ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ USRP МОДУЛЕЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

FEATURES OF DESIGNING A RECEIVING-TRANSMITTING SYSTEM BASED ON USRP MODULES IN THE LABVIEW SOFTWARE ENVIRONMENT



УДК 621.396

Видякин Максим Сергеевич, студент 5 курса кафедры радиотехники, институт физики и химии, НИ МГУ им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

Тараскин Евгений Алексеевич, студент 5 курса кафедры радиотехники, институт физики и химии, НИ МГУ им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

Vidyakin M.S. halvapost@mail.ru

Taraskin E.A. jenek7349@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассмотрены особенности разработки цифровой приемо-передающей системы для звуковых файлов на основе USRP модуля с использованием программного обеспечения LabVIEW – кроссплатформенной графической среды разработки приложений, основанной на архитектуре потоков данных. Описаны основные принципы построения систем приема и передачи. Приведено описание блоков, из которых построена система, рассмотрен порядок их работы, а также взаимодействия между собой. В заключительной части статьи рассмотрен и проанализирован процесс проверки работоспособности системы на реальной радиолинии, состоящей из двух модулей USRP и канала связи. Также исследовано влияние шумов на спроектированную систему в моделях каналов AWGN и ISI.

Annotation

This article discusses the features of the development of a digital transceiver system for sound files based on the USRP module using LabVIEW software - a cross-platform graphical application development environment based on the data flow architecture. The basic principles of constructing reception and transmission systems are described. A description of the blocks from which the system is built is given, the order of their operation, as well as interaction with each other, is considered. In the final part of the article, the process of checking the system's performance on a real radio link, consisting of two USRP modules and a communication channel, is considered and analyzed. The influence of noise on the designed system in AWGN and ISI channel models is also investigated.

Ключевые слова: приемник, передатчик, LabView, USRP, модуляция, кодирование, радиосвязь.

Keywords: receiver, transmitter, LabView, USRP, modulation, coding, radio communication.

Система радиосвязи – это упорядоченная совокупность канала связи, источника и получателя информации (в качестве которых могут выступать как человек, так и технические устройства), характеризуемая заранее определенными правилами преобразования сообщения в радиосигнал и восстановления сообщения из принятого сигнала. Основные функциональные узлы системы представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обобщенная схема цифровой приемо-передающей системы

Передающая часть состоит из следующих компонентов:

– источник информации;

– кодер источника (в нем выполняются дискретизация, сокращение объёма передаваемых данных, обеспечение секретности передачи и т.д.);

– кодер канала (помехоустойчивое кодирование);

– модулятор (обеспечение возможности передачи информации по радиоканалу);

– канал связи (среда распространения электромагнитных волн).

Остальные элементы представленной схемы являются приемной частью. Они выполняют операции, обратные перечисленным выше.

Для взаимодействия с модулями USRP в ходе разработки были использованы схемы, содержащиеся в библиотеках LabVIEW. В них были интегрированы разработанные блоки приемной и передающей частей, имитирующие реальное оборудование и канал связи радиолинии. Структурные схемы разработанных систем представлены на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Структурная схема передающей системы

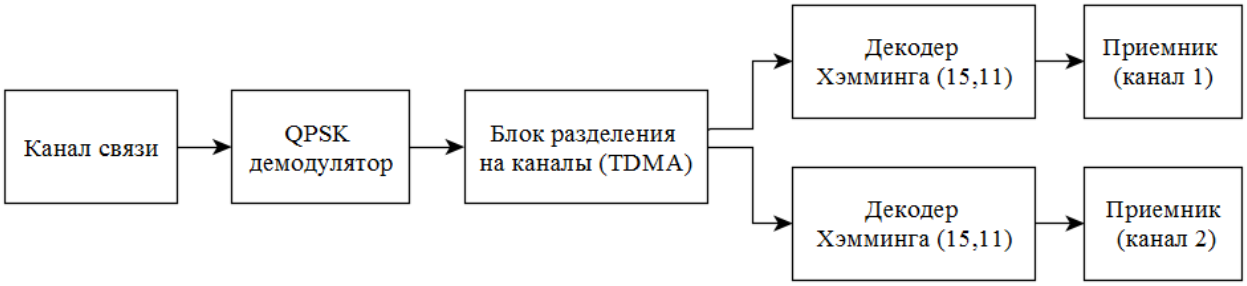


Рисунок 3 – Структурная схема приемной системы

Передатчик должен осуществлять обработку звукового файла для его

дальнейшей передачи. На рисунке 4 представлена блок схема источника сообщения.

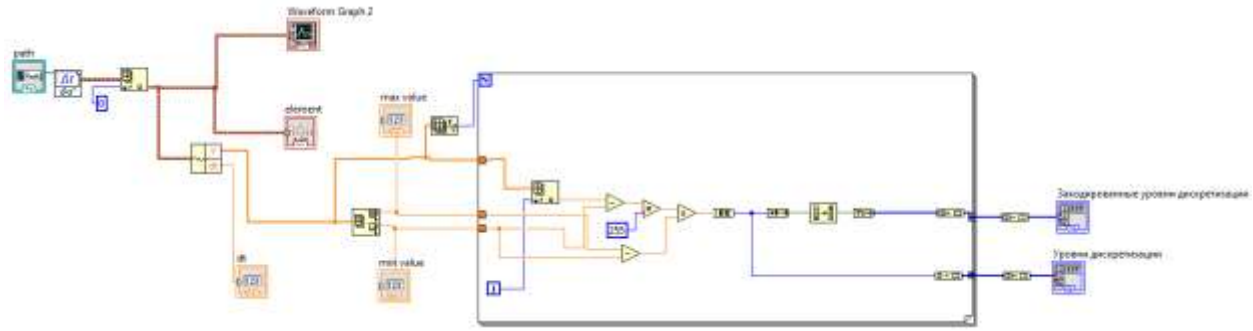


Рисунок 4 – Блок-схема источника сообщения

Данная схема будет представлена блоком Generate.vi. На рисунке 5 представлена его лицевая панель.

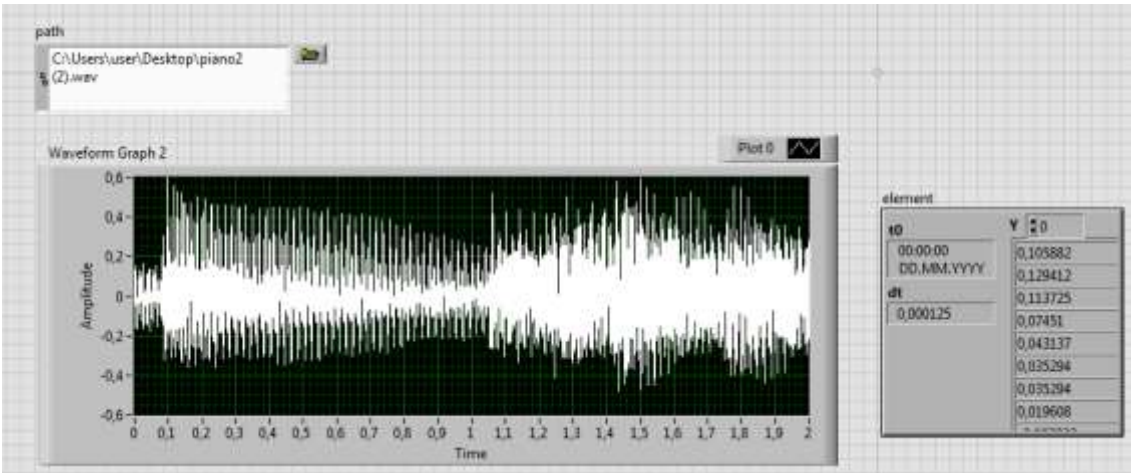


Рисунок 5 – Лицевая панель источника сообщения

Блок path служит для указания пути к файлу, который подлежит обработке. Sound File Read – блок чтения и перевода в массив звуковых файлов. После того, как файл считан, осуществляется выбор обрабатываемого канала при помощи блока Index Array Function. Затем при помощи Get Waveform Components происходит получение отсчетов амплитуды Y, а также постоянной dt, которая показывает время между двумя отсчетами. Далее отсчеты поступают на блок Array Max & Min Function, чтобы определить минимальное и максимальное значение амплитуды сигнала, которые понадобятся в процессе квантования сигнала. На следующем этапе в структуре For Loop

осуществляется квантование отсчетов по формуле:

$$S' = \text{round}\left(\frac{(S - y_{min}) \cdot (2^N - 1)}{y_{max} - y_{min}}\right), \quad (1)$$

где y_{max} и y_{min} – максимальное и минимальное значения амплитуды, S – обрабатываемые отсчеты, а N – разрядность квантования.

Для обеспечения высокого качества цифровой передачи, отсчеты звукового сигнала, оказавшиеся на выходе источника, необходимо закодировать помехоустойчивым кодом.

В разработанной схеме для этого используется блок Hamming.vi (Рисунок 6), который осуществляет кодирование Хэмминга (15,11).

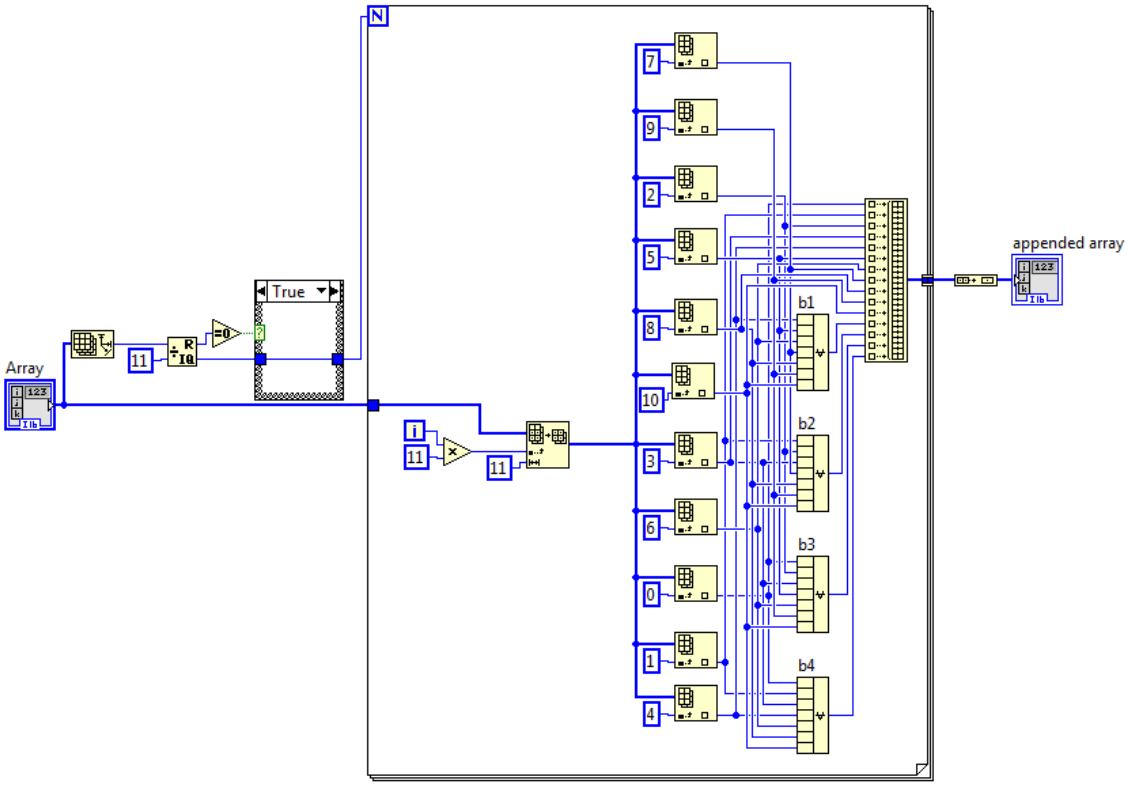


Рисунок 6 – Блок-схема кодера Хэмминга (15,11)

Поступившая на вход этого блока двоичная последовательность разбивается на группы по 11 бит, после чего, в соответствии с выражениями для их расчета, вычисляются проверочные биты b_1, b_2, b_3, b_4:

$$b_1 = a_5 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11};$$

$$b_2 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_4 \oplus a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11};$$

$$b_3 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_4 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11};$$

$$b_4 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_4 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11},$$

где $a_{1...11}$ – информационные биты, поступающие на вход кодера.

В результате на выходе блока формируется кодовая последовательность из информационных и проверочных битов, которая с помощью Build Array Function преобразуется в массив кодированных данных.

Для уплотнения информации в канале связи был применен метод временного разделения (TDMA – Time Division Multiple Access). Основной принцип TDMA заключается в том, что имеющийся ресурс разделяется между участниками информационного обмена на циклически повторяющиеся промежутки времени.

На вход блока TDMA приходят массивы закодированных данных с выхода кодера Хэмминга. Для определений количества необходимых итераций структурой Loop, выбирается наибольший из пришедший массивов, и число его элементов передается на вход цикла. В самой структуре на 1-й итерации с номером 0 берется 0-й элемент каждого массива и записывается в массив при помощи Build Array. На 1-й итерации обрабатываются 1-е элементы и так далее. Так как действия с массивами происходят в порядке очереди, в массив они поступают так же в определенном порядке. Таким образом, на выходе имеем массив appended array, в котором содержатся данные двух каналов, разделенные по времени передачи.

Блочная диаграмма VI представлена на рисунке 7.

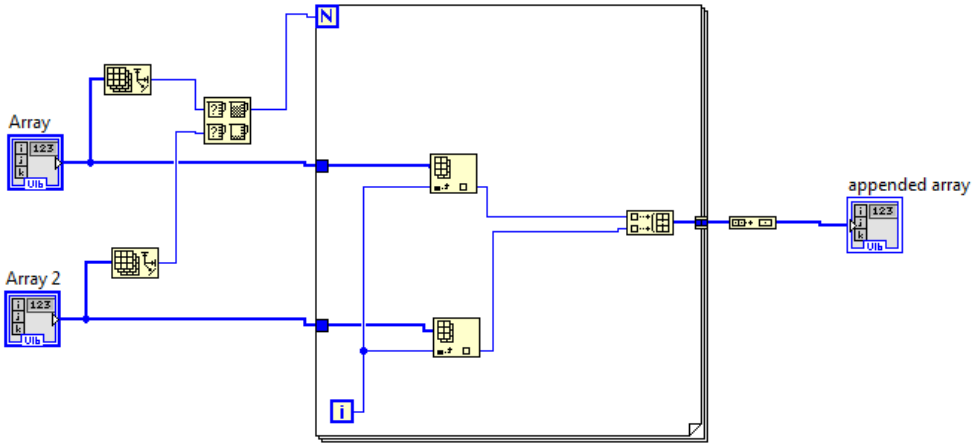


Рисунок 7 – Блочная панель временного разделения (TDMA)

Следующим блоком разработанной приемо-передающей системы является QPSK модулятор (Рисунок 8), используемый для переноса информационного сигнала в ВЧ область.

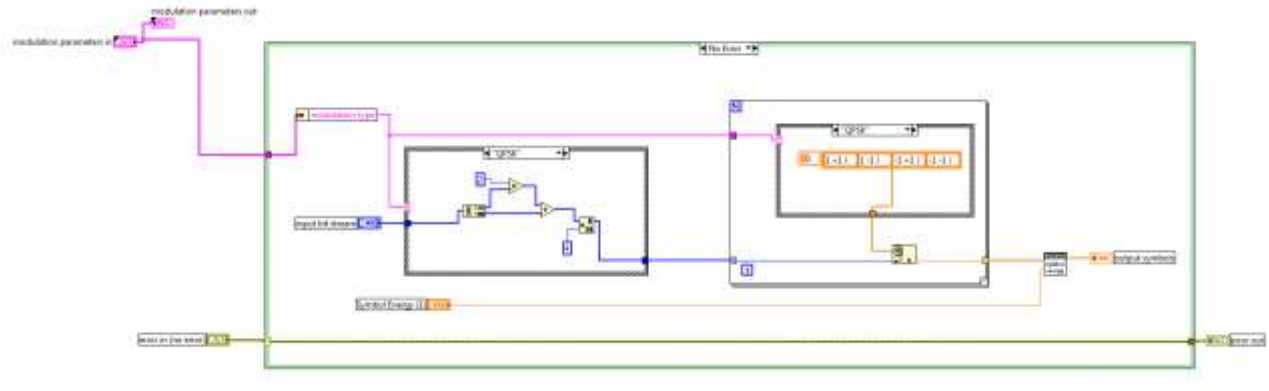


Рисунок 8 – Блочная панель модулятора QPSK

Входные биты это Input bit stream, выходные – output symbol. Модуляционные параметры и вход ошибок, нужны для синхронизации с остальными блоками в готовой системе передачи. Там остаются параметры, которые были заданы изначально.

Принцип работы модулятора QPSK в следующем: биты входной последовательности разделяются на 2 последовательности: четную и нечетную. С помощью математических операций двоичный код переводится в десятичный, который имеет смысл индекса со значениями от 0 до 3. Далее из массива выбирается значение фазы, которое поступает на блок Symbols Energy, который нормирует значение энергии всего сигнала.

После прохождения через канал связи сигнал поступает на блок демодуляции QPSK, изображенный на рисунке 9, где преобразуется в битовую последовательность, причем каждый принятый символ соответствует двум битам выходного сообщения.

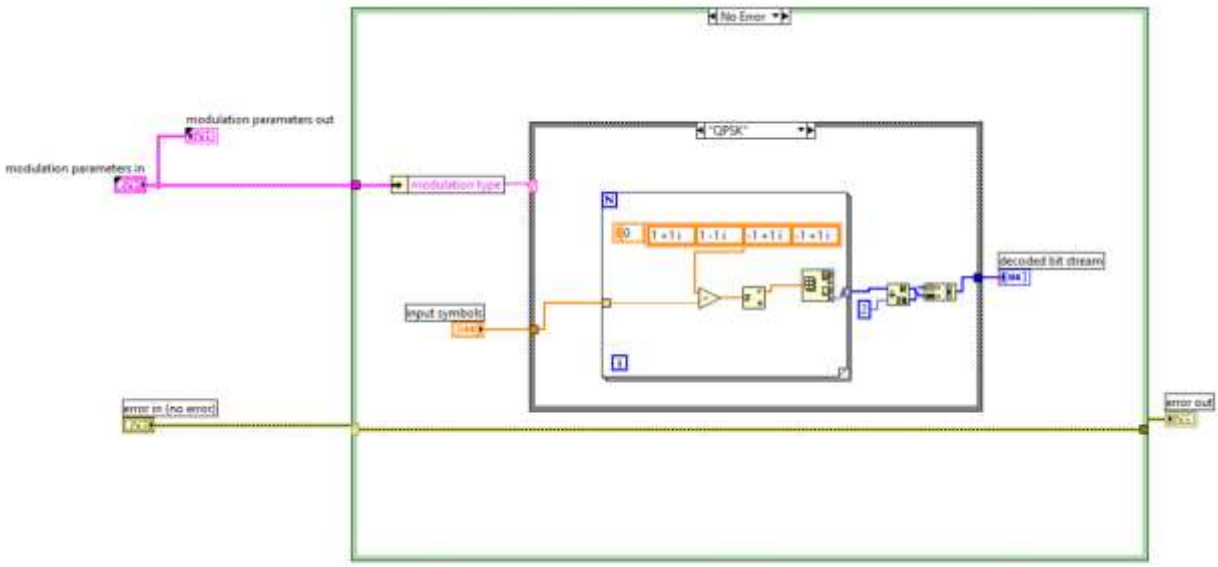


Рисунок 9 – Блочная панель демодулятора QPSK

Принцип работы демодулятора QPSK следующий: входная последовательность – комплексное число (из таблицы преобразования комбинаций) сравнивается с массивом, в котором содержатся все значения комбинаций. От результата берется модуль комплексного числа и преобразуется в двоичный код, в соответствии с таблицей преобразования комбинаций.

После демодуляции нужно разделить информационный поток на 2 канала, которые были изначально (выполнить демультиплексирование). Для реализации этой операции был использован блок, представленный на рисунке 10.

Принцип его действия следующий: функция Array Size Function подсчитывает количество отсчетов в принятом массиве, делит их на два, так как итераций цикла должно быть в два раза меньше чем отсчетов (за одну итерацию происходит обработка двух битов). В цикле происходит следующее: номер итерации i умножается на 2. На верхнем блоке Index Array Function

берется бит с этим номером в потоке. На нижний блок приходит число = 2i+1, то есть выбирается следующий бит. Таким образом, на верхний и нижний блоки формирования массивов поступают нужные выборки, то есть происходит разделение одного потока на два канала. На выходе блока имеем две последовательности битов, каждая из которых является выделенным из принятого сигнала каналом исходного звукового файла.

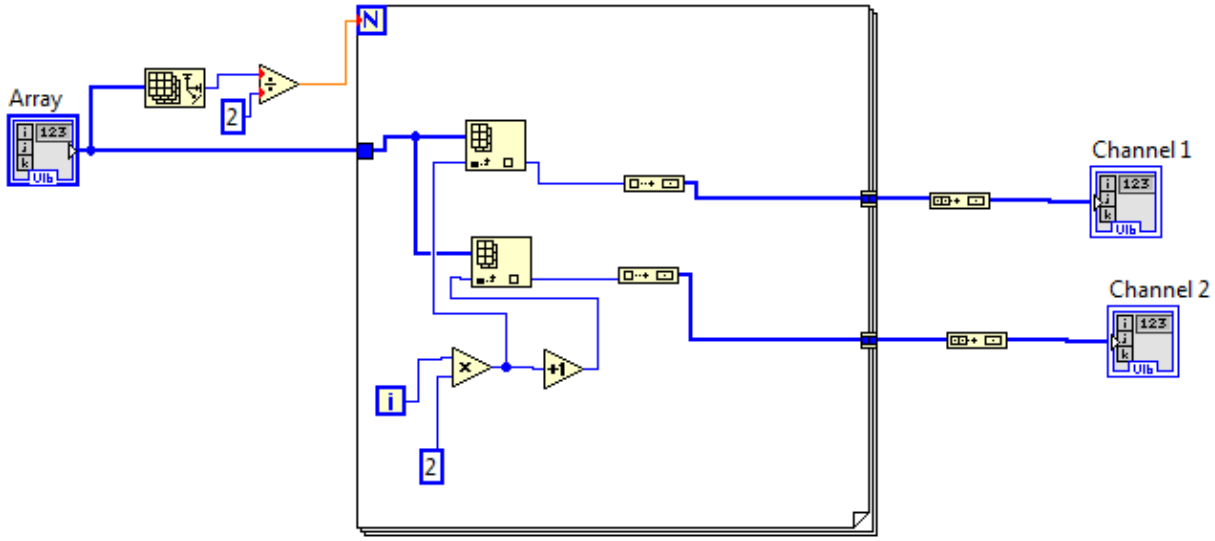


Рисунок 10 – Блочная панель преобразования и разделения каналов

Так как на приемнике исходные звуковые файлы были закодированы помехоустойчивым кодом Хэмминга (15,11), необходимо выполнить обратную операцию, которую осуществляет декодер Хэмминга (15,11). Его блочная панель представлена на рисунке 11.

Следует отметить, что при этом происходит исправление ошибок, которые могли возникнуть в процессе приема-передачи.

Битовая последовательность, приходящая с блока временного разделения поступает в одномерный массив Array, где из него поочередно считывается по 15 бит. Первые 11 битов – информационные, оставшиеся 4 – проверочные. Для того, чтобы код исправил ошибку необходимо рассчитать по 11 принятым информационным битам проверочную группу – это реализуется с помощью блоков Exclusive Or (xor), и сравнить с принятыми проверочными битами, с

помощью блоков Exclusive Or (xor), полученные результаты для упрощения дальнейшей обработки преобразовываются из числа в строку с помощью блока Number To Decimal String.

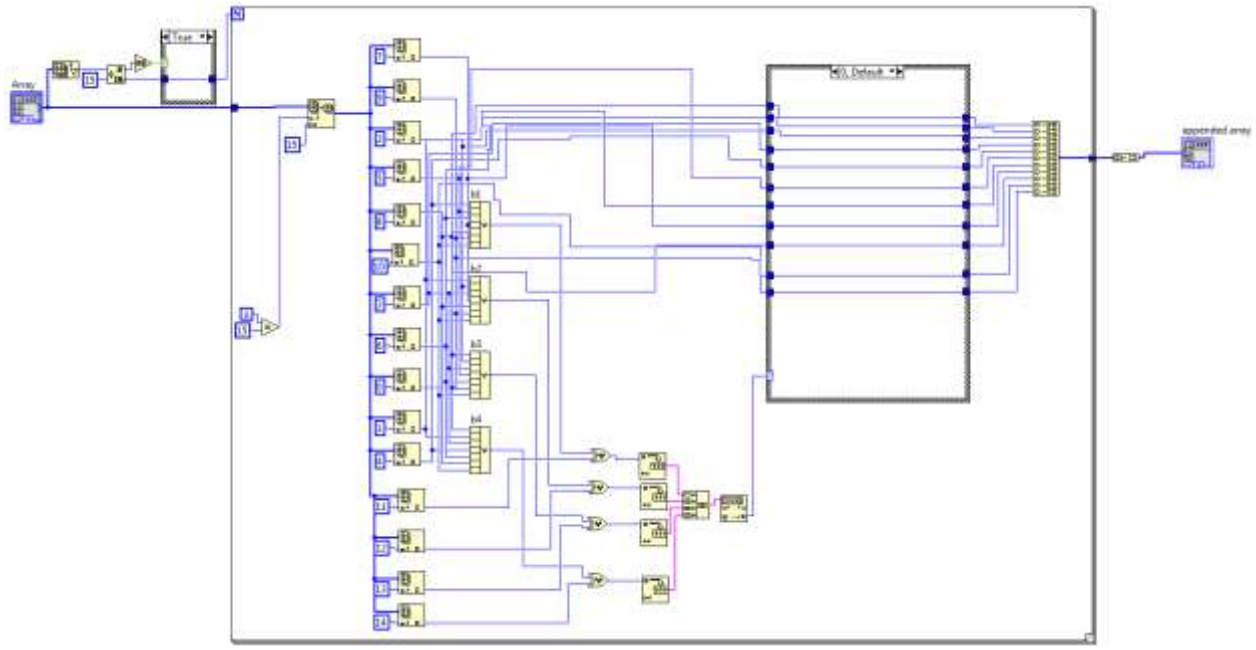


Рисунок 11 – Блочная панель декодера Хэмминга (15,11)

Преобразованные данные объединяются в единую строку с помощью блока Concatenate Strings, которая преобразуется для управления структурой выбора case обратно в число блоком Decimal String To Number. Полученное число является синдромом и указывает на ошибочный бит, значение которого мы инвертируем внутри структуры case, с помощью блока Select. Т.к. мы используем в дальнейшем только лишь информационные биты, а проверочные отбросим, то не имеет смысла исправлять ошибку в проверочных битах. Исправленная последовательность выводится в массив appended array.

Битовые последовательности, приходящие с блоков Hamming decoder необходимо преобразовать в отсчеты амплитуды звукового файла. Это реализуется блоками Decode. Их блочная панель представлена на рисунке 12.

Из пришедшего на вход блока массива берутся первые 8 бит (так как число 8-битное, ввиду того, что один уровень амплитуды звукового файла кодируется 8 битами). Затем в структуре case числа переводятся из двоичной в десятичную

систему счисления. Из полученных чисел необходимо получить непосредственно отсчеты звукового файла, путем деквантования. Для этого используется формула:

$$S = S' \cdot \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{2^N - 1}\right) + y_{min}, \quad (2)$$

где y_{max} и y_{min} – максимальное и минимальное значения амплитуды, S’ - принятые и прошедшие демодулятор и декодер Хэмминга значения, а N – разрядность квантования.

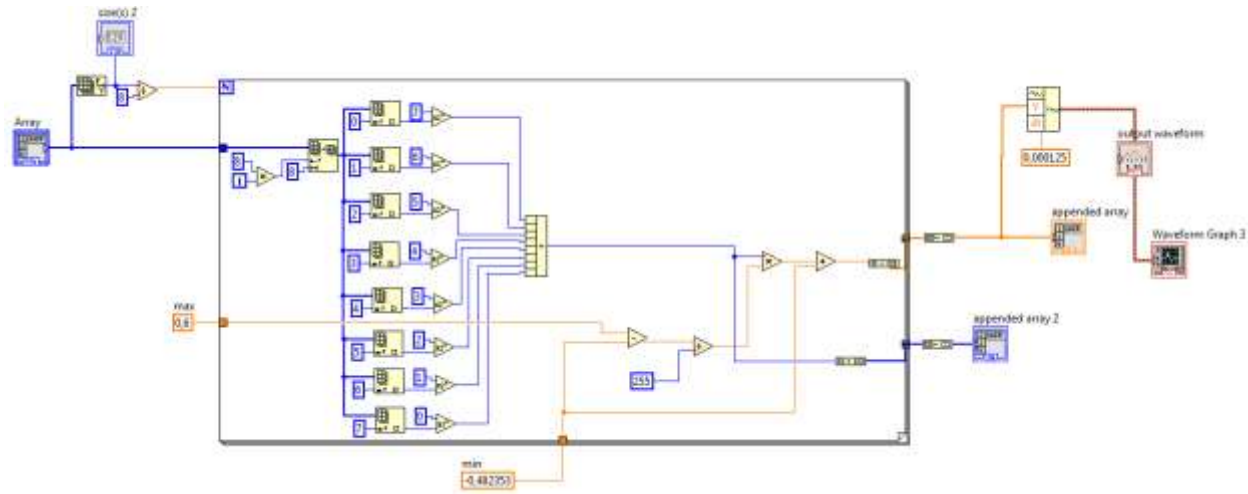


Рисунок 12 – Блочная панель Decode

Такие действия осуществляются с каждой группой из 8 битов. Затем блоком Build Waveform восстанавливаются отсчеты переданного сигнала, получается итоговый сигнал. После запуска программы можно наблюдать лицевую панель блока Waveform graph, в котором после принятия сигнала будут отображены выборки переданного сигнала.

Работоспособность системы, была проверена на реальной радиолинии. Звуковой файл формата wav объемом 32768 байт, продолжительностью в 2 секунды, был загружен, обработан, а затем передан. Графики зависимостей амплитуды переданных и принятых отсчетов от времени, построенные в LabVIEW, представлены на рисунке 13.

Из рисунка видно, что в передаваемые отсчеты были внесены искажения при прохождении по каналу связи из-за чего графики принятого и переданного

файлов отличаются.

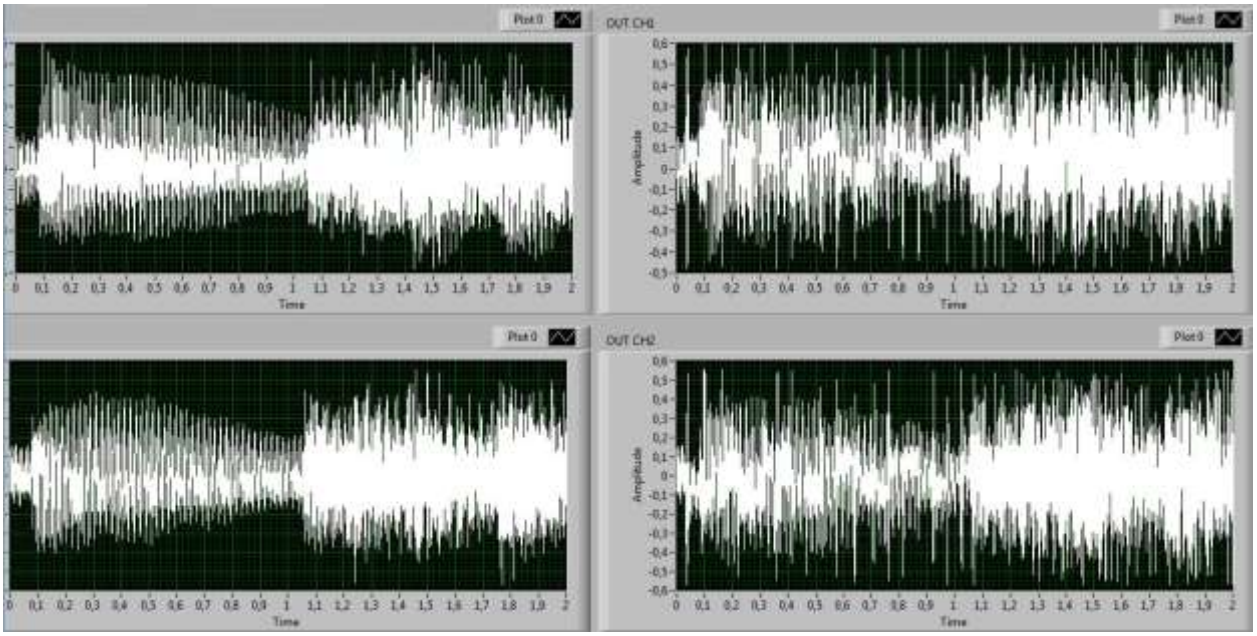


Рисунок 13 – Переданные (слева) и принятые (справа) отсчеты звукового файла

Однако большая часть отсчетов передана без ошибок, что также видно из графиков. Анализ результатов можно проводить не только по графикам, но и используя передаваемые и принятые массивы отсчетов или битов. На рисунке 14 представлена некоторая их часть.

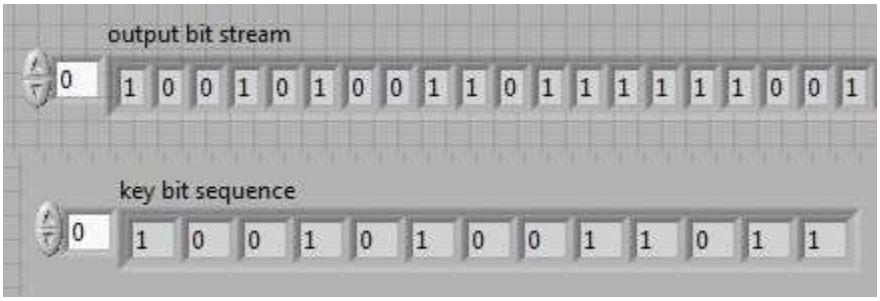


Рисунок 14 – Переданные (сверху) и принятые (снизу) биты

Ввиду того, что обработка и передача файла такого размера требует слишком больших вычислительных ресурсов и занимает большое количество времени, для дальнейших измерений количество передаваемых отсчетов было ограничено до 2000.

Проведено исследование изменений параметров сигнала на приемной и передающей сторонах при различных значениях отношения сигнал/шум в

моделях канала AWGN и ISI. На рисунках ниже показаны глазковые диаграммы и сигнальные созвездия при параметре noise power = -80дБ. Полные результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

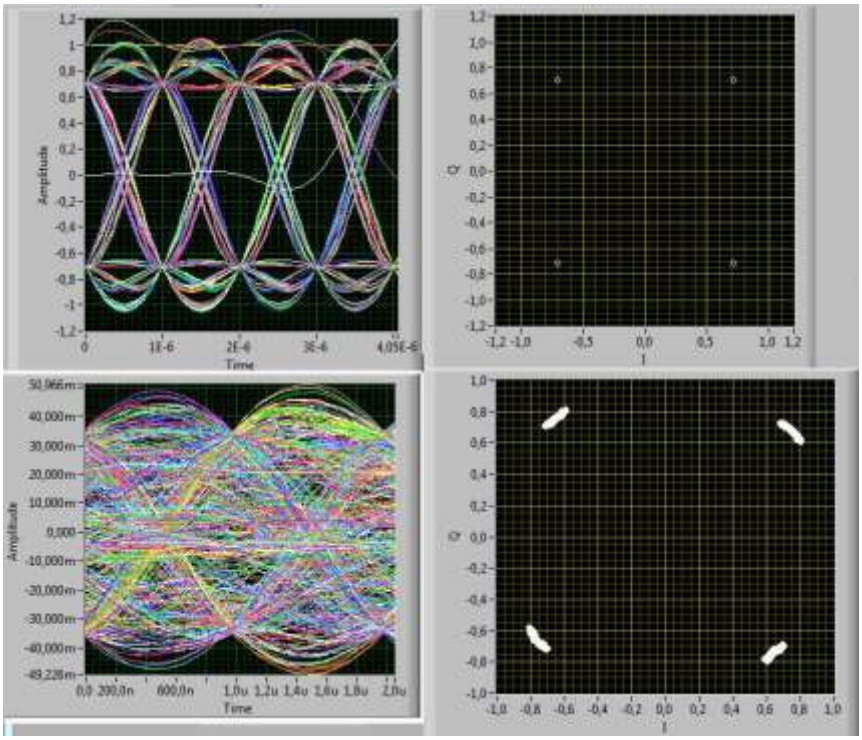


Рисунок 15 – Переданные (сверху) и принятые (снизу) сигнальные созвездия и глазковые диаграммы при noise power = -80дБ, модель канала AWGN

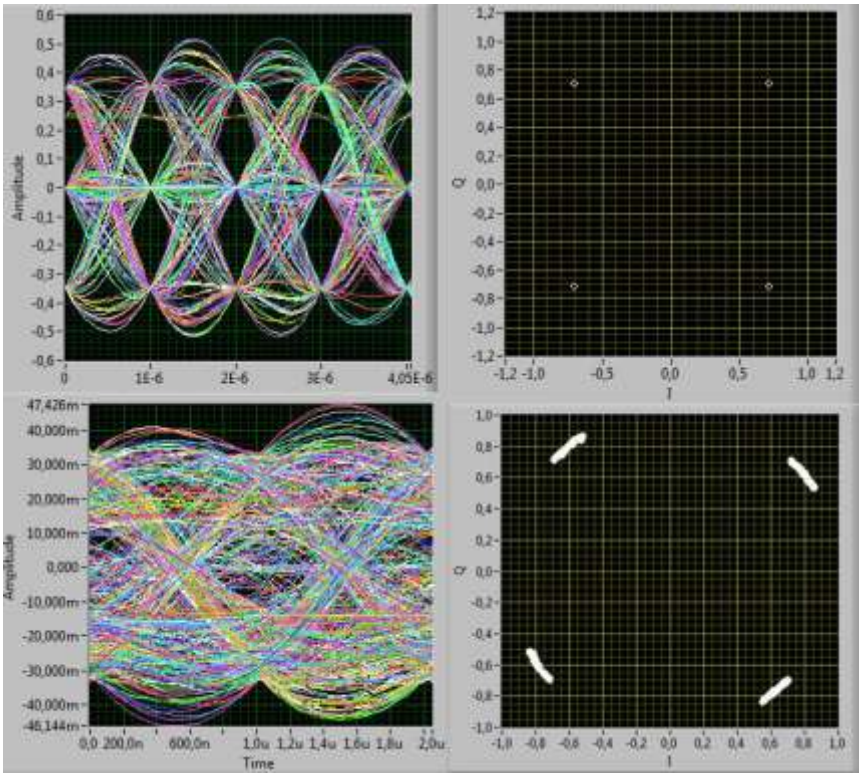


Рисунок 16 – Переданные (сверху) и принятые (снизу) сигнальные созвездия и

глазковые диаграммы при noise power = -80дБ, модель канала ISI

Таблица 1 – Результаты исследования для AWGN

Мощность шума P, дБ	**BER**	**Отношение сигнал/шум SNR, дБ**	**Мощность шума P, дБ**	**BER**	**Отношение сигнал/шум SNR, дБ**
0	0,48	-4,7	-20	0	13,5
-2	0,51	-2,4	-30	0	19,4
-4	0,55	-3,3	-40	0	20,6
-6	0,54	1,6	-50	0	21,7
-8	0,37	2	-60	0	21,7
-10	0,28	3,5	-70	0	21,4

Таблица 2 – Результаты исследования для ISI

Мощность шума P, дБ	**BER**	**Отношение сигнал/шум SNR, дБ**	**Мощность шума P, дБ**	**BER**	**Отношение сигнал/шум SNR, дБ**
0	0,51	-11,8	-20	0	2,8
-2	0,52	-8,9	-30	0	11,7
-4	0,52	-8,6	-40	0	19,0
-6	0,49	-9,3	-50	0	24,1
-8	0,47	-6,9	-60	0	23,3
-10	0,406	-6,6	-70	0	21,1

На рисунках 17-20 представлены графики зависимостей в соответствии с таблицами 1 и 2.

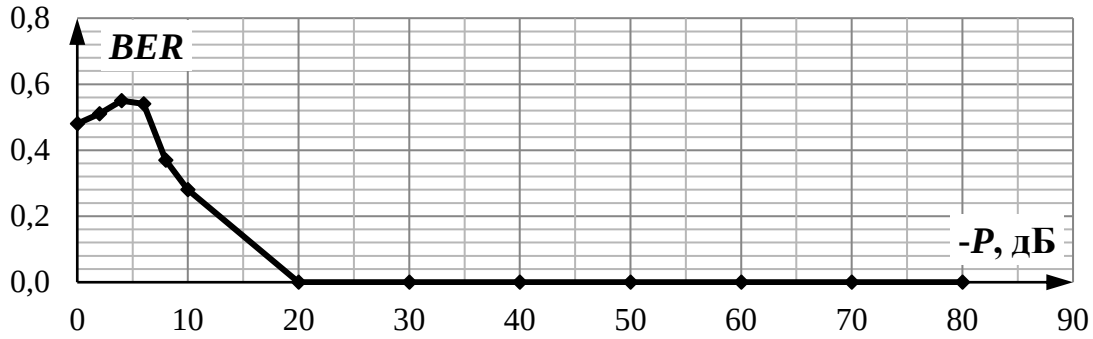


Рисунок 17 – Зависимость BER от P_{AWGN}

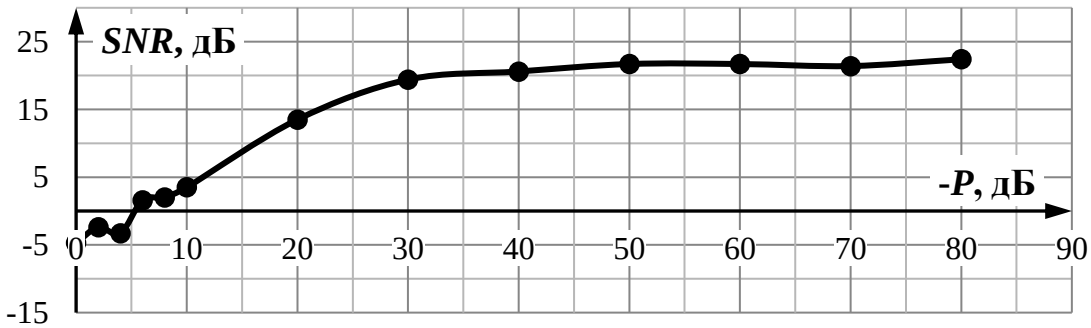


Рисунок 18 – Зависимость SNR от P_{AWGN}

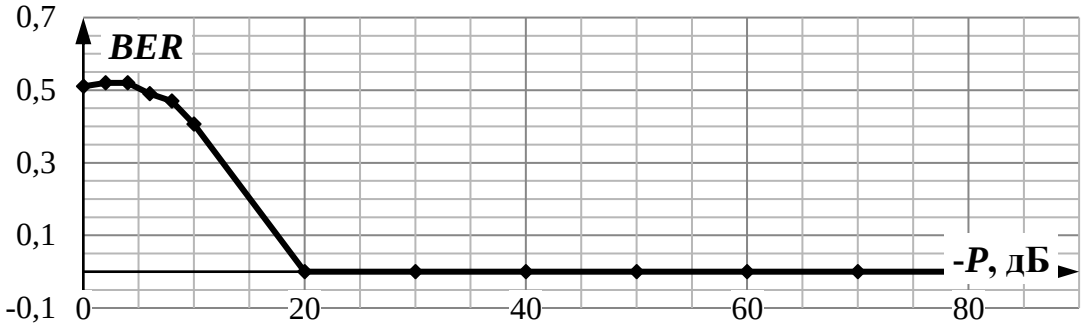


Рисунок 19 – Зависимость BER и SNR от P_{ISI}

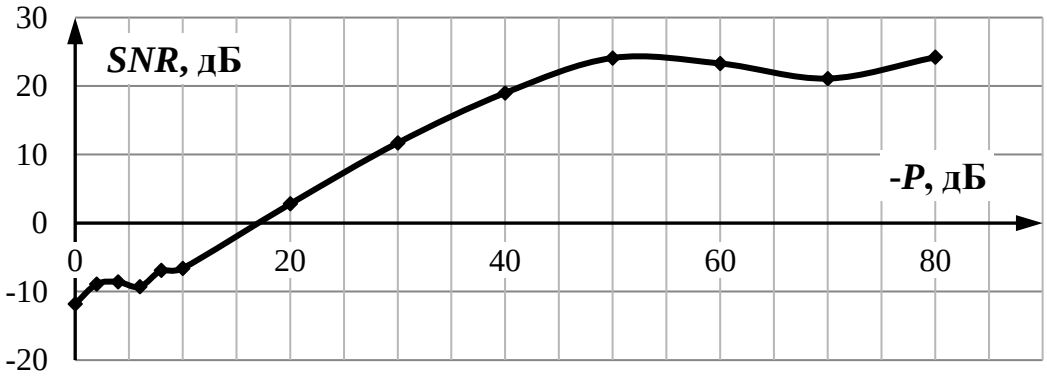


Рисунок 20 – Зависимость SNR от P_{ISI}

Анализируя полученные данные, можно сказать, что закодированные данные с источников сообщений можно точно расшифровать при уровне шума меньше -20 Дб в модели канала AWGN. При увеличении уровня шума доля корректно расшифровываемых символов падает. В модели канала ISI результаты аналогичны. В результате исследования также замечено, что при изменении мощности шума от -20 до 0 дБ количество ошибочных бит растет.

Из-за большого количество передаваемых данных количество ошибочных бит сильно увеличивается и помехоустойчивый код Хэмминга не может исправить все вносимые в канал связи помехи и шумы. Для увеличения помехозащищенности системы можно применить циклические коды, так как они исправляют большее количество одиночных ошибок, а также сверточные коды с перемежителем.

По результатам работы сделан вывод: количество ошибочных бит в принимаемом сигнала (BER) тем больше, чем меньше отношение сигнал/шум. Код Хэмминга исправляет одну ошибку в блоке из семи бит, и при количестве

ошибок в принимаемом сигнале больше пяти процентов уже не получается восстановить исходный сигнал без ошибок. Так как имеет место наличие пакетных ошибок, из-за выбранного типа модуляции, последовательность не может быть декодирована полностью верно.

Использованные источники:

1. Хит, Р.У. мл. Цифровая беспроводная связь / Р.У.Хит мл. / 2-е изд. перераб. и доп. / - “National technology and science press”, 2012. – 160 с.
2. Шульгин В.И. Основы теории передачи информации, ч.2. Помехоустойчивое кодирование – Учеб. пособие – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 87 с.
3. Федосов В.И. Основы программирования Labview. / В.И. Федосов – Учебное пособие – С.: Саратовский государственный университет имени Чернышевского, 2010. – 53 с.
4. Лебедько Е.Г. Теоретические основы передачи информации [Электронный ресурс]: монография / Е.Г. Лебедько. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 352 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/1543.
5. Шварцман В.О. Передача дискретной информации. Уч. для студ. электротехн. институтов. / В.О. Шварцман, Г.А. Емельянов – М.: Радиосвязь, 1982. – 240 с.
6. Основы цифровой радиосвязи. Помехоустойчивое кодирование : метод. указания / сост. Д. В. Пьянзин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 16 с.

Used sources:

1. Heath, R.W. Jr. Digital wireless communication / R.W. Heath Jr. / 2nd ed. revised and add. / - "National technology and science press", 2012. - 160 p.
2. Shulgin V.I. Fundamentals of the theory of information transmission, part 2. Noise-resistant coding - Textbook. allowance - X .: Nat. aerospace. un-t "Khark. Aviation Institute ", 2003. - 87 p.

3. Fedosov V.I. Fundamentals of Labview Programming. / V.I. Fedosov - Textbook - C .: Saratov State University named after Chernyshevsky, 2010. - 53 p.
4. Lebedko E.G. Theoretical foundations of information transfer [Electronic resource]: monograph / E.G. Lebedko. - Electron. Dan. - St. Petersburg: Lan, 2011 .- 352 p. - Access mode: https://e.lanbook.com/book/1543.
5. Shvartsman V.O. Transfer of discrete information. Book for stud. electrical engineering institutions. / V.O. Shvartsman, G.A. Emelyanov - M .: Radio communication, 1982. - 240 p.
6. Basics of digital radio communication. Noise-immune coding: method. instructions / comp. D. V. Pyanzin. - Saransk: Publishing house of Mordovian. University, 2009. - 16 p.