содержат два 1-состояния. Число 1- состояний четно. Контрольный бит принимает в этом случае 0-состояние. Для десятичных цифр от 4 до 9 контрольный бит всегда равен 1, если три информационных бита содержат нечетное число 1 -состояний. Контрольный бит всегда равен 0, если три информационных бита содержат четное число 1-состояний.

Структура контрольной группы  $K_1$  состоит из информационных битов номер 3, номер 6 и номер 7 и контрольного бита 2 (табл. 3). С помощью контрольного бита  $K_1$  три информационных бита контрольной группы дополняются до четного числа 1-состояний. Алгоритм — как у контрольной группы  $K_2$ .

Таблица 3

Структура контрольной группы  $K_1$

Номер бита	1	2	3	4	5	6	7
Вес	$K_0$	$K_1$	$2^3$	$K_2$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Десятичная цифра	0	0	0			0	0
	1	1	0			0	1
	2	1	0			1	0
	3	0	0			1	1
	4	0	0			0	0
	5	1	0			0	1
	6	1	0			1	0
	7	0	0			1	1
	8	1	1			0	0
9	0	1			0	1	

Третья контрольная группа —  $K_0$ . Она состоит из информационных битов номер 3, номер 5 и номер 7. Контрольный бит  $K_0$ , имеет номер 1 (табл. 4).

Таблица 4

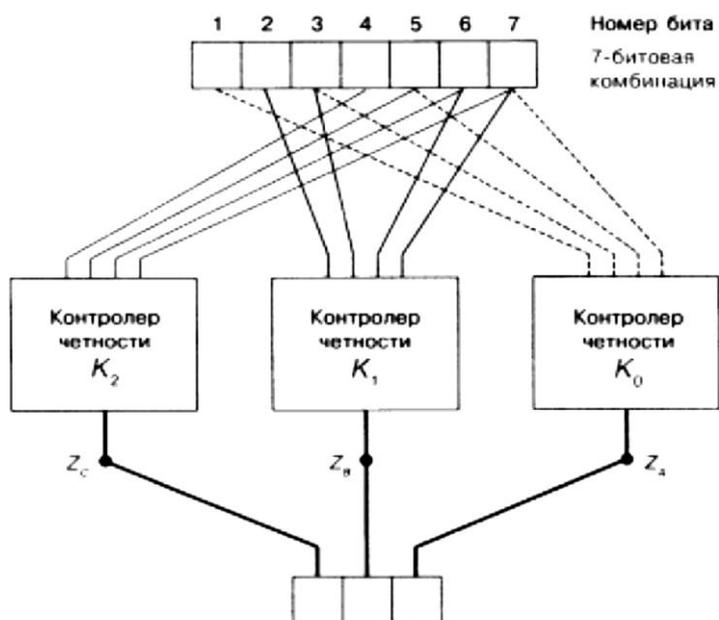
Структура контрольной группы  $K_0$

Номер бита	1	2	3	4	5	6	7
Вес	$K_0$	$K_1$	$2^3$	$K_2$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Десятичная цифра	0	0	0		0		0
	1	1	0		0		1
	2	0	0		0		0
	3	1	0		0		1
	4	1	0		1		0
	5	0	0		1		1
	6	1	0		1		0
	7	0	0		1		1
	8	1	1		0		0
9	0	1		0		1	

С помощью контрольного бита три информационных бита контрольной группы дополняются до четного числа 1-состояний.  $K_0$  всегда равен 1, если три информационных бита содержат нечетное число 1-состояний.

Установление ошибки происходит посредством проверки четности контрольных групп. В коде Хемминга каждая контрольная группа проверяется на четность.

Для проверки 7-битовой комбинации требуются три контролера четности. Они подключаются согласно рис. 3. При нечетности контрольной группы на выходе соответствующего контролера появляется 1-состояние. Это 1-состояние означает ошибку. 7-битовая комбинация кода Хемминга считается содержащей ошибку, если по крайней мере один контролер четности сообщает об ошибке. Если ошибка встречается в бите номер 1, то контролер четности группы  $K_0$  сообщает об ошибке. Выход  $Z_a$  принимает состояние 1.



**Рис. 3.** Подключение контролера четности

Ошибка в бите номер 2 вызывает сообщение об ошибке контролера четности группы  $K_1$  ( $Z_b = 1$ ). В случае ошибки в бите номер 3 ошибку выдают контролеры четности  $K_0$  и  $K_1$ . В таблице 9 показано, какие контролеры четности выдают сообщение об ошибке, и состояния выходов  $Z_a$ ,  $Z_b$  и  $Z_c$  в случае ошибок в отдельных битах.

При рассмотрении таблицы 5 ясно, что выходные состояния  $Z_a$ ,  $Z_b$  и  $Z_c$  образуют двоичное число, которое соответствует номеру ошибочного бита. Выход  $Z_a$  соответствует 20, выход  $Z_b$  соответствует 21, выход  $Z_c$  соответствует 22.

Выходные состояния контролеров четности в коде Хемминга указывают номер ошибочного бита. Таким образом, однозначно идентифицируется ошибочный бит. Теперь его можно исправлять. Коррекция происходит

самостоятельно с помощью цифровой микросхемы, которая инвертирует бит, помеченный как ошибочный. Больше делать ничего не надо, так как если ошибочный бит равен 1, то его истинное значение 0. Если ошибочный бит равен 0, то его истинное значение 1.

Таблица 5

Соответствие сообщений об ошибках выходным состоянием контроллеров четности

Ошибка в номере бита	Сообщение об ошибке от контроллера четности	Выходные состояния		
		$Z_c$	$Z_b$	$Z_a$
1	$K_0$	0	0	1
2	$K_1$	0	1	0
3	$K_0$ и $K_1$	0	1	1
4	$K_2$	1	0	0
5	$K_0$ и $K_1$	1	0	1
6	$K_0$ и $K_2$	1	1	0
7	$K_0$ , $K_1$ и $K_2$	1	1	1
		$2^2$	$2^1$	$2^0$

В схемах, которые работают с кодом Хемминга, каждая 7-битовая комбинация проверяется в определенных точках схемы и в случае необходимости исправляется. Такая проверка и коррекция целесообразна прежде всего после передачи информации через длинные дорожки на плате, так как длинные дорожки больше подвержены воздействию помех.

### 1.3. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

С помощью пакета математического моделирования Matlab собрать исследуемые схемы, внести изменения согласно варианту взятому из табл. 6.

Таблица 6

Индивидуальные параметры для схемы двоичного симметричного канала

Размер алфавита символов	Вид комбинации	Длительность импульса	Вероятность ошибки	Время внесения ошибки
M-ary number	Initial seed	Sample time	Error	Initial seed
2	10	2	0.5	15
2	18	3	0.3	24
2	25	4	0.1	30
2	30	1	0.2	35
2	32	5	0.03	40
2	35	1	0.04	45
2	40	3	0.8	48

Размер алфавита символов	Вид комбинации	Длительность импульса	Вероятность ошибки	Время внесения ошибки
M-ary number	Initial seed	Sample time	Error	Initial seed
2	45	2	0.16	50
2	50	4	0.01	55
2	52	1	0.5	59
2	22	5	0.3	32
2	15	4	0.7	23
2	32	3	0.2	40
2	33	2	0.1	43
2	38	1	0.04	47
2	45	5	0.14	50
2	22	2	0.06	27
2	20	3	0.3	30
2	35	4	0.7	45
2	44	1	0.15	51
2	55	5	0.8	60

#### 1.4. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ДВОИЧНЫМ СИММЕТРИЧНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОДА

Для выполнения исследований необходимо с помощью пакета математического моделирования Matlab собрать схему двоичного симметричного канала, внести изменения согласно индивидуальным параметрам (табл. 6). Схема двоичного канала показана на рис. 4.

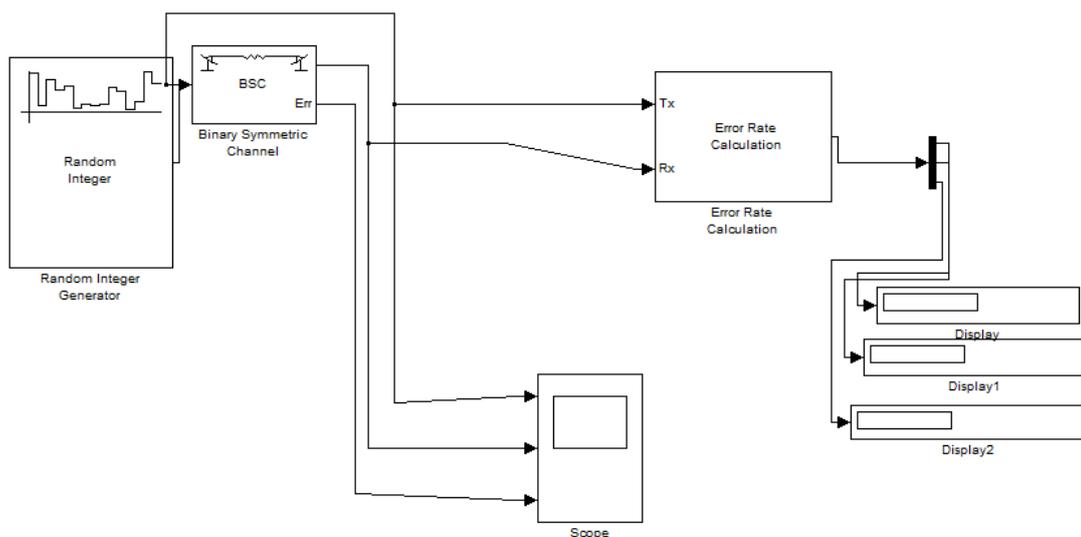


Рис.4. Схема двоичного симметричного канала

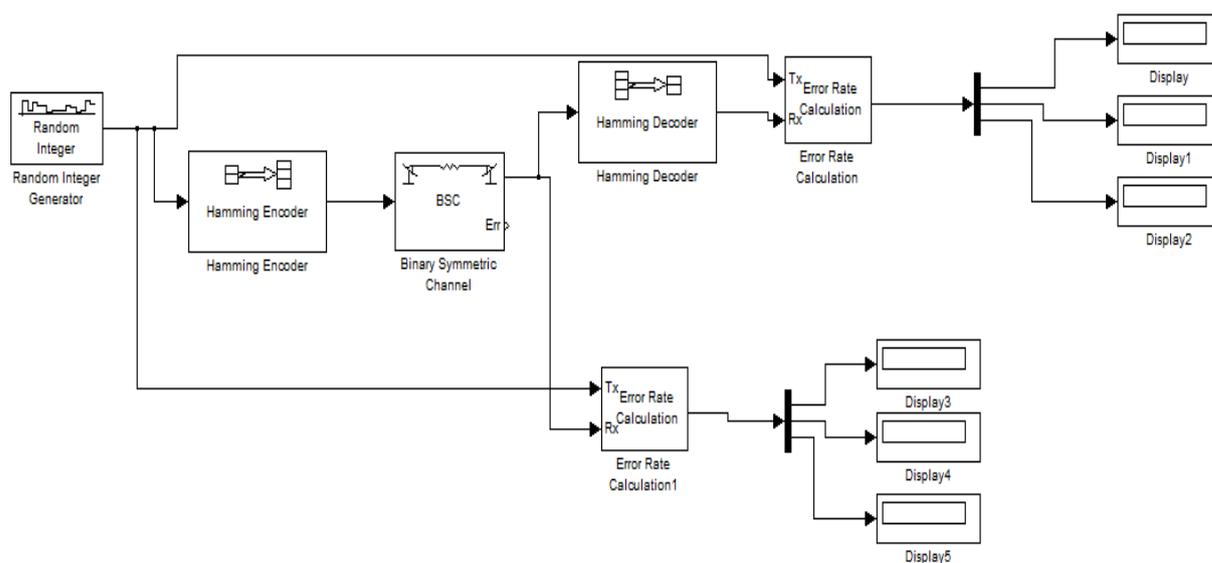
Прежде чем запустить схему для набора статистических сведений необходимо установить параметры схемы согласно варианту задания (табл. 6). Описание блоков моделируемой системы, необходимо смотреть в примере выполнения варианта.

### 1.5. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ДВОИЧНЫМ СИММЕТРИЧНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОДА ХЭММИНГА

Для выполнения данной части лабораторной работы необходимо:

- С помощью пакета математического моделирования Matlab собрать схему кодера/декодера Хэмминга;
- Получить статистические данные для канала с исправлением ошибки;
- Провести сравнение канала без избыточного кода и канала с кодированием;
- Результаты оформить в виде таблицы.

Схема кодера/декодера Хэмминга представлена на рис. 5.



**Рис. 5.** Схема кодера/декодера Хэмминга

Описание блоков моделируемой системы, необходимо смотреть в примере выполнения варианта.

Зная один из параметров кода Хэмминга  $m=3$ , можно найти значения  $n$  и  $k$  ( $n=7$ ,  $k=4$ ).

Провести исследование, обработав около 104 информационных символов. Результаты исследований зафиксировать в протоколе.

В последующем, изменяя параметры по правилу  $n = 2m - 1$  и  $k = 2m - m - 1$ , провести исследование системы, фиксируя результаты в протоколе.

Рекомендуется параметру  $m$  последовательно придавать значения 4; 5; 6; 8 при соответствующих значениях параметра  $P$ : 0.15; 0.1; 0.08; 0.04; 0.01. Значения следующих параметров: размер алфавита символов, вид комбинации, длительность импульса и время отнесения ошибки для схемы кодера/декодера Хэмминга рекомендуется брать из табл. 6. Форма протокола отчета представлена в табл. 7.

Таблица 7

Протокол исследований кодов Хэмминга

Код Хэмминга в ДСК						
n, k	P	0.15	0.1	0.08	0.04	0.01
7, 4, 3						

Для оценки энергетического выигрыша целесообразно сравнить полученные данные с данными аналитического моделирования системы связи с противоположными сигналами, для которой получены результаты, приведенные в табл. 8.

Таблица 8

Результаты аналитического моделирования

Вероятность ошибки	$3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Отношение сигнал/шум	2 дБ	4 дБ	6 дБ	8 дБ	10 дБ

Для подготовки отчета рекомендуется свести результаты исследований на один график.

За аргумент целесообразно принять параметр  $k$ , а за функцию полученные вероятности ошибочного приема символа ( $P$ ).

Для выполнения этого пункта задания необходимо в командной строке набрать программу вывода графиков. Например, программа для вывода двух графиков имеет вид:

```
>> x = [120 247 502 1013];
>> y = [0.01 0.02 0.06 0.1];
>> x1 = [120 247 502 1013];
>> y1 = [0.001 0.01 0.012 0.1];
>> semilogy(x,y,x1,y1), grid
```

Полученный график перенести в отчет по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом по установленной форме.

Отчет должен содержать:

- Исследуемые схемы и их краткую характеристику;
- Статистические и графические результаты испытаний исследуемых схем;
- Выводы по работе.

## 1.6. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ВАРИАНТА РАБОТЫ

Для создания собственной модели рекомендуется в строке главного меню окна активизировать слово «File» и в появившемся меню щелкнуть «New». Далее в меню справа щелкнуть «Model», после чего оявляется свободное окно – рис. 6.

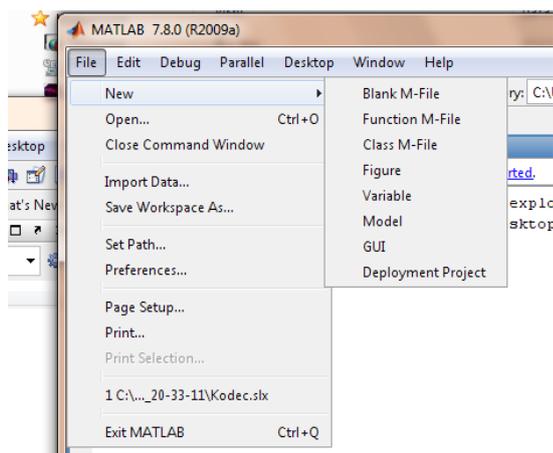


Рис. 6. Создание собственной модели

Для вызова пакета программ, связанных с моделированием систем связи, необходимо в командной строке набрать `commlibv2` и нажать ввод.

На экране появится окно `Library commlibv2`. Содержание этого окна показано на рис. 7.

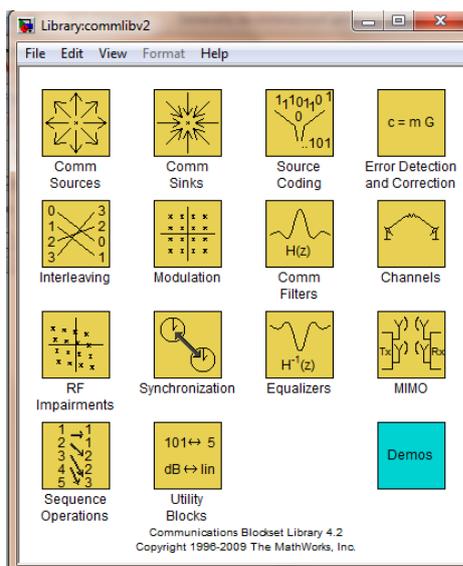
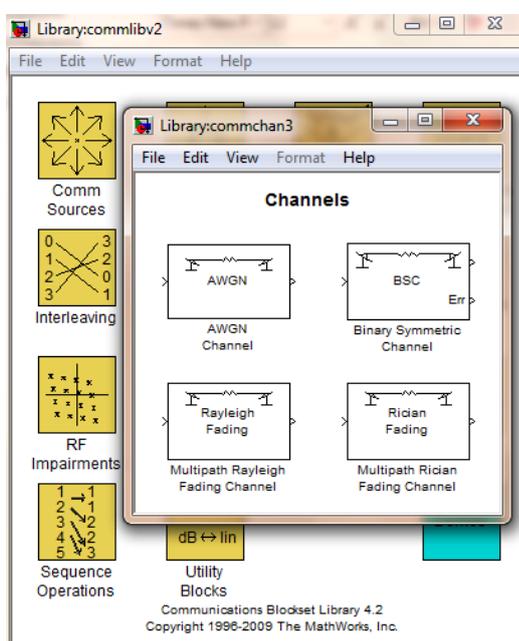


Рис. 7. Содержание окна для моделирования систем связи

Содержимое данного окна представляет структурную схему системы связи. На рис. 7 представлены:

- Comm Sources - источник информации;
- Source coding - устройство кодирования;
- Error Detection and Correction - устройство защиты от ошибок;
- Modulation - модулятор;
- Channels - каналы;
- Demodulation - демодулятор;
- Comm Sinks - приемник информации.

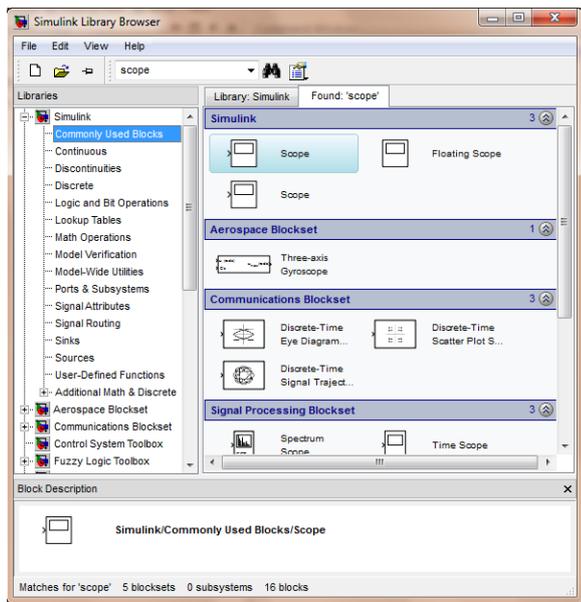
Все основные блоки для исследуемых схем находятся здесь, например чтобы просмотреть элементы блока «Channel» нужно кликнуть на нем 2 раза мышкой, появится окно показанное на рис. 8.



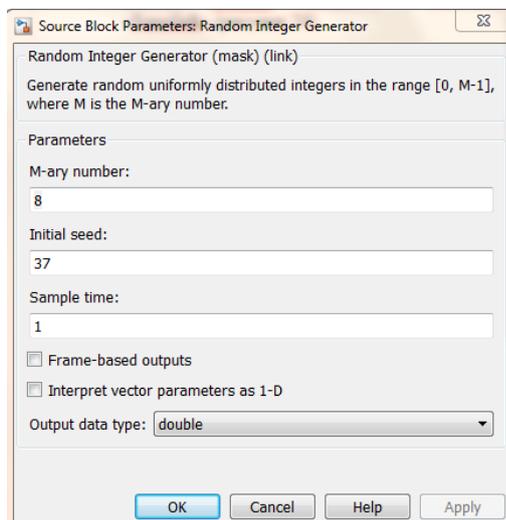
**Рис. 8.** Библиотека блока «Channels»

Остальные необходимые блоки для исследуемых схем, такие как осциллограф «scope» или демультиплексор (разделитель) «Demux» находятся с помощью браузера «Simulink» (рис. 9).

Подробно рассмотрим блоки схемы двоичного симметричного канала связи без использования корректирующего кода. Если щелкнуть левой кнопкой мыши в поле интересующего блока, появится панель с параметрами, как показано на рис. 10.



**Рис. 9.** «Simulink Library Browser»



**Рис. 10.** Вид панелей для установки параметров блоков

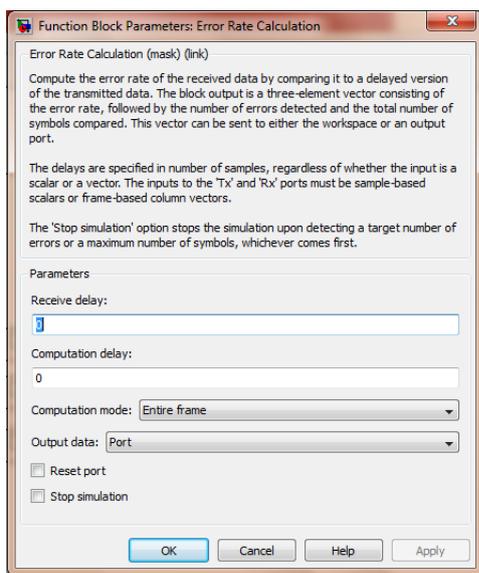
На экран можно вызывать одну или несколько панелей. Левая панель на рис. 9 относится к блоку Random Integer Generator (Генератору случайных чисел). Первая строка устанавливает размер алфавита символов, формируемых генератором. Вторая строка задает вид комбинации для первоначального заполнения генератора рекуррентной последовательности, которая используется далее. Третья строка устанавливает длительность импульса в единицах модельного времени (в данном случае это время равно 1 ед.).

Флаговое поле Frame - based outputs определяет порядок выдачи сгенерированных битов. Если данный флаг установлен, то символы упаковываются во фреймы, в количестве, определенном в поле Samples per frame.

Данная функция используется при блочном кодировании передаваемой информации, а после записывается количество символов, которое будет передаваться в блоке.

Справа приведена панель параметров для блока - двоичный симметричный канал (Binary Symmetric Channel), который предназначен для моделирования канала связи. Задать значение  $P$  можно активизируя блок канала модели двойным щелчком мыши и выставляя в первой строке параметров (Error probability) соответствующую величину  $P$ , как показано на рис. 9. Вторая строка (Initial seed) определяет начальное состояние автомата по внесению ошибок в выходной поток и время внесения ошибки.

Блок подсчета ошибок (Error Rate Calculation) показан на рис.11.

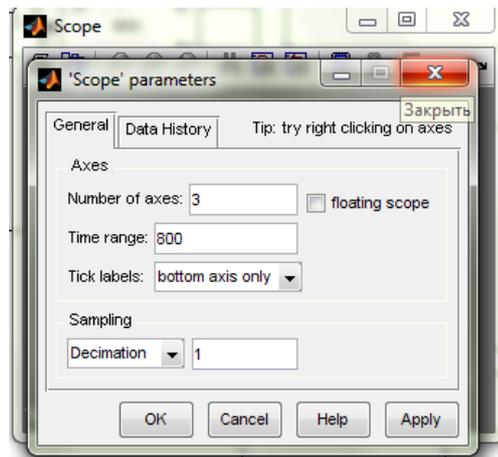


**Рис.11.** Блок подсчета количества ошибок

В блоке подсчета количества ошибок, параметр Output data определяет, куда будут передаваться результаты подсчета. При выполнении работы данный параметр должен иметь значение Port. Данные по результатам подсчета ошибок упаковываются в массив из трех элементов:

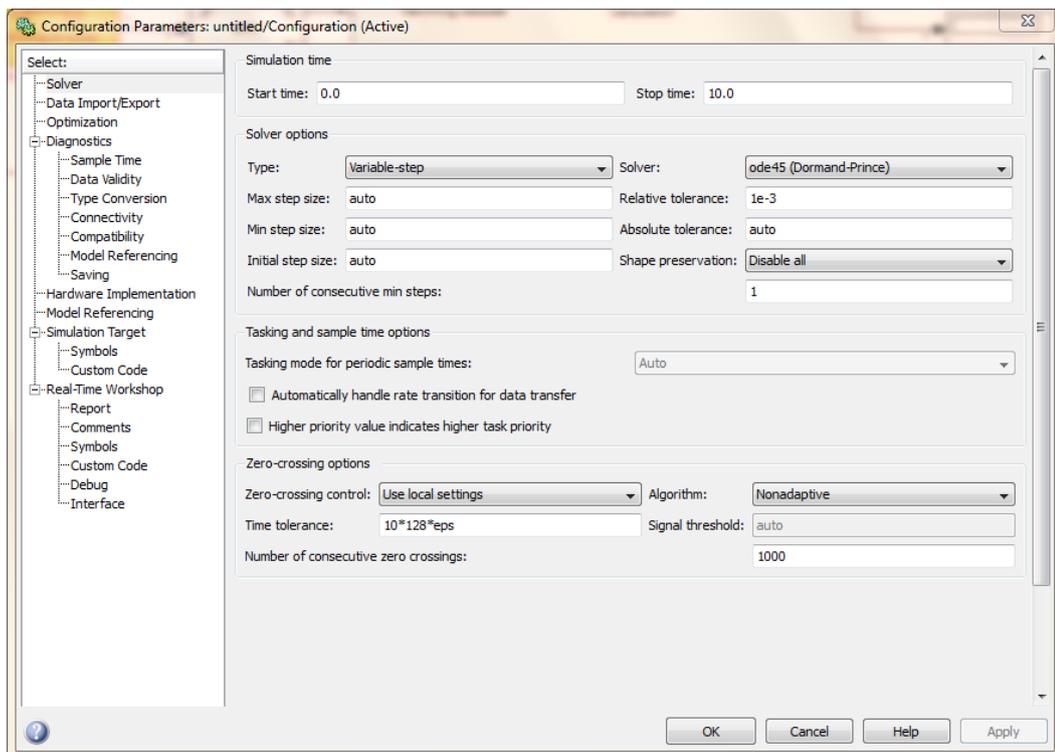
- оценка вероятности ошибки;
- количество ошибочно принятых элементов;
- общее количество принятых элементов.

При выполнении лабораторной работы эти данные необходимо через демультиплексор вывести на Display. Для получения осциллограмм сигналов, необходимо произвести двойной щелчок мыши в поле устройства «Score». Для получения нескольких входов у осциллографа, необходимо в параметрах «Score» указать соответствующие число (рис.12).



**Рис.12.** Параметры «Scope»

Остановимся на времени моделирования. Для установки этого параметра необходимо в строке главного меню модели найти команду Simulation. После ее активации появится контекстное меню, в котором необходимо нажать Configuration parameters. Это приведет к появлению панели показанной на рис. 13.

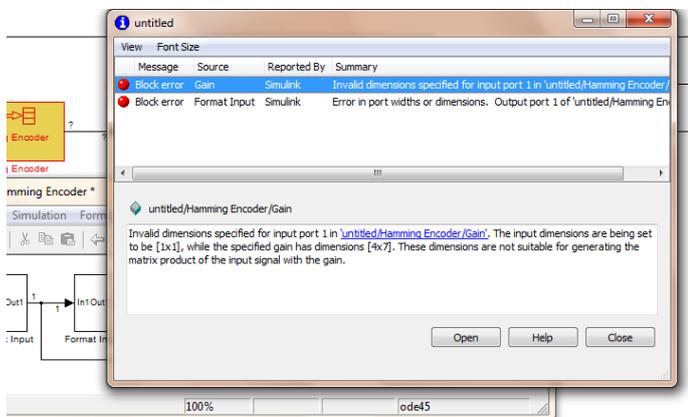


**Рис. 13.** Вид окна установки параметров моделирования

На панели необходимо установить модельное время в соответствующих окнах (Start time, Stop time). Обычно для достижения требуемой точности моделирования необходимо обработать до  $10^6$  символов.

В целях экономии времени в данной работе допускается передача  $10^3 - 10^4$  символов.

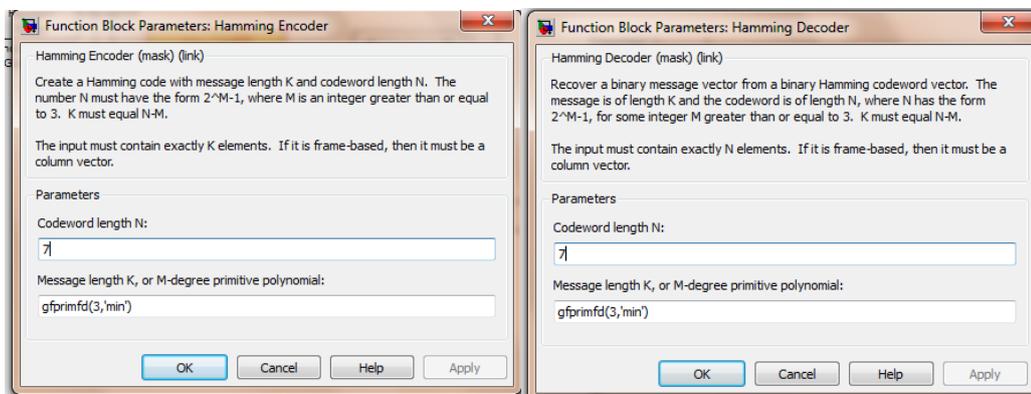
В случае наличия ошибок в установке параметров модели на экран в автоматическом режиме выводится панель ошибок, общий вид которой представлен на рис.14. При этом блок, в котором не установлен (или ошибочно определен) параметр в модели подсвечивается желтым цветом с красной окантовкой. В приведенном примере не указан размер алфавита символов.



**Рис. 14.** Панель ошибок и выделенный ошибочный блок модели

Подробно рассмотрим блоки кодера/декодера Хэмминга в схеме двоичного симметричного канала связи при использовании кода Хэмминга.

Окна установки параметров кодера и декодера Хэмминга должны быть идентичны, они показаны на рис.15.



**Рис.15.** Окна установки параметров кодера и декодера

Допустим у нас есть следующие параметры кода Хэмминга  $m=7$ ,  $n=127$  и  $k=120$ . Длина кодового слова  $n$  задается в первом параметре (Codeword length). Вторая строка определяет порождающий полином кодера в виде функции  $gprimfd(7, 'min')$ , в параметр которой записывается число  $m$ .

Для нормальной работы кодера на его вход необходимо подавать блок информационных символов в виде матрицы  $k$ . Для этого генератор случайных символов необходимо перевести в режим пакетной передачи (Samples per frame) с размером символов в пакете, согласованных с размером блока кода.

## **1.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

Контрольные вопросы для проверки остаточных знаний:

1. Назовите и опишите характеристики двоичного симметричного канала связи.
2. Кому принадлежат первые работы по корректирующим кодам?
3. Дайте определение блочным кодам.
4. Дайте определение непрерывным кодам.
5. Порядок задания кодов Хэмминга.
6. Назовите особенности систематических кодов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данные методические указания направлены на изучение принципов работы корректирующих кодов и, в частности, кода Хэмминга. В процессе работы моделируются кодер и декодер кода Хэмминга, определяется эффективность обнаружения и исправления ошибок. При необходимости углубить теоретические знания по рассмотренным темам следует обратиться к библиографическому списку.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Прокис. Дж. Цифровая связь / пер. с англ. ред. Д. Д. Кловский – М.: Радио и связь, 2000.
2. Васильев К. К. Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи. / К. К. Васильев – Ульяновск, УлГТУ, 2007.
3. Дьяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА ХЭММИНГА .....	3
1.1. Цели и задачи работы .....	3
1.2. Общие теоретические сведения .....	3
1.3. Задание на лабораторную работу .....	11
1.4. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи без использования корректирующего кода....	12
1.5. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи при использовании кода Хэмминга .....	13
1.6. Пример выполнения варианта работы .....	15
1.7. Контрольные вопросы .....	21
Заключение.....	21
Библиографический список.....	22

# **Основы теории радиосистем передачи информации**

## ***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

*к выполнению лабораторной работы № 3  
для студентов специальности 11.05.01  
«Радиоэлектронные системы и комплексы»  
очной формы обучения*

Составитель  
Журавлёв Дмитрий Владимирович

В авторской редакции

Подписано к изданию 14.09.2022.  
Уч.-изд. л. 1,2.

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