

**Федеральное агентство по образованию  
Алатырский филиал  
Федерального государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова**

**Теория кодирования  
Методические указания к лабораторным работам**

Алатырь, 2008

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Общие сведения о пакете программ Matlab

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАКЕТЕ ПРОГРАММ MATLAB

Система Matlab (сокращение от MATrix LABoratory – Матричная лаборатория) является интерактивной системой для выполнения инженерных и научных расчетов, ориентированной на работу с массивами данных. Система использует математический сопроцессор и допускает возможность обращения к программам, написанным на языке FORTRAN, C и C++. Matlab предназначена для довольно сложных расчетов. Это определяет круг его пользователей: инженеры-проектировщики и разработчики новых устройств, студенты и аспиранты, научные работники, физики и математики. Система приспособлена к любой области науки и техники, содержит средства, которые особенно удобны для электро- и радиотехнических расчетов, имитационного моделирования систем связи различного назначения.

В данном руководстве приведены краткие сведения, касающиеся моделирования узкого класса систем обмена данными, в которых используются различные виды модуляции и помехоустойчивого кодирования. После запуска Matlab на экране монитора появляется рабочее окно (рис. 1) с командной строкой. Начало командной строки отмечено символом >>.

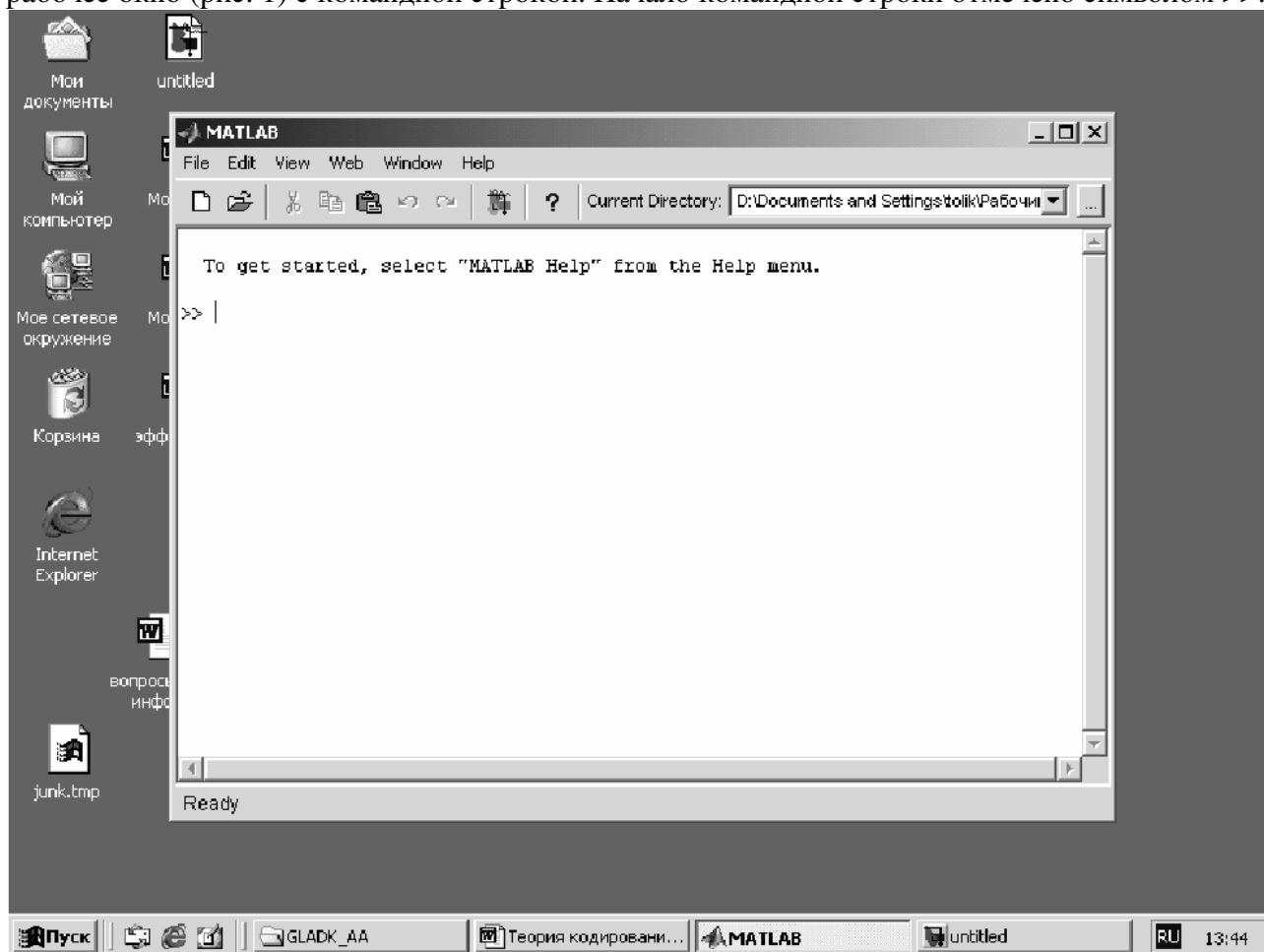


Рис. 1. Вид рабочего окна Matlab на фоне рабочего стола

Для вызова пакета программ, связанных с моделированием систем связи, необходимо в командной строке набрать `commlibv1` и нажать ввод. На экране появится окно `Library commlibv1`. Содержание этого окна показано на рис. 2.

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

Source – источник информации;

Source coding – устройство кодирования, устройство защиты от ошибок;

Modulation – модулятор;

Channel – канал;

Demodulation – демодулятор;

Sink – приемник информации.

На основе рассматриваемого окна модель системы связи создать невозможно. Для создания собственной модели необходимо активизировать любой элемент данной схемы двойным щелчком мыши. На рис. 3 показано окно, которое появляется после активизации источника сообщений. В этом окне представлен перечень всевозможных источников сообщений, известных на данный момент.

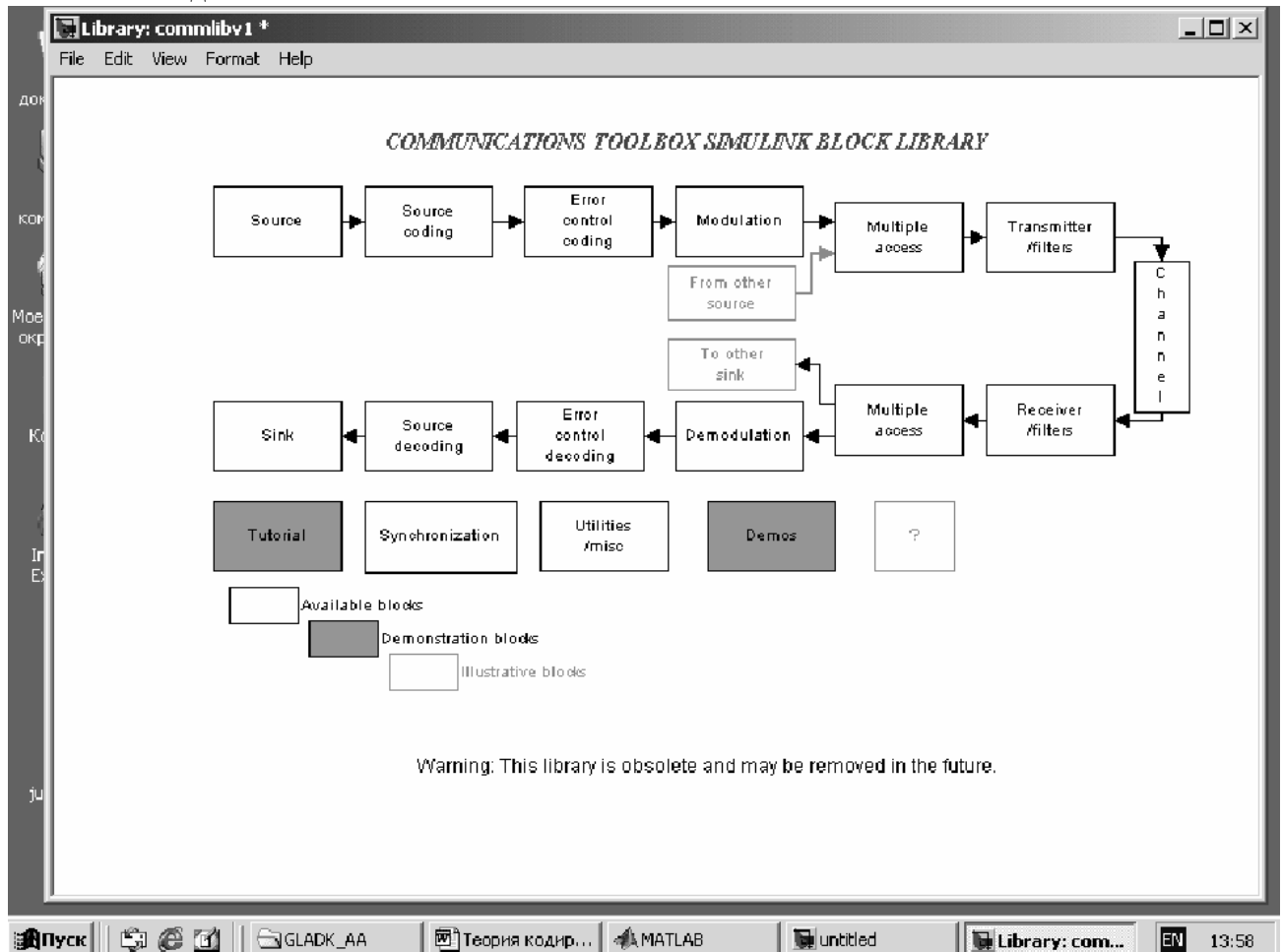


Рис. 2. Содержание окна для моделирования систем связи

Для создания собственной модели рекомендуется выбрать из библиотеки интересующий автора образец и активизировать его. Далее в строке главного меню окна активизировать слово File и в появившемся меню щелкнуть New. Далее в меню справа щелкнуть Model, после чего появляется свободное окно. Свободное окно является той зоной, в которой автор модели создает необходимую схему связи. В Matlab используется буксировка необходимого элемента из классической схемы в авторскую схему. Для этого стрелка мыши вводится в поле нужного элемента, нажимается и удерживается левая кнопка мыши, выбранный элемент буксируется в авторское поле. Кнопка мыши отпускается после установки выбранного элемента на нужное автору место. Каждый элемент имеет отметку для подключения соединительных линий. Если подвести стрелку мыши к такому элементу, то появляется крестовина, которую необходимо

протаскать к требуемому элементу при нажатой левой кнопки мыши. В результате появляется связь в виде стрелки.

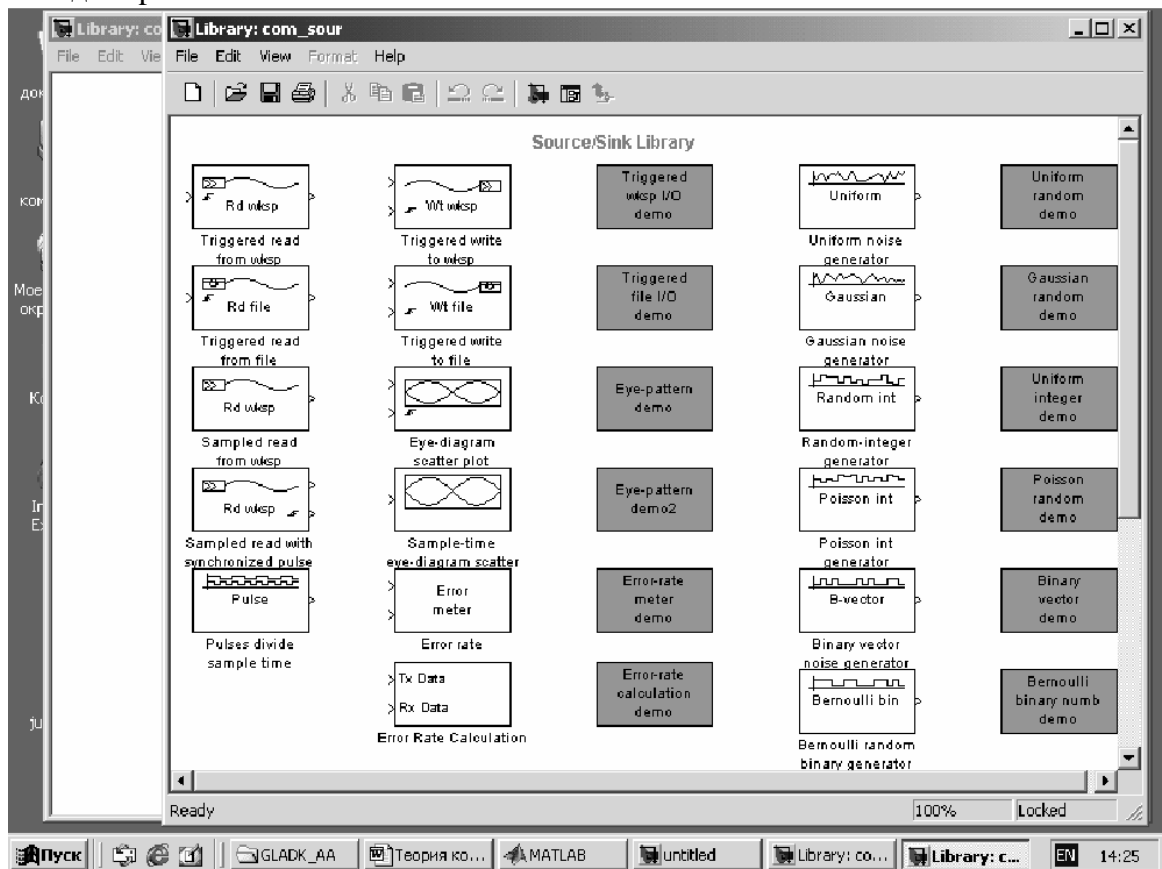


Рис. 3. Библиотека источников сообщений

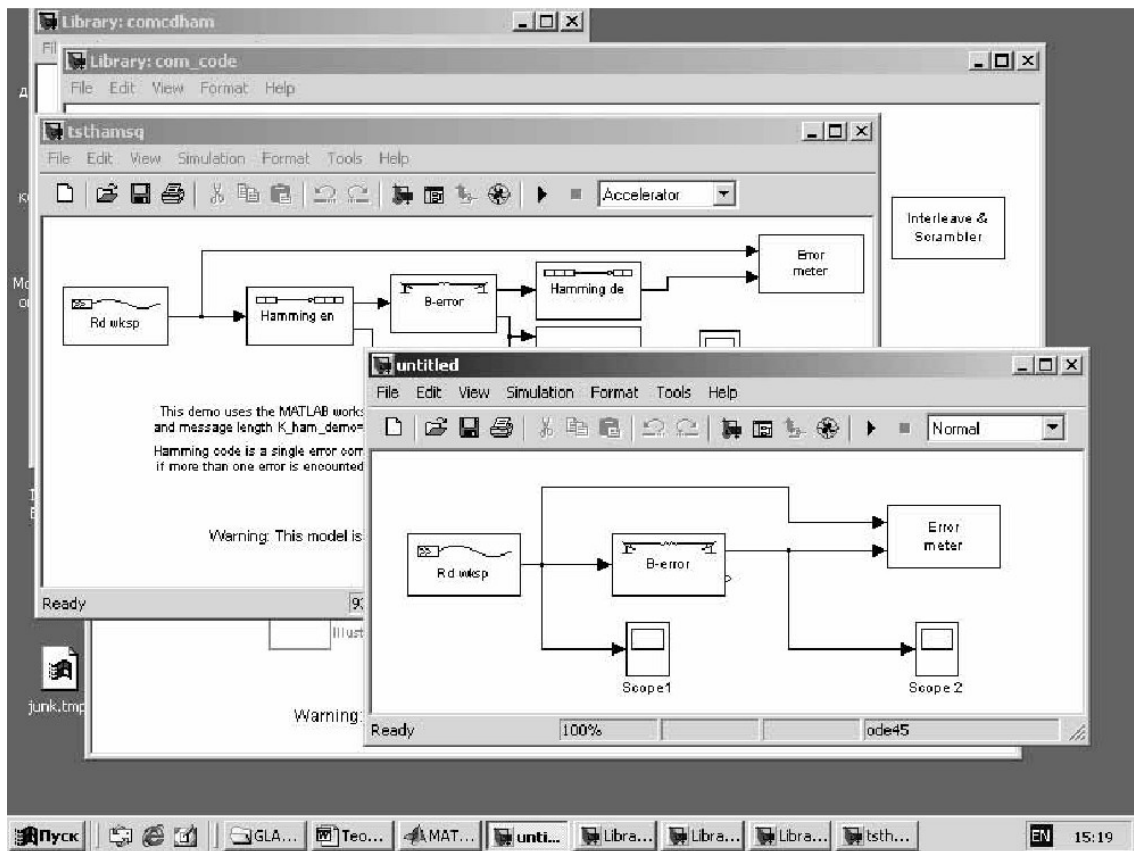


Рис. 4. Пример создания собственной модели

Необходимо помнить основные особенности Matlab. Их всего четыре.

1. Элементы схемы, окрашенные в зеленый цвет, позволяют получить готовые шаблоны схем связи, из которых возможно создание необходимой авторской схемы.
2. Двойной щелчок мыши в поле элемента вызывает набор инструментов для данного элемента с необходимым набором параметров.
3. Подключение к линии соединения двух элементов осуществляется с использованием правой кнопки мыши.

Пример создания авторской модели показан на рис. 4. В правом нижнем углу показано окно авторской модели. За ним просматривается часть окна, в котором представлена эталонная модель. Авторское окно создано путем буксировки элементов из эталонной модели. Запуск модели осуществляется двумя способами.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

по учебной дисциплине «Теория кодирования»

**Тема:** Исследование системы передачи дискретной информации с использованием кода Хэмминга.

### I. Учебные вопросы

1. Изучение интерфейса системы Matlab.
2. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи без использования корректирующего кода.
3. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи при использовании кода Хэмминга.

### II. Задание и указания по подготовке и выполнению лабораторной работы

В день проведения занятия студенты обязаны:

- активизировать программу Matlab, вывести ее на рабочий стол ПК;
- выполнить необходимые операции в соответствии с данным заданием в течение отведенного на каждый вопрос времени.

#### ВОПРОС 1. Изучение интерфейса системы Matlab.

В ходе работы над данным учебным вопросом необходимо изучить раздел **Общие сведения о пакете программ Matlab** данных методических указаний и апробировать выполнение приемов работы по вызову соответствующей библиотеки, созданию простейшей авторской модели и освоению интерфейса программного продукта в части, касающейся моделирования систем связи.

#### ВОПРОС 2. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи без использования корректирующего кода.

Для выполнения исследований необходимо составить модель канала связи, выполнив следующие операции:

- используя команду **commlibv1**, вызвать на экран структурную схему системы связи и активизировать блок кодирования информации **Error control coding**;
- в появившемся окне **Demo Error-Control Coding/Decoding Library** выбрать окно **Hamming codec**;
- в новом окне выбрать систему с последовательной передачей двоичных элементов кодовой комбинации кода Хэмминга **Binary sequence Hamming encode**;
- активизировать окно зеленого цвета, которое позволяет получить эталонную модель для  $n,k$ -кода (7,4) **Sequence Codec demo**;
- в строке главного меню нового окна активизировать слово **File** и в появившемся меню щелкнуть **New**, далее в меню справа щелкнуть **Model**, появляется свободное окно;
- используя метод буксировки, собрать модель по образцу, показанному на рис. 5.

Прежде чем запустить модель для набора статистических данных необходимо установить параметры для каждого блока моделируемой системы. Для выполнения данной процедуры необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши в поле интересующего блока. Появится панель с параметрами, как показано на рис. 6.

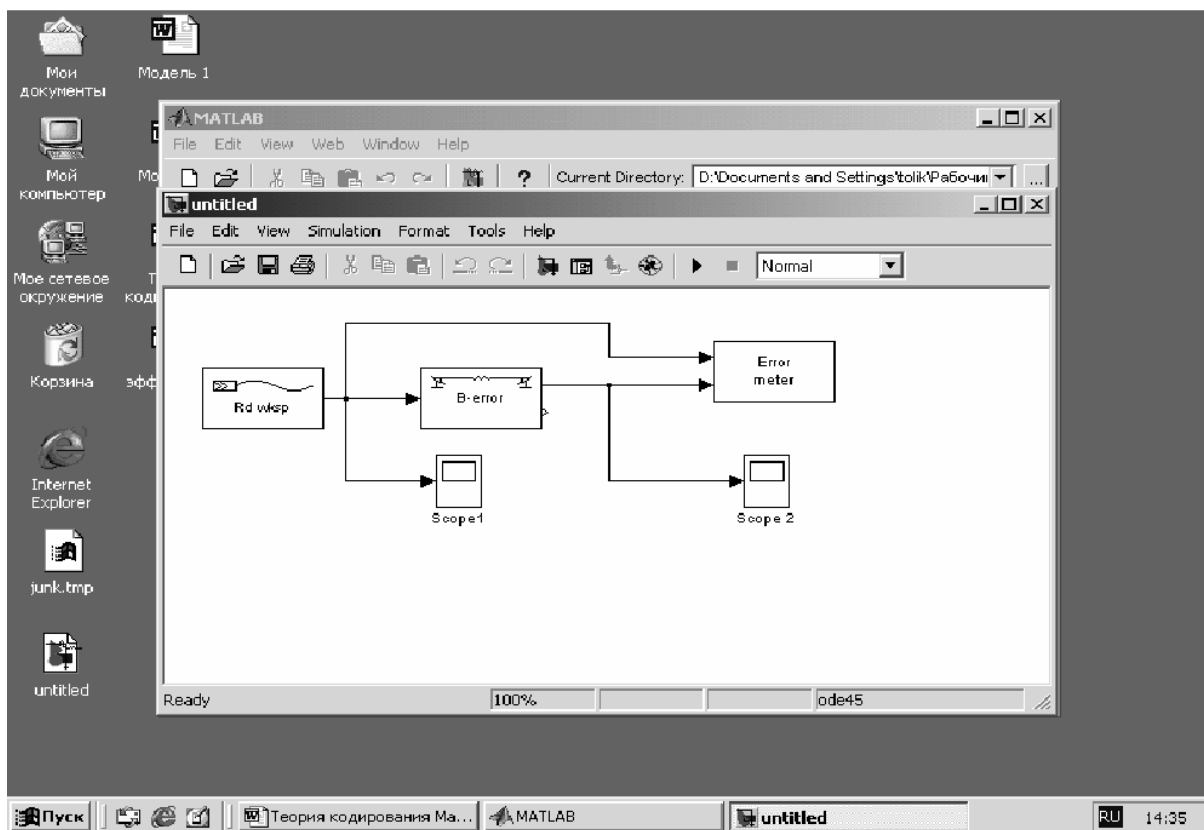


Рис. 5. Образец модели для испытания двоичного канала

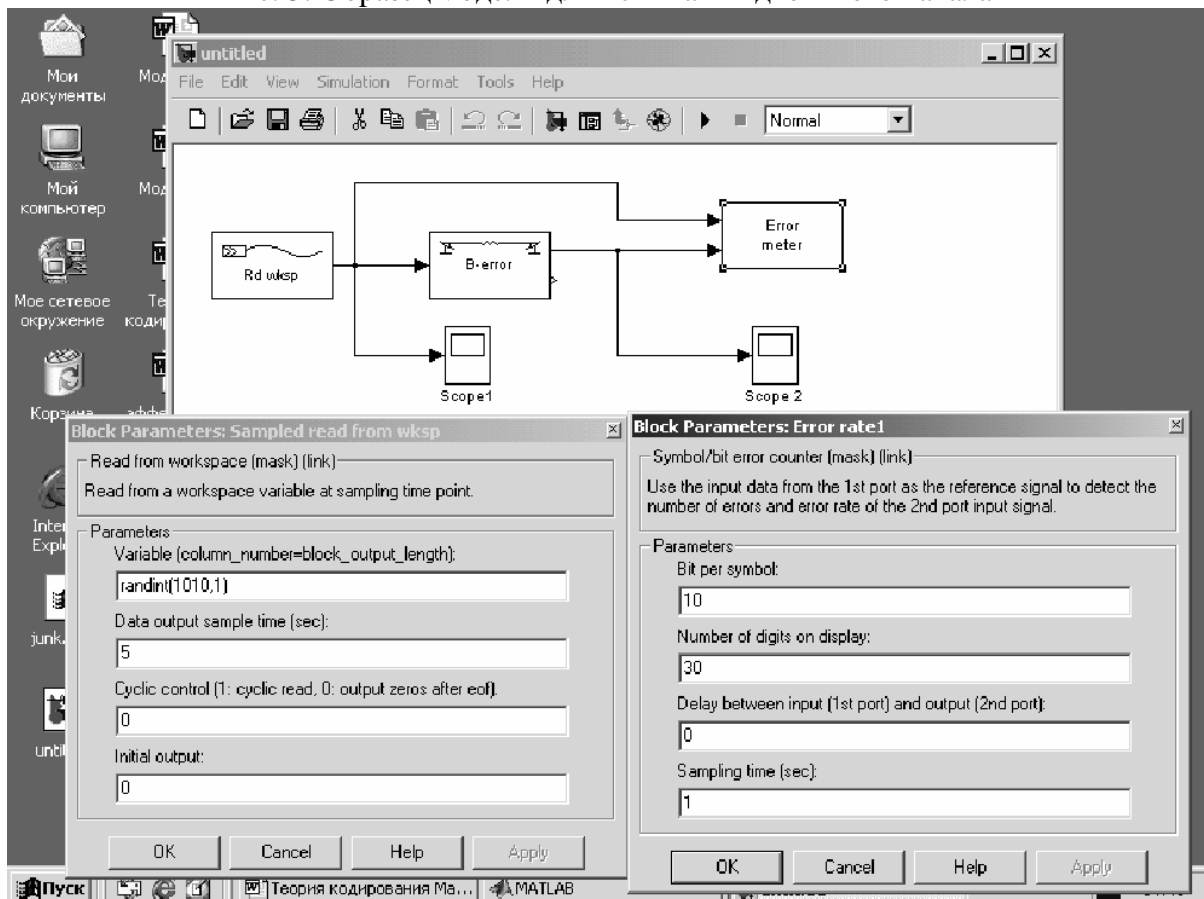


Рис. 6. Вид панелей для установки параметров блоков



На экран можно вызвать одну или несколько панелей. Левая панель на рис. 6 относится к блоку **Read workspace** (Датчику теста). Первая строка устанавливает вид комбинации для первоначального заполнения датчика рекуррентной последовательности, которая используется далее в виде тестовой последовательности. Цифра после запятой обозначает число датчиков (их может быть несколько). Вторая строка устанавливает длительность импульса в единицах модельного времени (в данном случае это время равно 5 ед.). В третьей строке наличие 1 свидетельствует о длительности цикла считывания. В четвертой строке устанавливается номер активного выхода. Справа приведена панель параметров для блока **Error meter**, который предназначен для сбора статистических данных.

В первой строке устанавливается число бит, приходящихся на переданный символ (рекомендуется вводить в эту строку 1). Во второй строке исследователь выводит число строк, которые появляются на экране в ходе проведения эксперимента. Если число строк установить 30, то в ходе проведения эксперимента заметна динамика появления ошибок в последовательности принятых символов. Для ускорения процесса моделирования не рекомендуется выводить на экран панель сбора статистических данных, чтобы не тратить время и объем оперативной памяти ПК на графику. В третьей строке отображается задержка по времени между первым и вторым входом блока. Действительно, на первый вход сигнал поступает с выхода датчика информации без задержки, а на второй вход сигнал может проходить несколько блоков для кодирования и декодирования информации и временную разницу между двумя путями сигнала; необходимо учитывать, чтобы тестовые последовательности были синхронизированы между собой. В четвертой графе устанавливается модельное время. Рекомендуется устанавливать 1. Образец экрана со статистическими данными приведен на рис. 7.

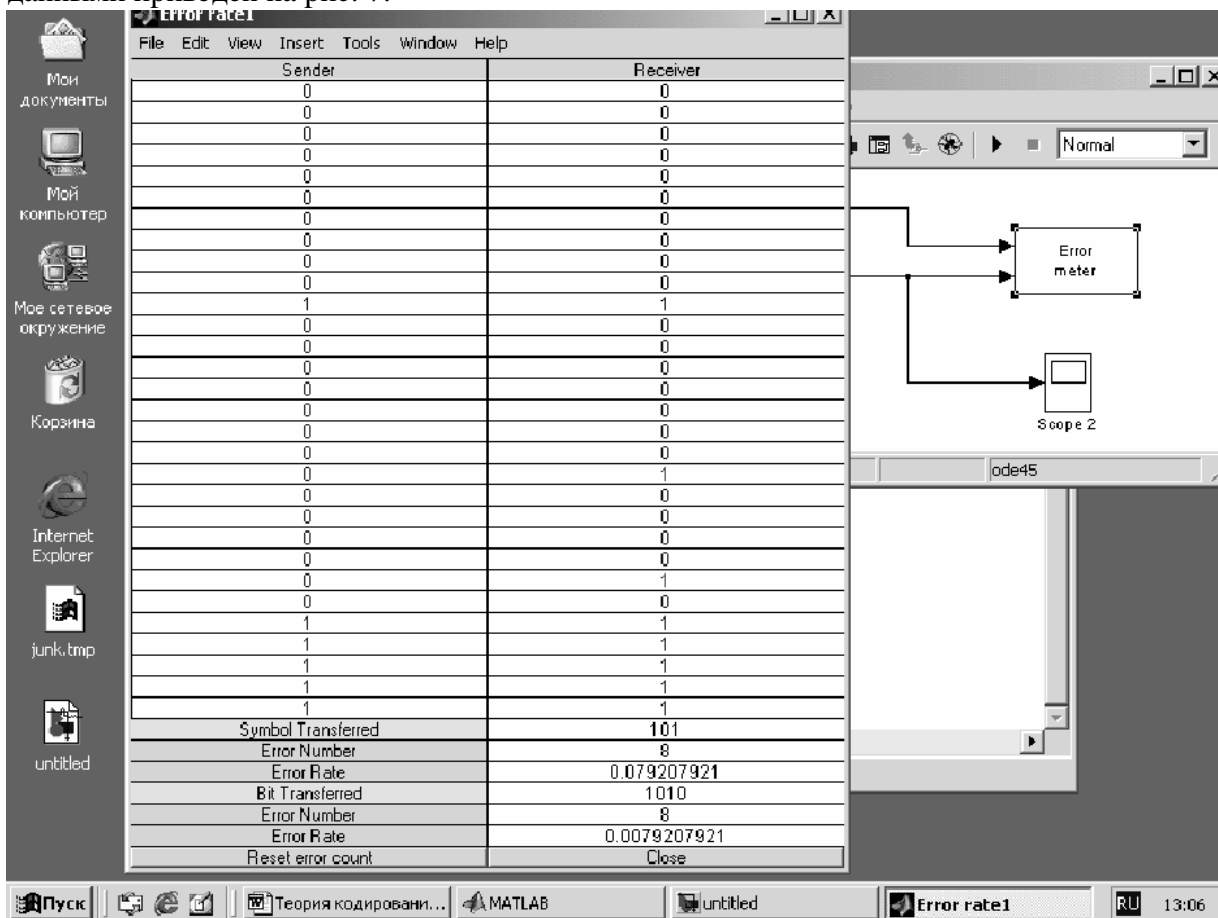


Рис. 7. Пример экрана со статистическими данными эксперимента

Левая колонка **Sender** показывает последовательность двоичных символов на выходе датчика информации. Правая колонка **Receiver** демонстрирует результат приема информации. В этой колонке красным цветом отмечаются ошибочно принятые символы. В нижней части панели желтым цветом выделяются данные о числе переданных комбинаций (верхние три строки) и данные о числе переданных символов (4,...,6 строки).

**Symbol Transferred** – означает общее число переданных комбинаций.

**Error Number** – число комбинаций с ошибками.

**Error Rate** – частота ошибки, которая при определенных условиях может быть принята за вероятность ошибочного приема комбинации.

**Bit Transferred** – число переданных бит.

**Error Number** – число ошибочных бит.

**Error Rate** – частота ошибки на бит.

В ходе проведения эксперимента исследователя часто интересуют осциллограммы сигналов на входе системы и ее выходе. Для этого предусматриваются возможности подключения неограниченного числа осциллографов (ондуляторов). На рис. 8 показана схема с двумя такими устройствами **Scope 1** и **Scope 2**. Для получения соответствующей «картинки» необходимо произвести двойной щелчок мыши в поле соответствующего прибора. Общий вид экранов двух приборов приведен на рис. 8.

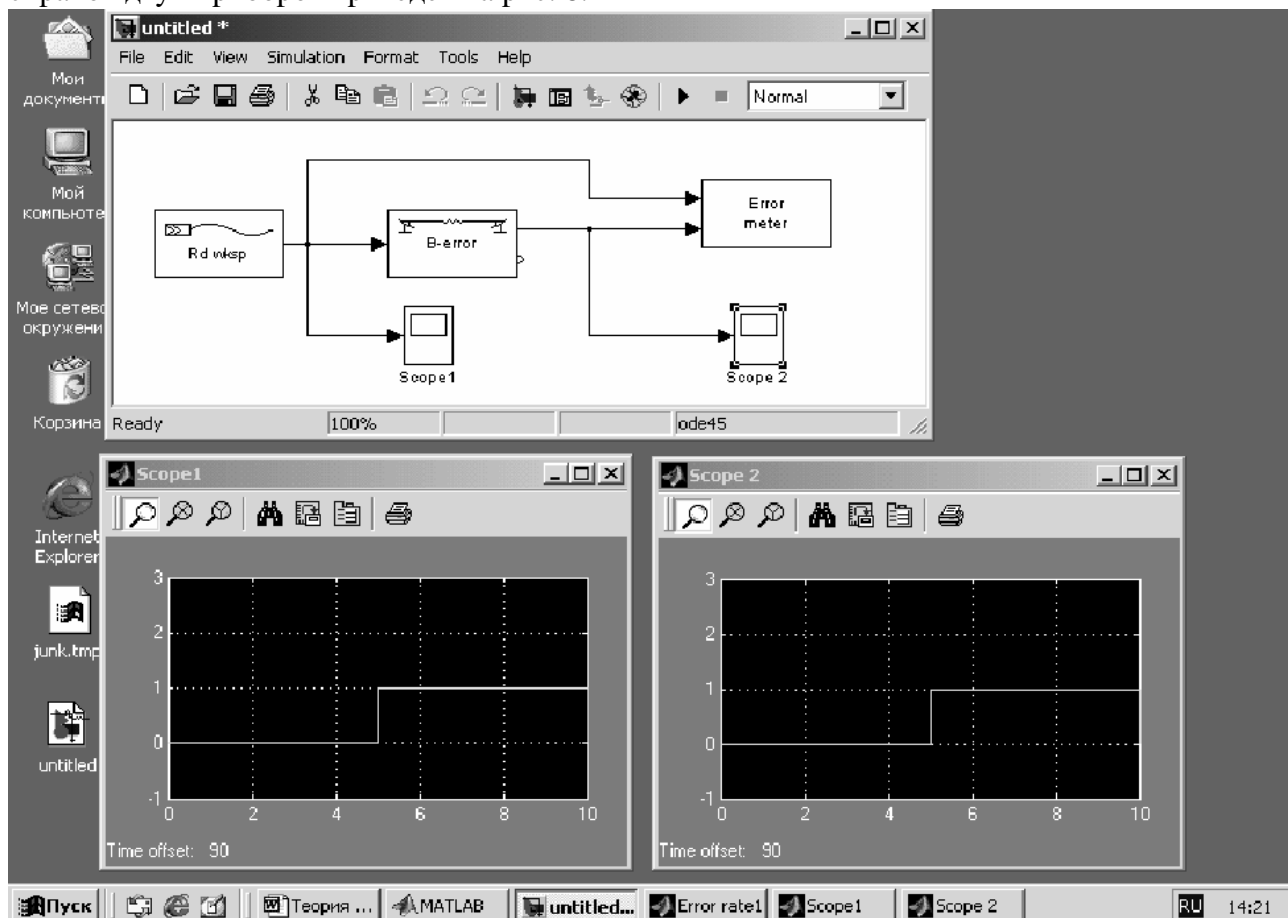


Рис. 8. Общий вид экранов осциллографов

Из рисунков становится ясным, что экран по оси  $x$  рассчитан на 10 единиц модельного времени и что длительность импульсов составляет 5 единиц времени. Что соответствует

параметру левой панели (рис. 8) второй строки. 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.

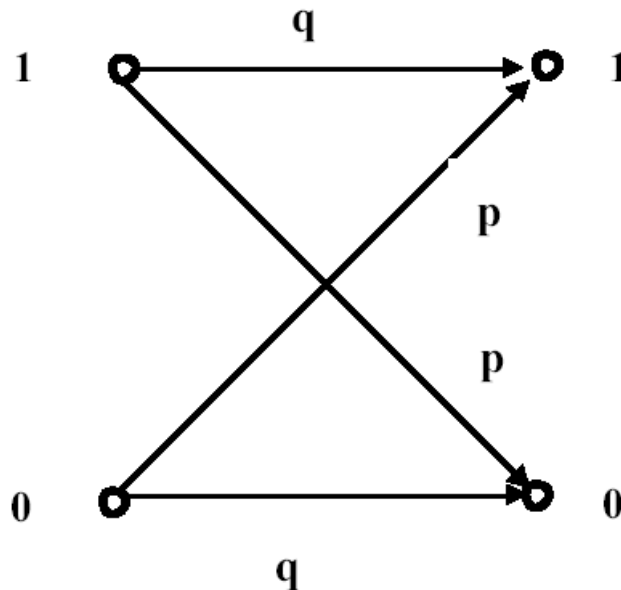


Рис. 9. Двоичный симметричный канал, граф переходных состояний

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

$$P(bv/au) = Puv, \text{ где } u = 1, 2, 3, \dots, U; v = 1, 2, 3, \dots, V.$$

Простейшей моделью канала без памяти является двоичный, симметричный канал (ДСК), схематически представленной на рис. 9.

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  $P$ .

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. 10.

В нижнем правом углу рис. 10 показана панель для установки параметров моделирования. Все параметры в данной лабораторной работе изучать не имеет смысла. Остановимся на главном: времени моделирования. Для установки этого параметра необходимо в строке Главного меню модели найти команду **Simulation**. После ее активизации появится контекстное меню, в котором необходимо нажать **Simulation parameters**. Это приводит к появлению панели (см. рис. 10). На панели исследователь устанавливает модельное

время в соответствующих окнах (**Start time**, **Stop time**). Обычно для достижения требуемой точности моделирования необходимо обработать до 106 символов. В целях экономии времени в данной работе допускается передача 103–104 символов. Рекомендуется настраивать модель на параметрах малой величины.

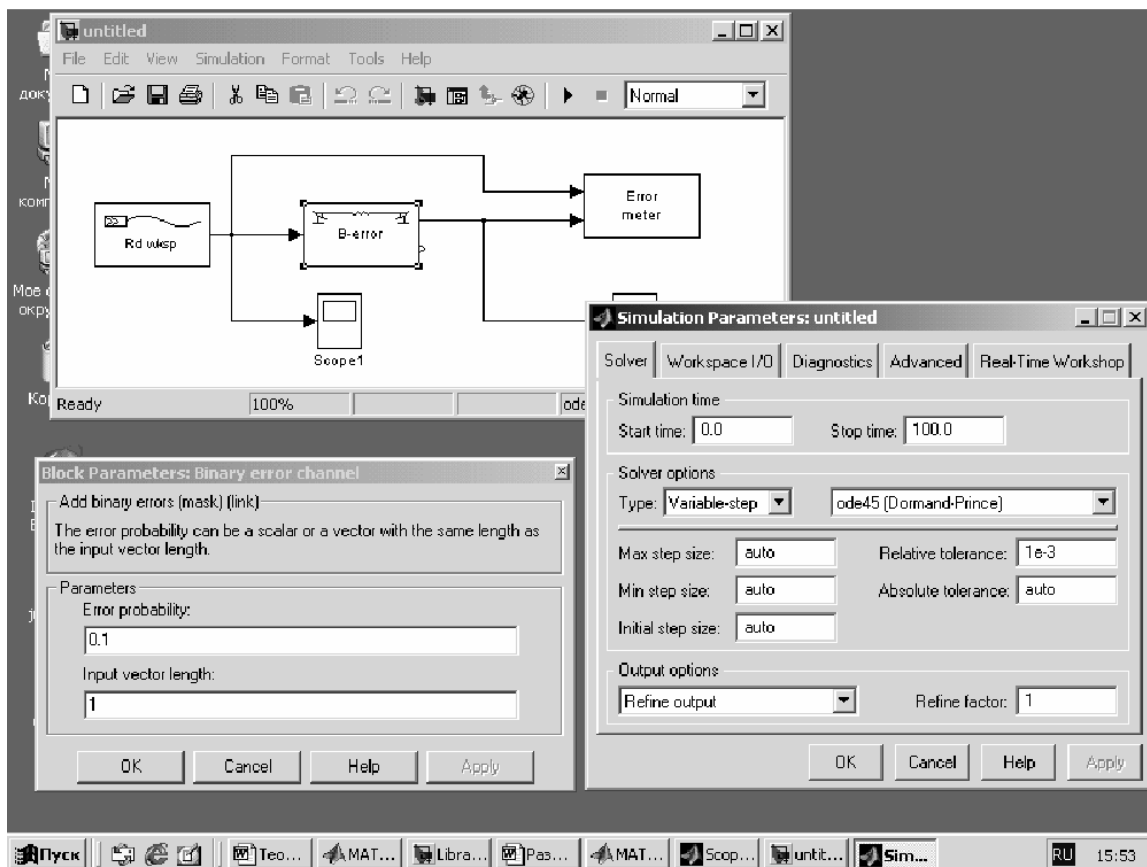


Рис. 10. Панель параметров двоичного симметричного канала

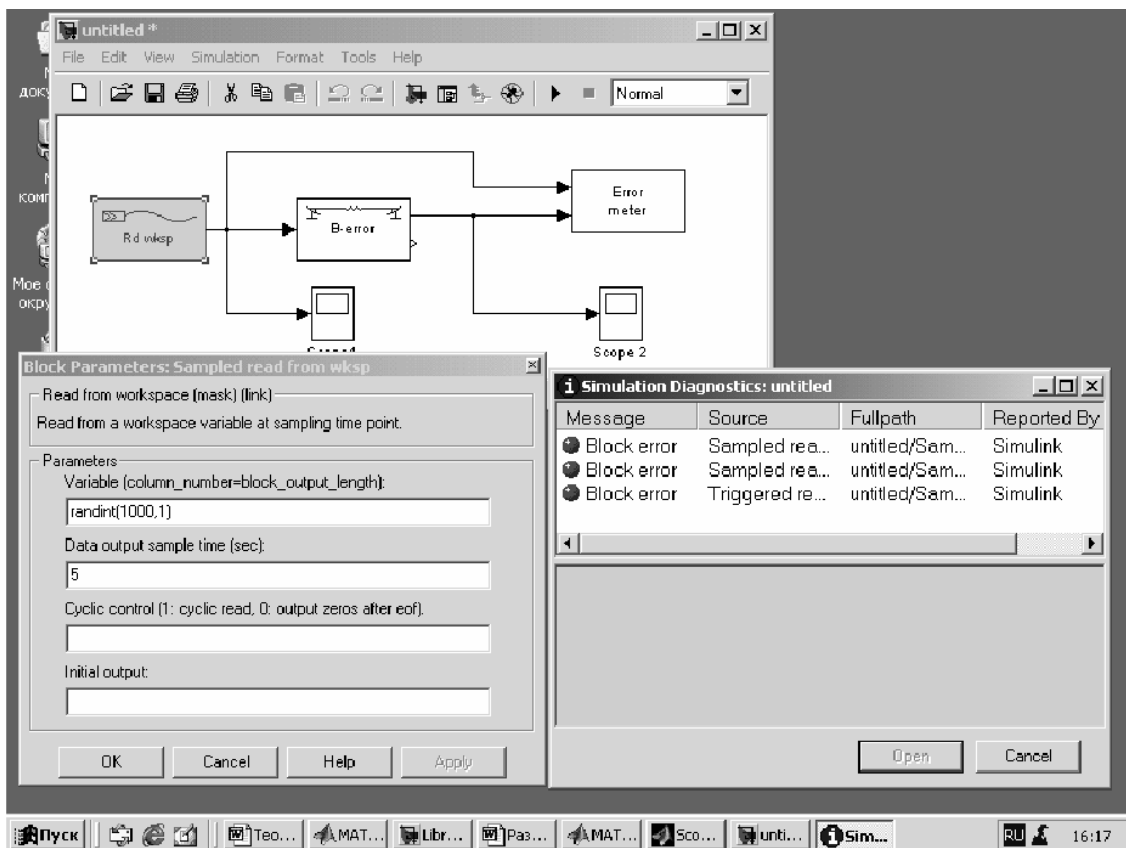


Рис. 11. Панель ошибок и выделенный ошибочный блок модели

В случае наличия ошибок в установке параметров модели на экран в автоматическом режиме выводится панель ошибок, общий вид которой представлен на рис. 11 в нижнем правом углу. При этом блок в котором не установлен (или ошибочно определен) параметр в модели подсвечивается желтым цветом с красной окантовкой. В приведенном примере не указаны параметры в третьей и четвертой строке источника информации.

### ВОПРОС 3. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом связи при использовании кода Хэмминга.

Для выполнения данной части лабораторной работы необходимо:

- составить модель на основе эталонной модели с использованием кода Хэмминга;
- получить статистические данные для канала с обнаружением ошибки;
- провести сравнение канала без избыточного кода и канала с кодированием;
- результаты оформить в виде таблицы.

Установить параметры кода Хэмминга  $n = 7$ ,  $k = 4$ . Провести исследование, обработав около 4 000 информационных символов. Результаты исследований зафиксировать в протоколе.

Рекомендуется установить параметры для элементов модели в соответствии с таблицей 1. Особое внимание следует обратить на параметр фиксатора ошибок Delay between input (1st port) and output (2nd port), который в данной модели должен быть равен 2. Такой параметр отвечает логике работы кодера и декодера, в которых информация задерживается на одну единицу модельного времени.

Таблица 1

Параметры блоков модели системы связи с использованием кода Хэмминга

Источник сообщений	Кодер Хэмминга	Двоичный симметричный канал	Декодер Хэмминга	Фиксатор ошибок
1000,1	7	0.1	7	1
1/4	4	1	4	20
1	1/4	–	1/4	<b>2</b>
0	–	–		1/4

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 3; 4; 5; 6 при соответствующих значениях параметра  $p$ : 0.15; 0.1; 0.08; 0.04 и 0.01. Форма протокола отчета представлена в таблице 2.

Таблица 2

Протокол исследований кодов Хэмминга в ДСК

Код Хэмминга	$p = 0.15$	$p = 0.1$	$p = 0.08$	$p = 0.04$	$p = 0.01$
ДСК					
7,4,3					
15,11,3					
31,26,3					
63,57,3					

Для оценки энергетического выигрыша целесообразно сравнить полученные данные с данными аналитического моделирования системы связи с противоположными сигналами, для которой получены результаты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Результаты аналитического моделирования

Вероятность ошибки	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Соотношение 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. Для выполнения этого пункта задания необходимо в командной строке набрать программу вывода графиков. Например, программа для вывода двух графиков имеет вид:

```
>> x = [4 11 26 59];
>> y = [0.01 0.02 0.06 0.1];
>> x1 = [4 11 26 59];
>> y1 = [0.001 0.01 0.012 0.1];
>> semilogy(x,y,x1,y1), grid
```

Нажать Enter и представить график на проверку преподавателю в электронной форме, после чего перенести график в отчет по лабораторной работе.

### III. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым

студентом по установленной форме. Отчет должен содержать:

- исследуемую схему и краткую ее характеристику;
- аналитический расчет вероятности искажения кодовой комбинации в канале с независимыми ошибками;
- описание параметров модели по блокам;
- статистические и графические результаты испытаний имитационной модели;
- выводы по работе, содержащие анализ полученных зависимостей.

#### **IV. Контрольные вопросы**

1. Характеристики двоичного симметричного канала связи.
2. Принцип оценки вероятности искажения кодовой последовательности в каналах с независимыми ошибками.
3. Порядок задания параметров источника сообщений модели.
4. Порядок задания параметров кодера (декодера) модели.
5. Порядок задания параметров канала связи.
6. Порядок выявления ошибок в моделируемой системе связи.
7. Порядок настройки виртуальных осциллографов.
8. Принцип расчета и установки модельного времени.
9. Порядок задания кодов Хемминга.
10. Принцип синхронизации элементов имитационной модели.

#### **V. Перечень литературы и учебно-методических материалов для подготовки к занятию и выполнения задания**

1. Лазарев Ю. MatLAB 5.X / Ю. Лазарев. – Киев: Ирина, 2000.– 383 с.
2. Васильев К. К. Основы помехоустойчивых кодов / К. К. Васильев, Л. Я. Новосельцев, В. Н. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2000.
3. Конспект лекций по теории кодирования и защите информации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

по учебной дисциплине «Теория кодирования»

Тема: Исследование корректирующей способности кодов БЧХ.

### I. Учебные вопросы

1. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом и кодами БЧХ с фиксированной длиной кодовой комбинации.
2. Исследование системы передачи данных с кодами БЧХ при использовании Гауссовского канала связи.

### II. Задание и указания по подготовке и выполнению лабораторной работы

В день проведения занятия студенты обязаны:

- выполнить необходимые операции в соответствии с данным заданием в течение времени, отведенного на каждый вопрос.

#### ВОПРОС 1. Исследование системы передачи данных с двоичным симметричным каналом и кодами БЧХ с фиксированной длиной кодовой комбинации.

Для выполнения исследований необходимо составить модель канала связи, выполнив следующие операции:

- используя команду **commlibv1**, вызвать на экран структурную схему канала связи и активизировать блок кодирования информации **Error control coding**;
- в появившемся окне **Demo Error-Control Coding/Decoding Library** выбрать окно **BCH codec**;
- в новом окне выбрать систему с последовательной передачей двоичных элементов кодовой комбинации кода **BCH Binary sequence BCH encode**;
- активизировать окно зеленого цвета, которое позволяет получить эталонную модель для кодов БЧХ **Sequence codec demo**;
- в строке главного меню нового окна активизировать слово **File** и в появившемся меню щелкнуть **New**, далее в меню справа щелкнуть **Model**, появляется свободное окно;
- используя метод буксировки, собрать модель по образцу, показанному на рис. 12.

Прежде чем запустить модель для набора статистических данных необходимо установить параметры для каждого блока моделируемой системы. Этим достигается согласованное взаимодействие блоков модели по импульсам. Для выполнения данной процедуры необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши в поле интересующего блока и затем установить в открывшейся панели необходимые параметры. Настройку параметров блока рассмотрим на примере источника дискретных сигналов. Вид панели для установки параметров источника сигналов только на один период показан на рис. 13. В первой строке устанавливается период следования сигналов в секундах и номер активного выхода. Например, установка значений **5,1** означает, что период следования случайной комбинации источника сообщений составляет 5 секунд, а активным выходом блока является выход под номером 1. Вторая строка указывает тактовую частоту считывания информационных символов с датчика случайного числа. Обычно эту частоту устанавливают в соответствии с соотношением  $1/k$ , где  $k$  – число информационных символов в кодовой комбинации.

В третьей строке устанавливается цикл следования случайной кодовой комбинации. При установке **1** цикл повторяется до завершения модельного времени. При установке **0** цикл



повторяется только один раз. Указанные приемы необходимы для отладки модели. В четвертой строке определяется активный выход блока.

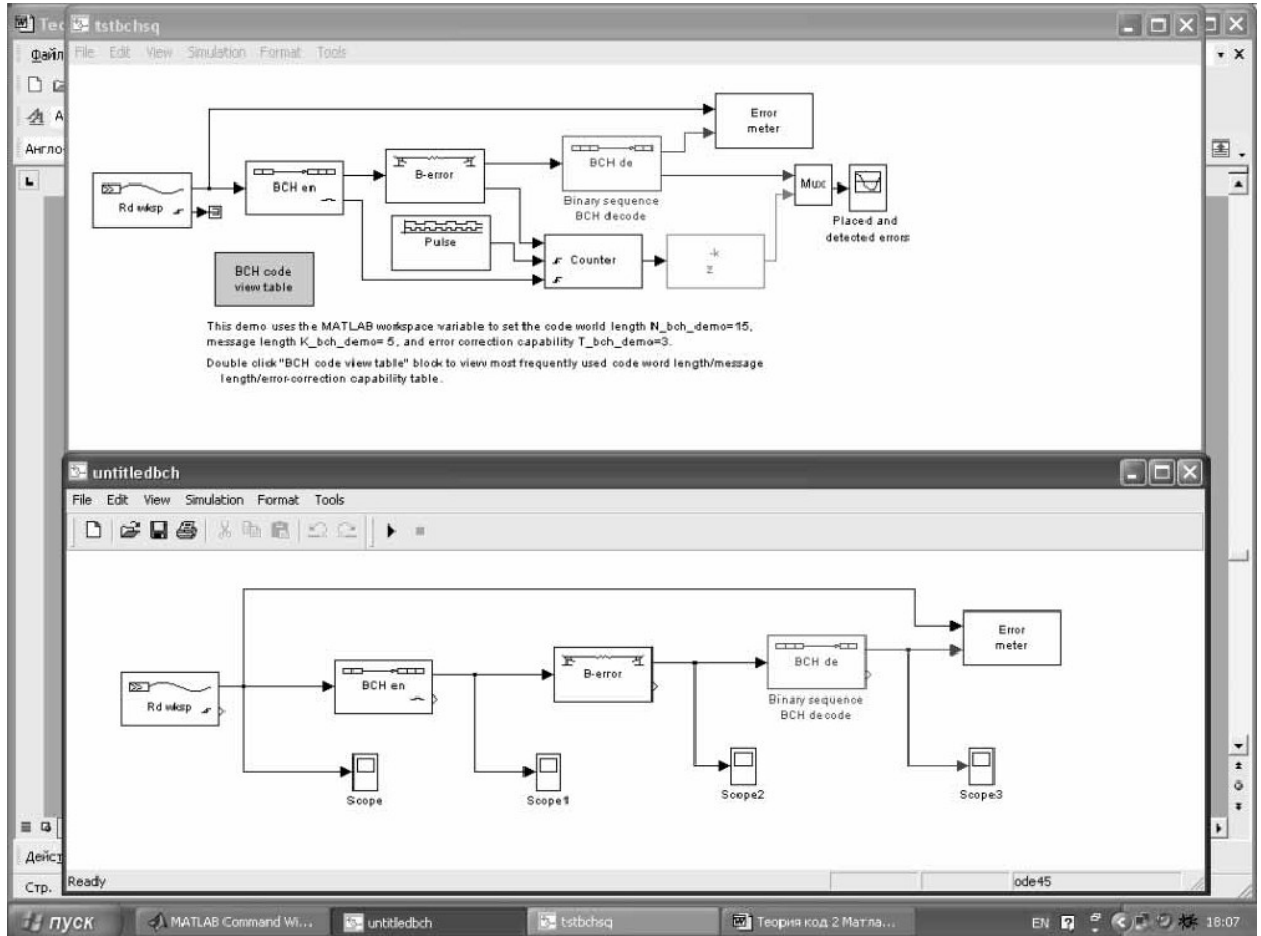


Рис. 12. Образец модели для испытания канала с кодом БЧХ

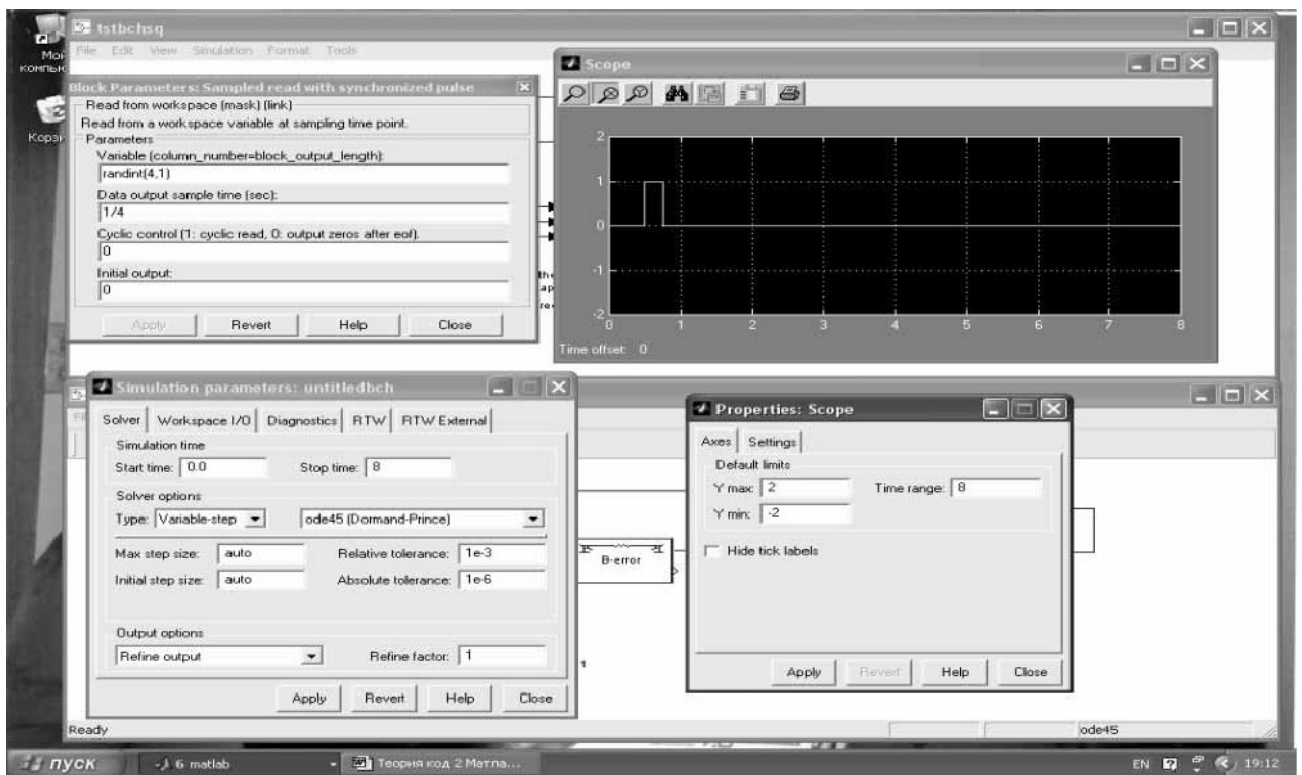


Рис. 13. Вид панелей для установки параметров источника сигналов

Используя опыт первой лабораторной работы, выполнить исследование системы с применением кодов БЧХ в ДСК с постоянными параметрами. Рекомендуется установить вероятность ошибки на символ в ДСК, равной 0.2. Таблица кодов БЧХ вызывается из окна эталонной модели, используя блок желтого цвета. Таблица показана на рис. 14. Для выполнения работы целесообразно выбрать коды БЧХ с  $N = 127$ . Рекомендуется изменять параметр  $K$  с шагом около 20, например, 120; 99; 71; 50; 29; 8.

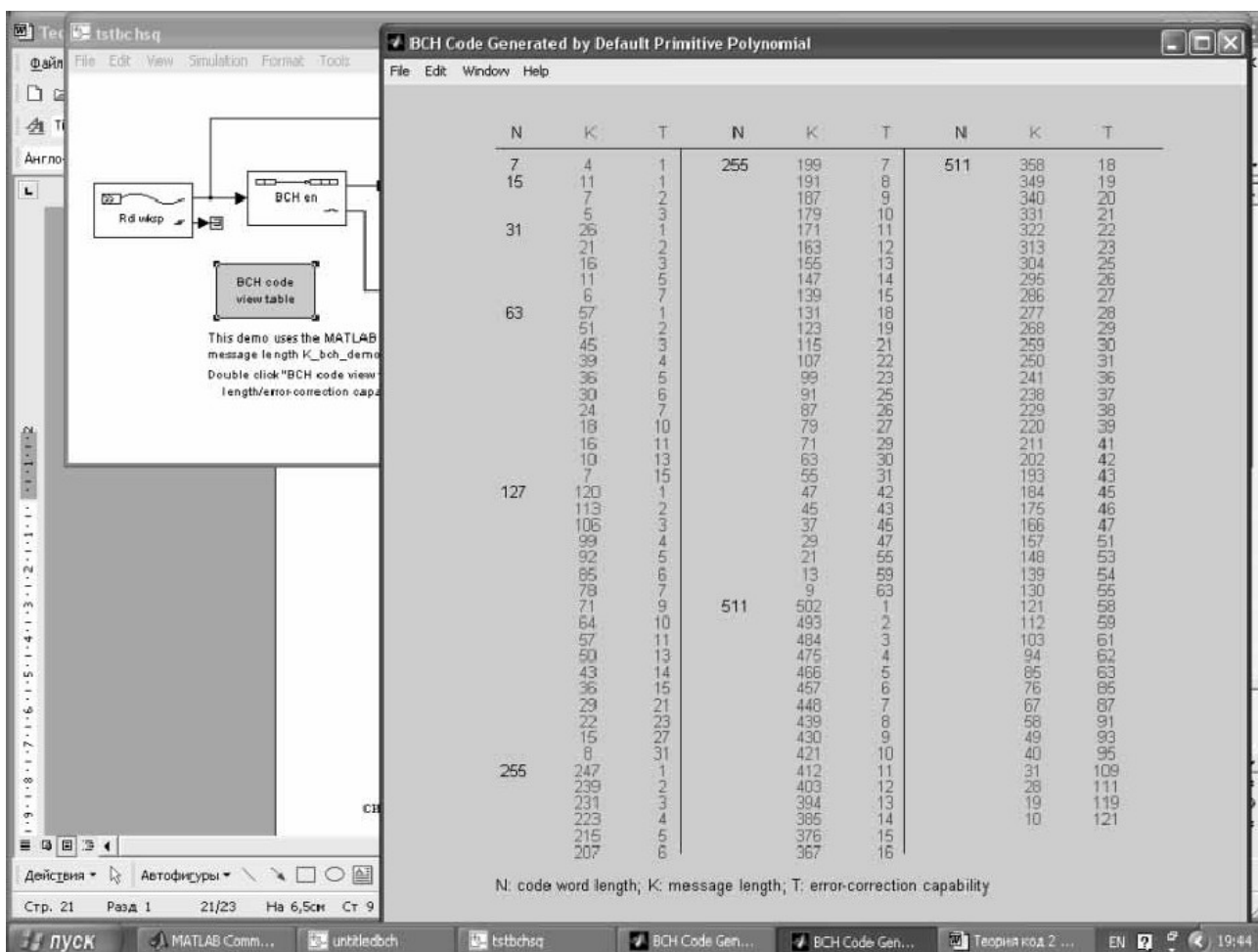


Рис. 14. Пример экрана с таблицей кодов БЧХ

После проведения исследований необходимо построить графики, поясняющие эффективность применения кодов БЧХ в ДСК с фиксированной вероятностью ошибки.

1. Построить график зависимости, принимая значение  $T$  за аргумент, а полученные статистические данные по вероятности ошибки на символ за функцию. Образец отражения функциональной зависимости для построения графика приведен в лабораторной работе № 1.
2. Построить график зависимости, принимая за аргумент относительную скорость передачи информации  $K/N$ , а полученные статистические данные по вероятности ошибки на символ за функцию.

Примеры программы для вывода графиков приведены ниже:

```
>> x = [4 11 26 59];
>> y = [0.01 0.02 0.06 0.1];
>> x1 = [4 11 26 59];
>> y1 = [0.001 0.01 0.012 0.1];
>> semilogy(x,y,x1,y1), grid
```

Результаты исследований предъявить преподавателю для проверки и занести в отчет.

**ВОПРОС 2. Исследование системы передачи данных с кодами БЧХ при использовании Гауссовского канала связистами**

Для выполнения данной части лабораторной работы необходимо:

- составить модель на основе эталонного образца с использованием кодов БЧХ;

- используя модулятор и демодулятор, включить систему с помехоустойчивым кодом в канал с Гауссовскими помехами;
- провести сравнение канала без избыточного кода и канала с кодированием;
- результаты оформить в виде графиков.

Используя команду **commlibv1**, вызвать на экран структурную схему канала связи и активизировать блок кодирования информации **Error control coding**. Активизировать блок **Modulation** и в открывшемся окне **Library: com\_modu** дважды щелкнуть блок **Digital mo/dem**. Откроется окно цифровых модемов. В этом окне необходимо двойным щелчком активизировать блок зеленого цвета **MASC demo** и сохранить открывшееся окно на экране монитора для последующего перетаскивания из него виртуального осциллографа. Для подготовки необходимой модели в окне **Library: com\_modu** активизировать демонстрационный блок зеленого цвета **S-QASK demo2** и собрать модель по образцу, представленному на рис. 15.

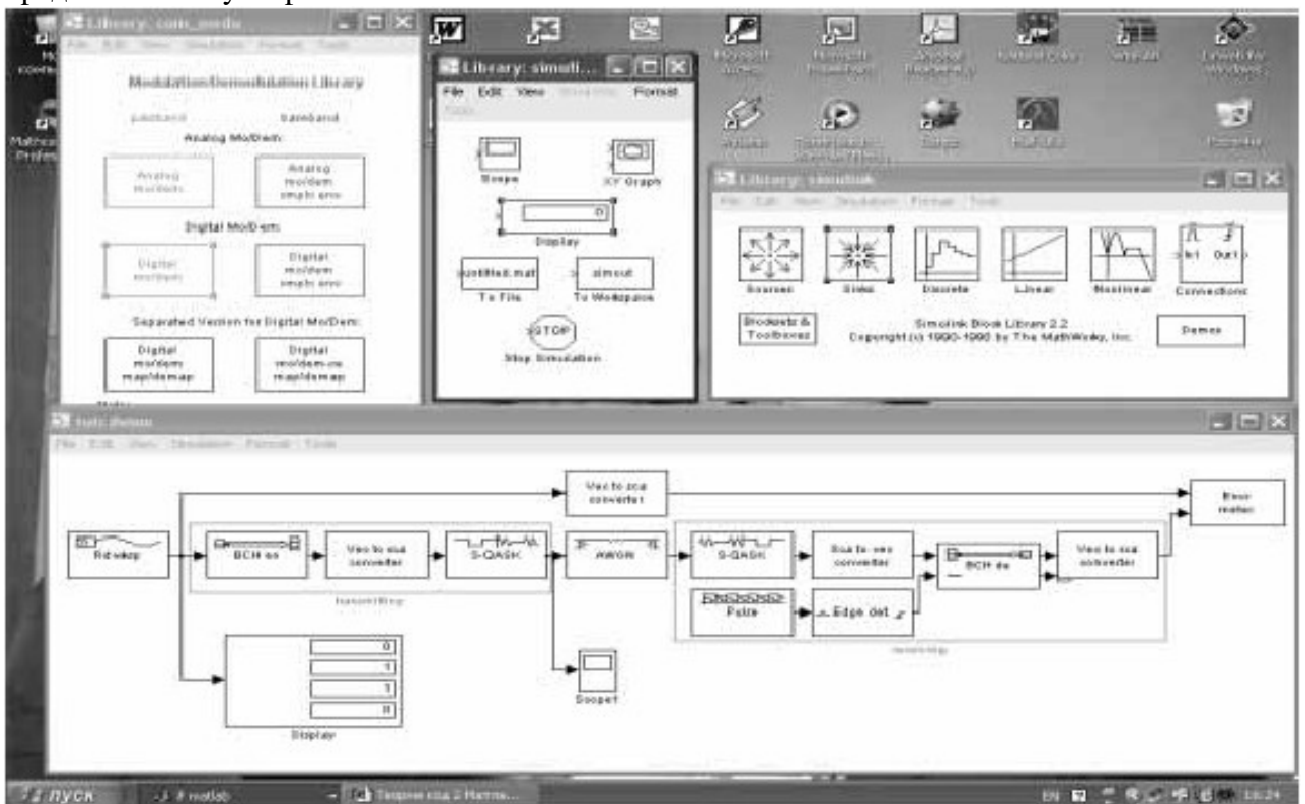


Рис. 15. Модель для исследования кодов БЧХ при КАМ модуляции

В данной модели используется квадратурно-амплитудная модуляция на 16 позиций. Источник сигналов передает данные в виде десятичной последовательности от 0 до 15, которые преобразуются в двоичные вектора, обрабатываемые в канале связи. Причина такого подхода заключается в необходимости одновременного повышения надежности и скорости передачи информации при существенных ограничениях на энергетику и занимаемую полосу частот. Нумерация сигналов показана на рис. 16. Новым элементом в модели является применение блока **Display**. Этот блок может использоваться для вывода как скалярных, так векторных величин. Если отображаемая величина является вектором, то исходное окно изменяется автоматически, о чем свидетельствует появление маленького черного треугольника в правом нижнем углу блока. Для каждого элемента вектора создается свое мини-окно, но чтобы они стали видимы, необходимо рас тянуть изображение блока. Для этого

следует выделить юлок, подвести курсор к одному из его углов, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, растянуть изображение блока так, чтобы черный треугольник исчез.

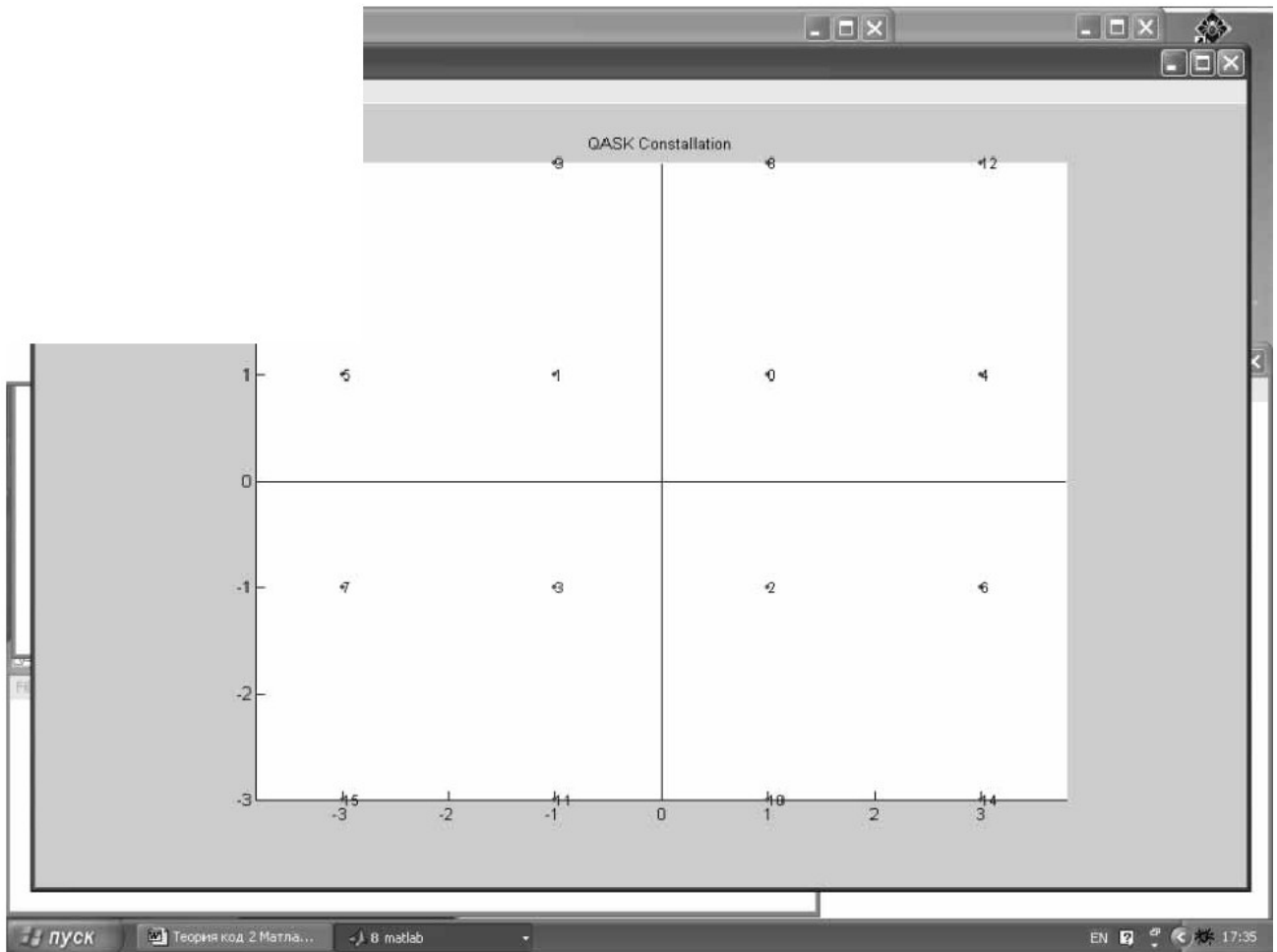


Рис. 16. Нумерация элементов в сигнально-кодовой конструкции

Следовательно, число информационных элементов, сбрасываемых источником информации в систему, должно быть кратным числу 4. В ходе работы необходимо изучить параметры каждого блока модели и изменяя вероятность искажения символа в Гауссовском канале связи

исследовать возможности кодов БЧХ при различной их длине, но одинаковой корректирующей способности. Первоначальные данные для источника сообщений, кодера кода БЧХ и канала связи показаны на рис. 17.

В этой модели для ее запуска необходимо в строке главного меню выбрать **Simulation** и далее **Start**. Атрибуты модели установить, исходя из накопленного опыта работы с обязательным отражением в протоколе и отчете. Для подготовки отчета рекомендуется свести результаты исследований на один график. За аргумент целесообразно принять параметр  $k$ , а за функцию полученные вероятности ошибочного приема символа. Для выполнения этого пункта задания необходимо в командной строке набрать программу вывода графиков. Например, программа для вывода двух графиков имеет вид:

```
>> x = [4 11 26 59];  
>> y = [0.01 0.02 0.06 0.1];  
>> x1 = [4 11 26 59];  
>> y1 = [0.001 0.01 0.012 0.1];
```

## >>semilogy(x,y,x1,y1), grid

Нажать Enter и представить график на проверку преподавателю в электронной форме, после чего перенести график в отчет по лабораторной работе.

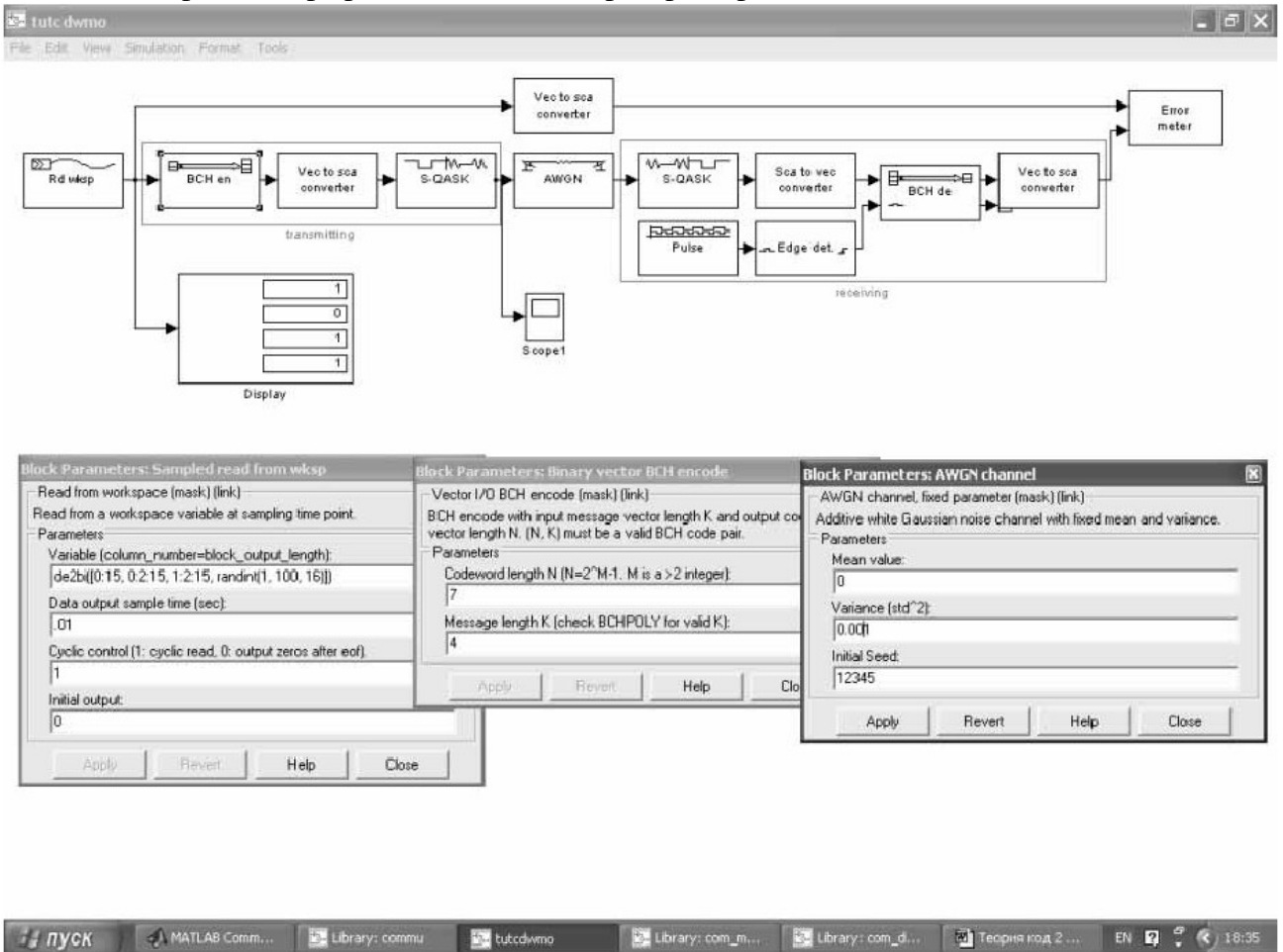


Рис. 17. Установка данных модели

### III. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом по установленной форме. Отчет должен содержать:

- исследуемые схемы и краткие их характеристики;
- описание параметров модели по блокам;
- статистические и графические результаты испытаний имитационной модели;
- выводы по работе, содержащие анализ полученных зависимостей.

### IV. Контрольные вопросы

1. Характеристики Гауссовского канала связи.
2. Принцип оценки вероятности искажения кодовой последовательности в каналах с независимыми ошибками.
3. Принцип задания параметров источника сообщений модели.
4. Порядок задания параметров кодера (декодера) модели.
5. Порядок задания параметров канала связи.

6. Порядок выявления ошибок в моделируемой системе связи.
7. Принцип настройки виртуальных осциллографов.
8. Порядок настройки дисплея.
9. Принцип расчета и установки модельного времени.
10. Порядок задания кодов БЧХ.
11. Принцип синхронизации элементов имитационной модели.

**V. Перечень литературы и учебно-методических материалов  
для подготовки к занятию и выполнения задания**

1. Лазарев Ю. MatLAB 5.X / Ю. Лазарев. – Киев: Ирина, 2000. – 383 с.
2. Васильев К. К. Основы помехоустойчивых кодов / К. К. Васильев, Л. Я. Новосельцев, В. Н. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2000.
3. Конспект лекций по теории кодирования и защите информации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

по учебной дисциплине «Теория кодирования»

**Тема:** Исследование кодов Рида-Соломона в каналах с независимыми ошибками.

### I. Учебные вопросы

1. Исследование методов установки параметров системы передачи данных с двоичным симметричным каналом и кодом Рида-Соломона (РС).
2. Исследование системы передачи данных с кодами РС при использовании канала с Гауссовскими помехами.

### II. Задание и указания по подготовке и выполнению лабораторной работы

В день проведения занятия студенты обязаны:

- активизировать программу Matlab, вывести ее на рабочий стол ПК;
- выполнить необходимые операции в соответствии с данным заданием в течение времени, отведенного на каждый вопрос.

### ВОПРОС 1. Исследование методов установки параметров системы передачи данных с двоичным симметричным каналом и кодом Рида-Соломона (РС).

Для выполнения исследований необходимо составить модель канала связи, выполнив следующие операции:

- используя команду **commlib1**, вызвать на экран структурную схему канала связи и активизировать блок кодирования информации **Error control coding**;
- в появившемся окне **Demo Error-Control Coding/Decoding Library** выбрать окно **R-S co/dec**;
- в новом окне выбрать систему с последовательной передачей двоичных элементов кодовой комбинации и активизировать окно зеленого цвета, которое позволяет получить эталонную модель **Binary sequence RS co/dec demo**;
- в строке главного меню нового окна активизировать слово **File** и в появившемся меню щелкнуть **Ne w**, далее в меню справа щелкнуть **Model**, появляется свободное окно;
- используя метод буксировки, собрать модель по образцу, показанному на рис. 18.

Для понимания алгоритма работы кодера кода РС необходимо проследить и отладить все составляющие модели для их синхронной работы. Отладку модели рекомендуется начать с установки параметров источника сигнала. Установим этот блок для работы с кодом РС (7,1,7), где  $n = 23 - 1 = 7$ ;  $k = 1$ ; тогда  $d_{\min} = n - k + 1$ .

Выделить панель настройки этого блока. В строке **randint** установить 1\*1\*3,1. В строке **Cyclic control** установить 0, настроив систему только на один цикл работы. Активизируя блок **Scope** источника сигналов, убедиться, что за 1 цикл работы источник сбрасывает в систему 3 бита, т. к. основание кода РС равно 23. Параметры первоначальной настройки блоков показаны в таблице 4. В строке **Cyclic control** установить 1. Последовательно установить: 2\*1\*3,1; 3\*1\*3,1; 100\*1\*3,1, каждый раз запуская модель на 6 единиц модельного времени, убедиться, что цикл повторения данных от источника равен 6/2; 6/3 и не проявляется в последнем случае. Запуск модели осуществляется обычным образом.

Настроить кодер кода РС и его осциллограф в соответствии с таблицей 5.

Сравнивая показания осциллографов, важно усвоить, что при данной конфигурации кода на 3 информационных символа кодер РС порождает 21 бит ( $n=3* 23 - 1$ ), поступающих в канал связи.



*Результаты наблюдений необходимо представить преподавателю для контроля.*

Для дальнейших испытаний установить параметры модели в соответствии с таблицей 6.

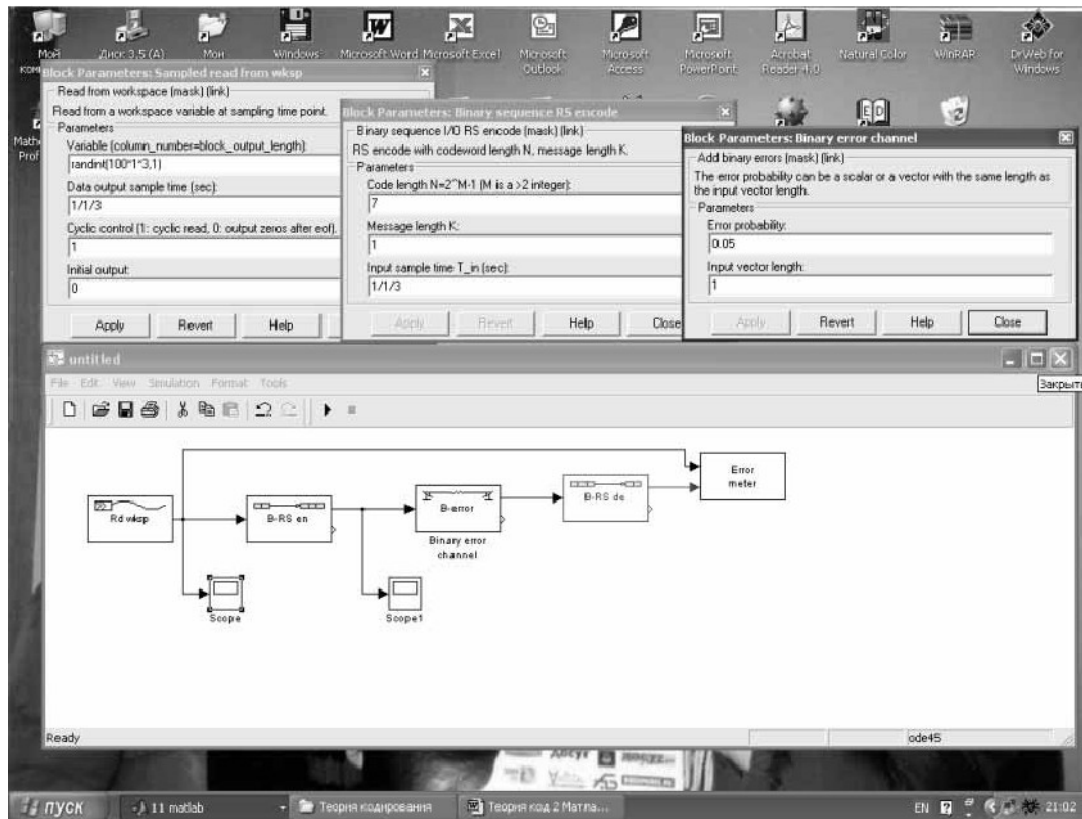


Рис. 18. Образец модели для испытания канала с кодом РС

Таблица 4

Параметры настройки тройки блоков для настройки источника данных

Параметры источника	Параметры осциллографа	Модельное время
1*1*3,1	$y_{\max} - 2$	6
1/1/3	$y_{\min} - 0$	
0	time range – 6	
0		

Таблица 5

Параметры настройки кодера

Источник	Scope	Кодер	Scope 1	Модельное время
1*1*3,1	$y_{\max} - 2$	n = 7	$y_{\max} - 2$	3
1/1/3	$y_{\min} - 0$	k = 1	$y_{\min} - 0$	
0	time range – 1	1/1/3	time range – 3	
0				

Таблица 6

Параметры настройки модели

Источник	Кодер кода РС	Канал связи	Декодер кода РС	Фиксатор ошибок	Модельное время
100*1*3,1	n = 7	0.01	n = 7	3	1 000
1/1/3	k =1	1	k =1	20	
1	1/1/3		1/1/3	2	
0				1/1/3	

Параметры канала связи по вероятности ошибки рекомендуется изменять: 0.01; 0.05; 0.1; 0.2; 0.3.

Параметр k кода РС рекомендуется менять: 1; 3; 6. Целесообразно фиксировать в протокол значения Symbol Transferred и Bit Transferred.

Результаты исследований занести в протокол, построить графики соответствующих зависимостей и представить их преподавателю.

## ВОПРОС 2. Исследование системы передачи данных с кодами РС при использовании канала с Гауссовскими помехами.

Для выполнения исследований необходимо составить модель в соответствии с образцом, представленным на рис. 19.

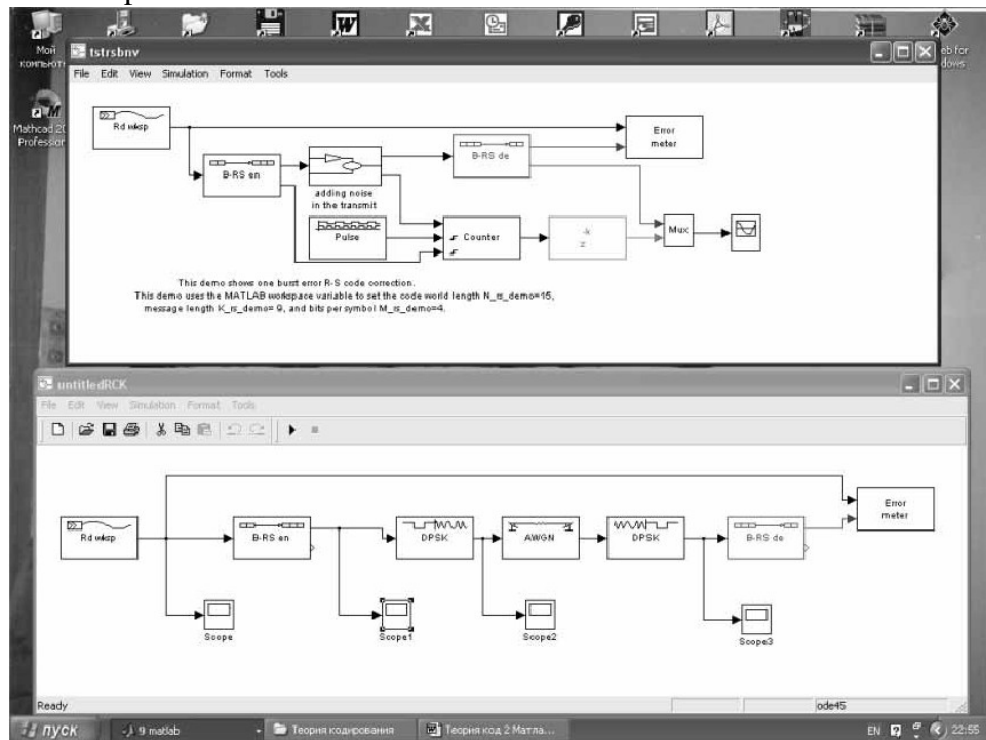


Рис. 19. Образец модели с гауссовским каналом связи

Параметры блоков модели рекомендуется установить в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7

Параметры настройки модели

Источник	Кодер кода РС	Канал связи	Декодер кода РС	Фиксатор ошибок	Модельное время
100*1*3,1	n = 7	0.01	n = 7	3	1 000
1/1/3	k =1	1	k =1	20	
1	1/1/3		1/1/3	2	
0				1/1/3	

Результаты исследований предъявить преподавателю для проверки и занести в отчет

### **III. Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом по установленной форме. Отчет должен содержать:

- исследуемые схемы и краткие их характеристики;
- описание параметров модели по блокам;
- статистические и графические результаты испытаний имитационной модели;
- выводы по работе, содержащие анализ полученных зависимостей.

### **IV. Контрольные вопросы**

1. Характеристики Гауссовского канала связи.
2. Порядок задания параметров кодера (декодера) модели.
3. Порядок задания параметров канала связи.
4. Порядок выявления ошибок в моделируемой системе связи.
5. Принцип настройки модулятора (демодулятора).
6. Порядок настройки дисплея.
7. Принцип расчета и установки модельного времени.
8. Порядок задания кодов БЧХ.
9. Основы построения кодов Рида-Соломона.
10. Принцип построения каскадных кодов на основе кодов РС.
11. Параметры каскадных кодов, принцип определения метрики Хэмминга.

### **V. Перечень литературы и учебно-методических материалов для подготовки к занятию и выполнения задания**

1. Лазарев Ю. MatLAB 5 / Ю. Лазарев. – Киев: Ирида, 2000. – 383 с.
2. Васильев К. К. Основы помехоустойчивых кодов / К. К. Васильев, Л. Я. Новосельцев, В. Н. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2000.
3. Конспект лекций по теории кодирования и защите информации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

по учебной дисциплине «Теория кодирования»

**Тема:** Исследование алгоритма Витерби для декодирования сверточного кода.

### I. Учебные вопросы

1. Исследование методов построения кодеров непрерывных кодов.
2. Исследование процедуры декодирования непрерывных кодов в канале с Гауссовскими помехами.

### II. Задание и указания по подготовке и выполнению лабораторной работы

В день проведения занятия студенты обязаны:

- активизировать программу Matlab, вывести ее на рабочий стол ПК;
- выполнить необходимые операции в соответствии с данным заданием в течение времени, отведенного на каждый вопрос.

#### Вопрос 1. Исследование методов построения кодеров непрерывных кодов.

Для выполнения исследований необходимо составить схему кодера сверточного кода, соответствующую образующим полиномам:

$( ) 2$

$0 1 x x g + = ,$

$( ) 2$

$1 1 x x x g + + = .$

Построить таблицу работы кодера на 20 шагов, оценить свободное расстояние кода и выявить количество ошибок, которое способен исправить код. Принять информационную последовательность в восьмиричной форме в виде 5 6 3 2 7 0 7 1.

Результаты построения занести в отчет и предъявить преподавателю для уточнения задачи декодирования.

#### Вопрос 2. Исследование процедуры декодирования непрерывных кодов в канале с Гауссовскими помехами.

Построить диаграмму декодирования при безошибочном приеме символов. Оценить метрики образованных путей и декодировать принятую последовательность. Сравнить полученные результаты на приеме с переданной последовательностью.

Внести ошибку на 5 шаге, далее двойную ошибку на 11 и 12 шаге. Построить диаграмму декодирования и обработать полученную последовательность в соответствии с алгоритмом Витерби. В системе Matlab самостоятельно составить имитационную модель со сверточным кодом и произвести ее запуск для наблюдения за работой приемника.

### III. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом по установленной форме. Отчет должен содержать:

- исследуемые схемы и краткие их характеристики;
- описание алгоритма Витерби;
- схемы кодера и декодера, диаграммы декодирования на 20 шагов;
- выводы по работе, содержащие анализ полученных зависимостей.

#### **IV. Контрольные вопросы**

1. Характеристики Гауссовского канала связи.
2. Построения кодера (декодера) сверточного кода.
3. Порядок анализа диаграммы работы декодера сверточного кода.
4. Порядок выявления ошибок в моделируемой системе связи.
5. Принцип Витерби.
6. Порядок настройки дисплея.
7. Принцип расчета и установки модельного времени.
8. Порядок задания параметров сверточных кодов.

#### **V. Перечень литературы и учебно-методических материалов**

##### **для подготовки к занятию и выполнения задания**

1. Лазарев Ю. MatLAB 5.X / Ю. Лазарев. – Киев: Ирина, 2000. – 383 с.
2. Конспект лекций по теории кодирования и защите информации.
3. Золотарев В. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник / В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с.