

Тема: Модель сети VNET в Matlab

### Задание к курсовому проекту

1. Разработать модель сети VNET в Matlab
2. Описать модель (каждый блок)

Пример оформления:

### 2 Разработка имитационной модели

#### 2.1 Архитектура системы DVB-T2 сети VNET

В данной главе представлены архитектура системы и реализация в модели алгоритмов, описанных в стандарте.

Общая модель системы DVB-T2 представлена на рисунке 10. Вход(ы) системы может быть одним или несколькими транспортными потоками MPEG-2 и/или одним или несколькими общими потоками. Входной препроцессор, который не является частью системы DVB-T2, может включать в себя сплиттер сервисов или демультиплексор транспортных потоков (TS) для разделения сервисов на входы системы DVB-T2, которые являются одним или несколькими логическими потоками данных. После чего эти потоки переносятся в отдельных каналах физического уровня (PLP).

Выход системы — это, как правило, один сигнал для передачи по одному RF каналу. Опционально, система может создать второй набор выходных сигналов, которые должны быть переданы на второй набор антенн в так называемом режиме передачи MISO (Multiple Input, Single Output - несколько входов — один выход).

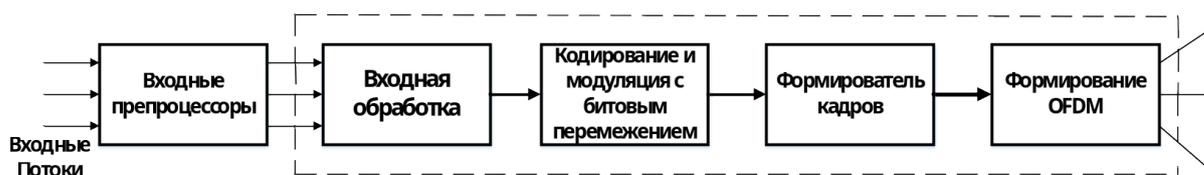


Рисунок 10 - Высокоуровневая блок-схема системы DVB-T2

В целом, общая схема обработки сигналов в системе DVB-T2 существенно усложняется (рисунок 11).

В стандарте различаются три основных типа потоков - транспортный поток (Transport Stream - TS), обобщенный инкапсулированный поток (Generic Encapsulated Stream - GSE) и обобщенный непрерывный поток (Generic Continuous Stream - GCS). Каждый поток представляет собой последовательность пользовательских пакетов (UP - User Packet). Транспортный поток - это последовательность пакетов фиксированной длины (пакеты MPEG-2, 188 байт, первый бит - всегда синхробайт со значением  $47_{16}$ ). Поток GSE характеризуется пакетами переменной или фиксированной длины, которая указывается в заголовках этих пакетов. Поток GCS представляет собой непрерывный поток битов. Реально - это или последовательность пакетов без указания их длины, или пакеты максимально возможной длины 64 Кбит.

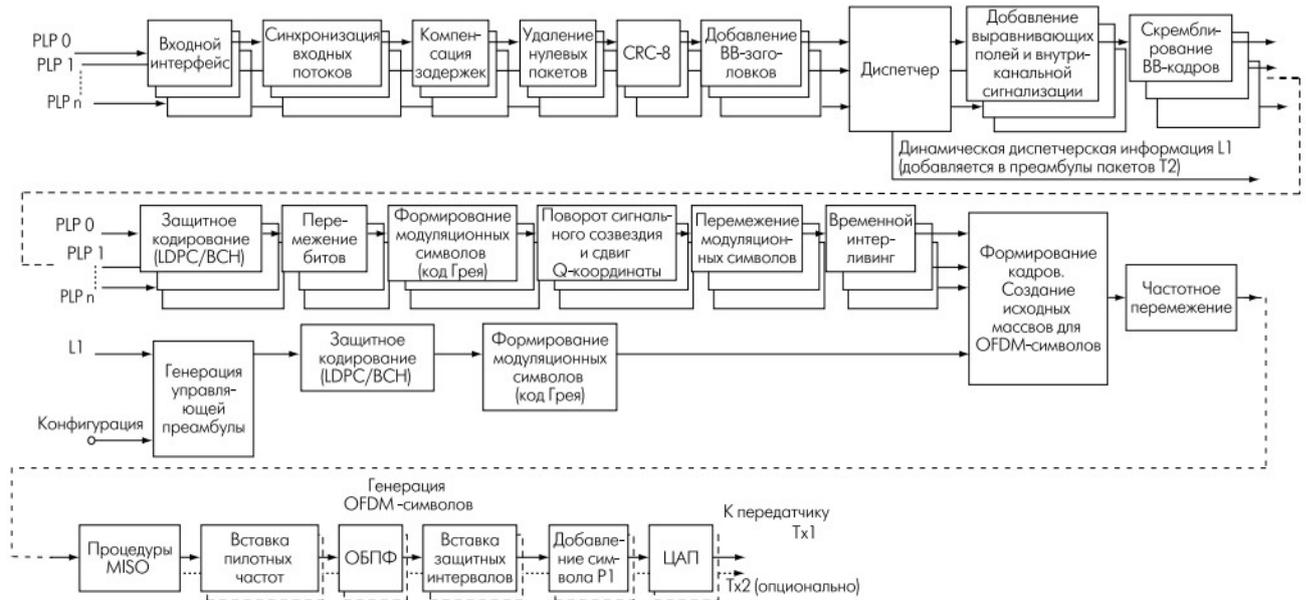


Рисунок 11 - Схема обработки информации (передающая сторона) в системе DVB-T2

Пакеты каждого магистрального потока объединяются в потоковые (Baseband) кадры (ВВ-кадры) - отдельно для каждого потока (рисунок 12). ВВ-кадр содержит ВВ-заголовков (80 бит), поле данных и поле выравнивания. В последнем можно передавать данные внутриканальной сигнализации. В заголовке пакета содержится информация о типе транспортного потока, размере пользовательского пакета (при необходимости) и всего поля данных, наличии режимов удаления пустых пакетов и дополнительных синхропакетов, используется постоянная/переменная модуляция и т.п. Размер поля данных и выравнивающего поля определяется параметрами сверточного кодера ( в сумме не более 53770 бит). В телевизионных потоках зачастую используются пустые пакеты (для выравнивания скорости потока), разного рода задержки и т.п. для сохранения постоянной скорости потока. Поэтому в DVB-T2 предусмотрены средства удаления этой избыточной информации, но с возможностью ее восстановления на приемном конце. Кроме того, опционально предусмотрен и механизм сверточного кодирования CRC-8 на уровне пользовательских пакетов.

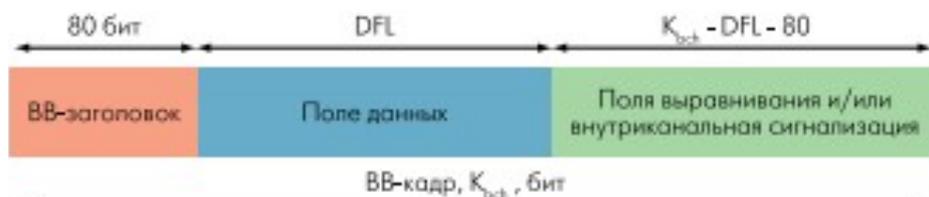


Рисунок 12 - Структура потоковых данных

Сформированный ВВ-кадр скремблируется (рандомизируется путем перемножения на псевдослучайную последовательность) и подвергается корректирующему кодированию. В качестве корректирующего кода используется каскадный код. В качестве внешнего кода в нем применен блочный кодер БЧХ. В качестве внутреннего - LDPC. В зависимости от скорости кодирования LDPC, размер входного блока данных для БЧХ-кодера может различаться, однако выходной размер кодового слова после LDPC всегда составляет 64800 бит.

Перед модуляцией кодовые слова подвергаются побитному перемежению и распределяются по модуляционным символам (рисунок 11).

После формирования модуляционных символов происходит их перемежение в пределах кодового слова.

Все рассмотренные до сих пор процедуры выполняются параллельно для отдельных магистральных потоков. В результате для каждого PLP формируется последовательность модуляционных символов. Из них необходимо сформировать OFDM-символы.

Распределением потоков по кадрам занимается специальный диспетчер еще на стадии формирования ВВ-кадров. Уже тогда, задолго до формирования OFDM-символов, создается сигнальная информация.

Блок режима MISO (*multiple input single output* — много входов, один выход) введён для одночастотных сетей.

В блоке вставка пилот-сигналов добавляются три класса пилот-сигналов: постоянные (с фиксированным положением), рассеянные (циклически движущееся положение) или краевые (граничное положение). Есть 8 различных

конфигураций для рассеянного пилот-сигнала (PP1 ... PP8). Кроме того, ряд фиктивных поднесущих не модулировано и зарезервировано, чтобы уменьшить динамический диапазон выходного сигнала DVB-T2 (это уменьшает нелинейные искажения в усилителях мощности во время передачи).

Обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ): классическое ОДПФ используется для перехода из частотной области во временную область, смещая положение поднесущих относительно средней несущей частоты. Доступно от 1k (1024) до 32k (32768) поднесущих. Существует также расширенный режим, который позволяет заполнить дополнительные данные в доступной полосе пропускания, используя больше активных поднесущих и сокращая количество нулевых поднесущих защитного диапазона.

Добавление защитного интервала: циклический префикс вставляется перед символом ОДПФ, чтобы выделить сигнал при наличии эхо-сигналов в канале передачи. Допускаются интервалы длиной от 1/128 до 1/4 от длины ОДПФ .

Добавление символа P1: символом P1 является отдельно созданным символом 1k OFDM, всегда вставляется в заголовке кадра. Она передает несколько бит информации (распространение, скремблирование и DBPSK модуляцией), служит для синхронизации (по времени и по частоте) и идентификации потока на приёмной стороне.

Цифро-аналоговое преобразование (ЦАП) : отсчёты DVB-T2 преобразуется в аналоговый комплексный ВВ-сигнал (I и Q). Частота дискретизации зависит от пропускной способности выделенной полосы частот. Например, при ширине канала 8 МГц, интервал дискретизации комплексных отсчётов 7/64 мкс.

## 2.2 Схема исследования характеристик и параметров ЦНТВ

Общая структурная модель для проведения исследований системы ЦНТВ представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 - Модель ЦНТВ с измерителем вероятности ошибок

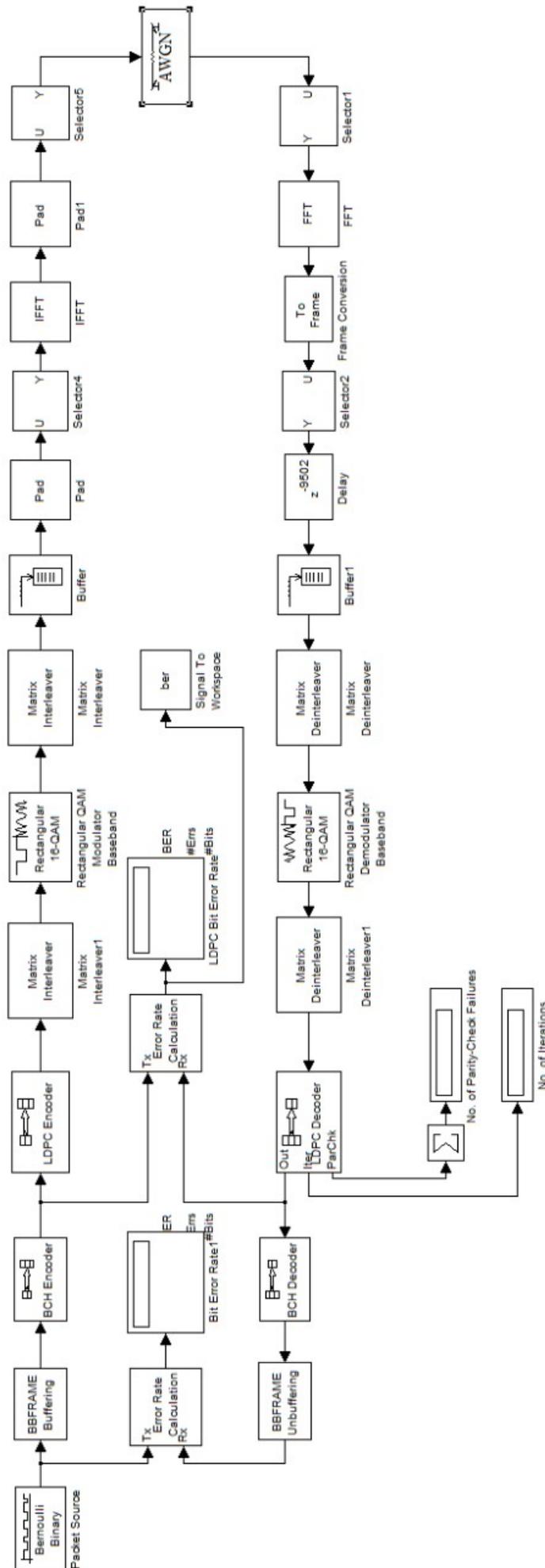
Для проведения исследований в среде моделирования Matlab была собрана имитационная модель с применением пакета SIMULINK для DVB-T2. Моделирование проводилось для всех режимов передачи (типов модуляции и кодовых скоростей). Исследование характеристик DVB-T2 в данной работе проводятся с гауссовым каналом передачи данных. Модель представлена на рисунке 8.

Система Matlab была выбрана, потому что библиотеки этой среды содержат полный набор инструментальных средств для поддержки проектирования и моделирования системы.

(Рас  
Как

«0»

302



### 2.3 Описание блоков имитационной модели

2.3.1 Генерация данных ket Source на рисунке 14). следует из названия, этот блок будет отвечать за создание данных для системы DVB-T2, которые позже отправляются по каналу передачи.

В качестве генератора данных используется Бернулли генератор - это генератор двоичных чисел и «1», имеющих распределение Бернулли.

Система работает с двоичным типом данных. Затем передаваемые данные пакетируются в ВВ-кадры, заголовок которых содержит информацию о характере данных.

В описании стандарта (EN 755) блок генерации данных выглядит следующим образом (рисунок 15).

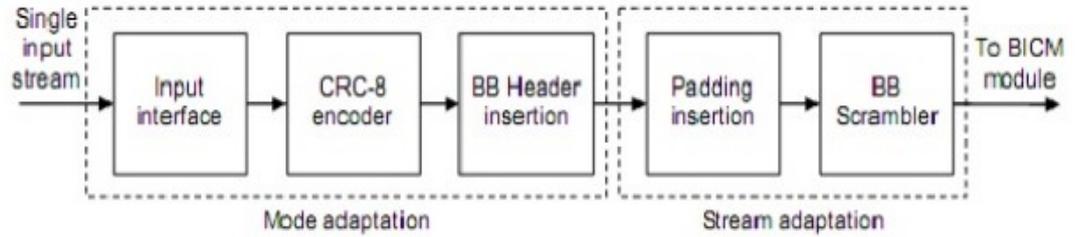


Рисунок 15 – Блок генерации данных в стандарте

В модели генерация данных представлена блоками, изображенными на рисунке 16.

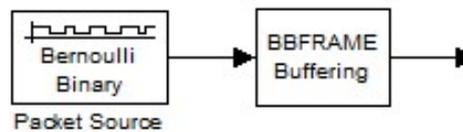


Рисунок 16 - Блок генерации данных в Matlab

2.3.1.1 Генератор Бернулли. Последовательность Бернулли - это распределение нулей и единиц вероятностью  $p$  и  $(p-1)$  соответственно. В этой модели,  $p = 0,5$  в результате чего с равной вероятностью появляются 0 и 1. Выход этого блока кадров на основе того же размера как пакет MPEG-TS, который составляет  $188 \cdot 8$  байт и делает его размером в 1504 бит.

Параметры, которые задаются для этого блока, представлены на рисунке 17.

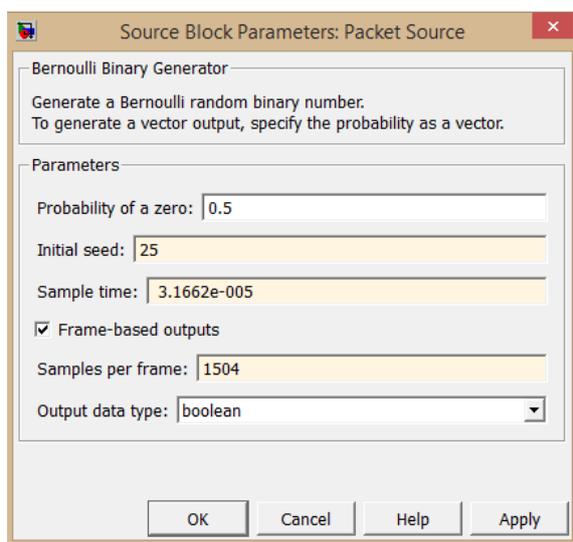


Рисунок 17 - Окно с параметрами блока «Packet Source»

- Probability of a zero. Данный параметр определяет вероятность появления нуля на выходе.

- Initial Seed. Начальное значение генератора случайных чисел.

- Sample Time. С этим значением связан период дискретизации сигнала.

- Samples per Time. Количество образцов, подлежащих передаче. Стандарт говорит, что мы должны использовать кадры по 188 байт. Мы генерируем 8 блоков по 188 байт, значит наше значение для этого поля будет  $8 * 188 = 1504$ .

2.3.1.2 Формирование ВВ-кадра. Выходные данные генератора исходного пакета скапливаются в буфере, чтобы сформировать ВВ-кадр. Размер кадра зависит от скорости кодирования, равен размеру входа БЧХ-кодера. Формирование ВВ-кадра в модели производится с помощью двух блоков: буфера и блока добавления нулей (рисунок 18).

На выходе блока формируется нужно нам количество бит.



Рисунок 18 – Блок формирования ВВ-кадра

2.3.2 Кодирование и модуляция данных. На рисунке 19 представлена схема, реализующая кодирование, модуляцию и перемежение передаваемых данных.

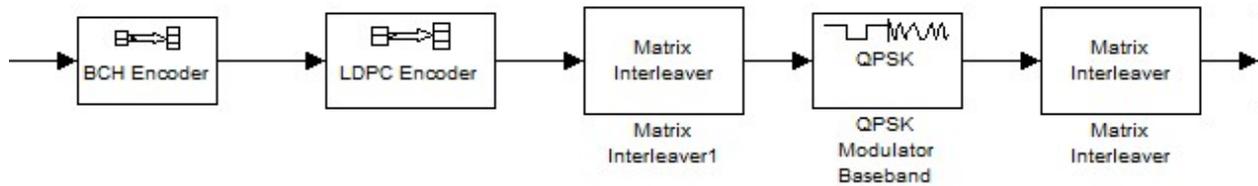


Рисунок 19 - Схема, реализующая кодирование, модуляцию и перемежение передаваемых данных

2.3.2.1 Блоки кодирования. На данном этапе, сигнал, генерируемый ранее, подвергается помехоустойчивому кодированию для достижения более высокой надежности.

В стандарте DVB-T2 используется сочетание двух видов кодирования БЧХ и LDPC.

На рисунке 20 представлено окно с параметрами блока БЧХ – кодера. Рассмотрим каждый параметр подробнее:

- Codeword length. Длина кодового слова (количество бит на выходе кодера).
- Message length. Длина информационной последовательности (количество бит на входе блока).

Так же необходимо задать генераторный и примитивный полиномы.

В таблице 11 представлены параметры кодера в зависимости от скорости кодирования.

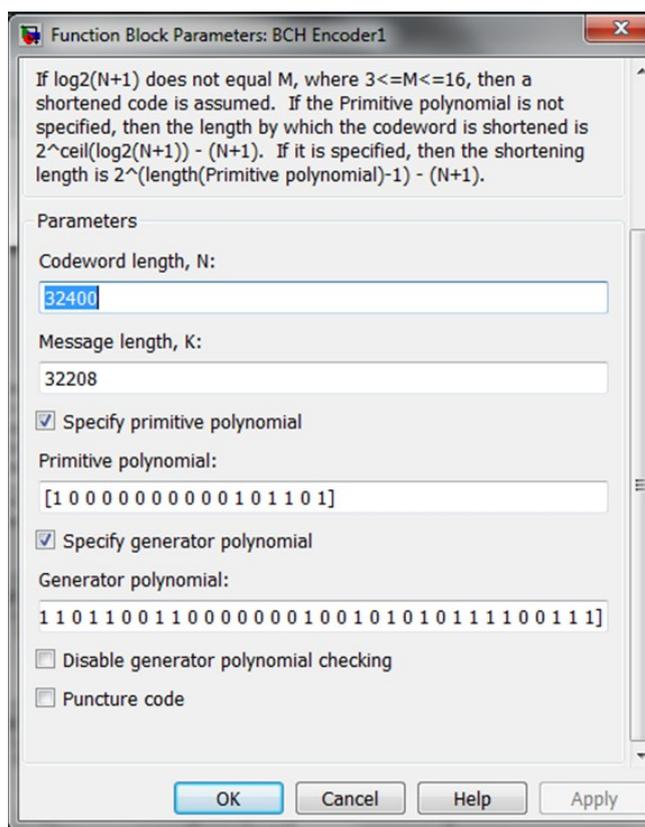


Рисунок 20 – Окно с параметрами блока БЧХ – кодера.

Таблица 11 – Параметры кодера

| Скорость кодирования | Длина информационной последовательности, бит | Длина кодового слова, бит |
|----------------------|--|---------------------------|
| 1/2                  | 32208  | 32400                     |
| 3/5                  | 38688  | 38880                     |
| 2/3                  | 43040  | 43200                     |
| 3/4                  | 48408  | 48600                     |
| 4/5                  | 51648  | 51840                     |
| 5/6                  | 53840  | 54000                     |

На рисунке 21 представлено окно с параметрами блока LDPC – кодера.

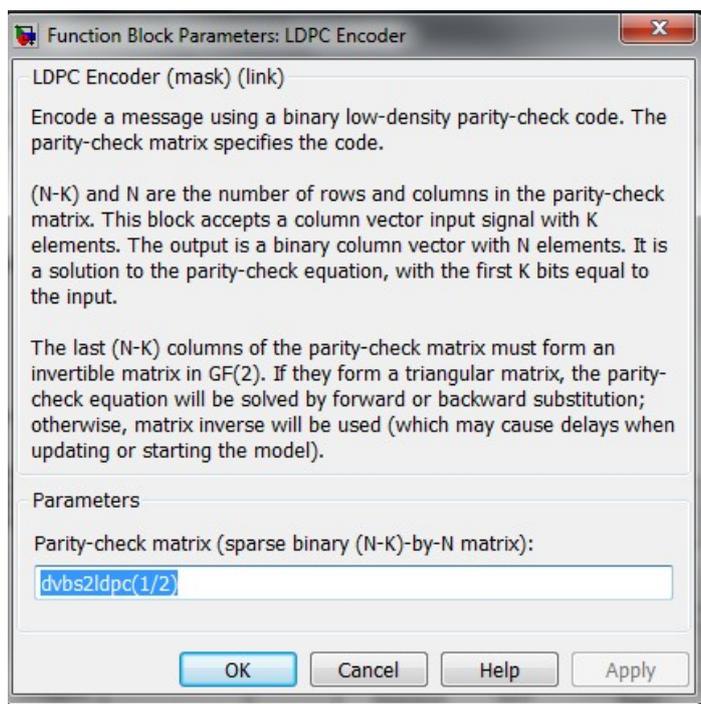


Рисунок 21 - Окно с параметрами блока LDPC – кодера

В данном блоке задается специальная функция `dvbs2ldpc`, параметром которой является скорость кодирования.

### 2.3.2.2 Блок формирования модуляционных символов.

Блок `Matrix Interleaver1`, представленный на рисунке 19, выполняет функцию Маррета. На данном этапе происходит формирование модуляционных символов. Данный параметр обозначает количество передаваемых бит на символ. В зависимости от выбранного вида модуляции этот параметр может принимать значения 2, 4, 6 и 8 (таблица 12).

Таблица 12 – Параметры формирования модуляционных символов

| Длина входного блока | Тип модуляции | Количество передаваемых бит на символ | Количество выходных символов |
|----------------------|---------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 64800                | 256-QAM       | 8                                     | 8100                         |
|                      | 64-QAM        | 6                                     | 10800                        |
|                      | 16-QAM        | 4                                     | 16200                        |
|                      | QPSK          | 2                                     | 32400                        |

2.3.2.3 Блок модуляции символов Для модуляции символов используется блок «Rectangular QAM». Блок модулирует с помощью М-ичной квадратурной амплитудной модуляции созвездие на прямоугольной решетке.

Окно с параметрами данного блока представлено на рисунке 22.

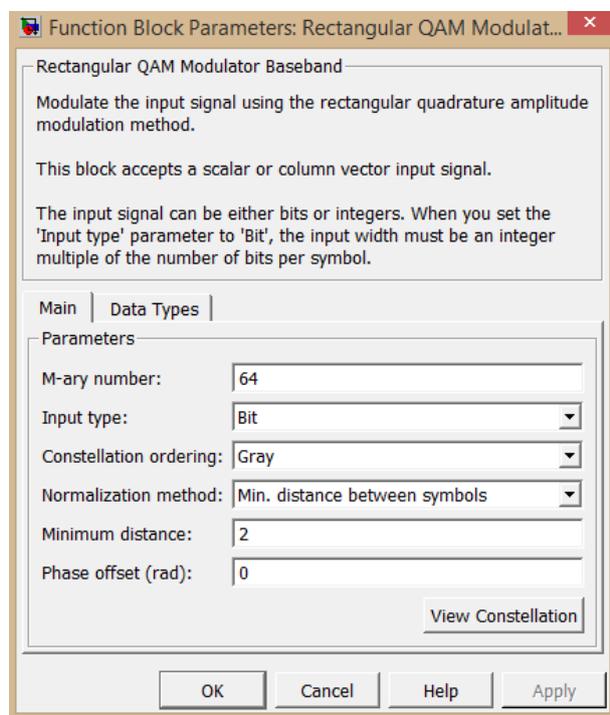


Рисунок 22 – Окно с параметрами блока «Rectangular QAM»

Рассмотрим основные параметры блока:

- M-ary number. Количество точек в сигнальном созвездии.
- Input type. Указывает тип входа, состоит ли из целых чисел или групп битов.
- Constellation ordering. Определяет блок отображает каждый символ в группе выходных битов или число.
- Output data type. Тип выходных данных. Так как на выходе данные могут быть с плавающей точкой и большой размерности, то устанавливаем тип double.

2.3.2.4 Блок перемежения символов. Следующим шагом после формирования модуляционных символов идет перемежение модуляционных символов. В качестве временного перемежения используется блок «Matrix Interleaver». Данный блок записывает входной вектор по столбцам, а считывание происходит по строкам. Наглядное представление процесса временного перемежения приведено в стандарте (рисунок 23).

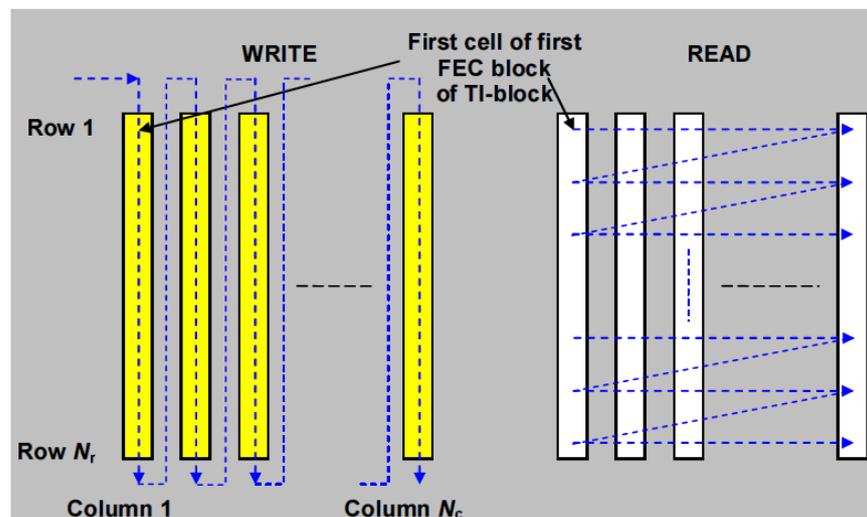


Рисунок 23 - Временное перемежение

Окно с параметрами данного блока представлено на рисунке 24.

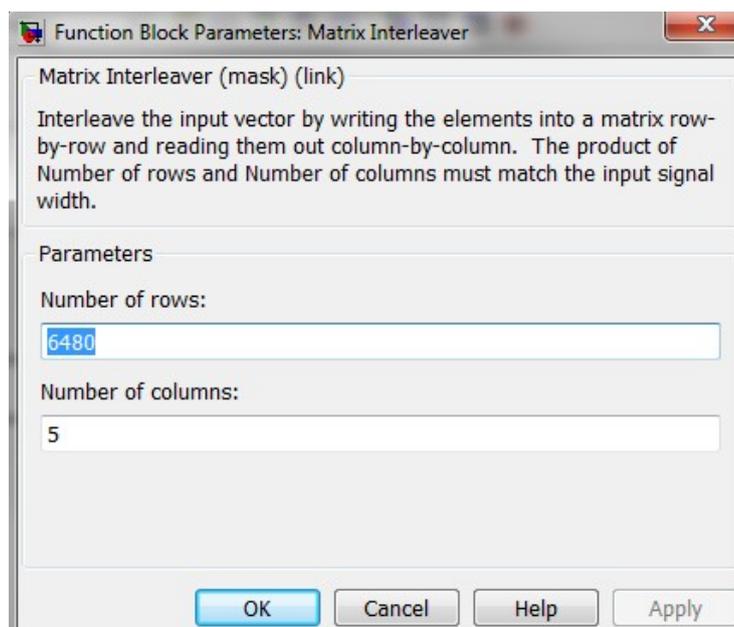


Рисунок 24 - Окно с параметрами блока «Matrix Interleaver»

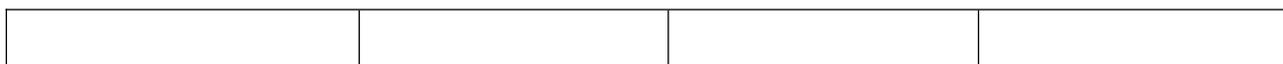
- Number of rows. Количество строк. Значение выбирается в зависимости от стандарта. Например, для модуляции QPSK количество строк будет равно 6480.

- Number of columns. Количество столбцов. Данное значение вычисляется путем деления общего массива данных на количество строк. Получим:  $32400/6480 = 5$ .

Параметры, которые используются в данном блоке представлены в таблице 13, их необходимо брать из стандарта DVB-T2.

Таблица 13 – Параметры для временного перемежения

| Длина входной последовательности | Тип модуляции | Количество символов | Количество строк |
|----------------------------------|---------------|---------------------|------------------|
| 64800                            | 256-QAM       | 8100                | 1620             |
|                                  | 64-QAM        | 10800               | 2160             |
|                                  | 16-QAM        | 16200               | 3240             |
|                                  | QPSK          | 32400               | 6480             |



2.3.3 Блок Buffer (рисунок 25). Цель буфера состоит в том, чтобы накапливать информацию, которая поступает после блоков помехоустойчивого кодирования (FEC), а именно 32400 тысячи символов, и выбирать информацию из 6698 тысячи символов. Это количество (6698 символов) - число активных несущих частот в модуляции OFDM. Следовательно, начиная с этого блока, мы начинаем работать с символами OFDM.

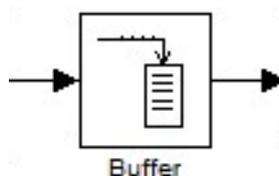


Рисунок 25 - Блок буфера

Параметры, которые использовались для блока (рисунок 26):

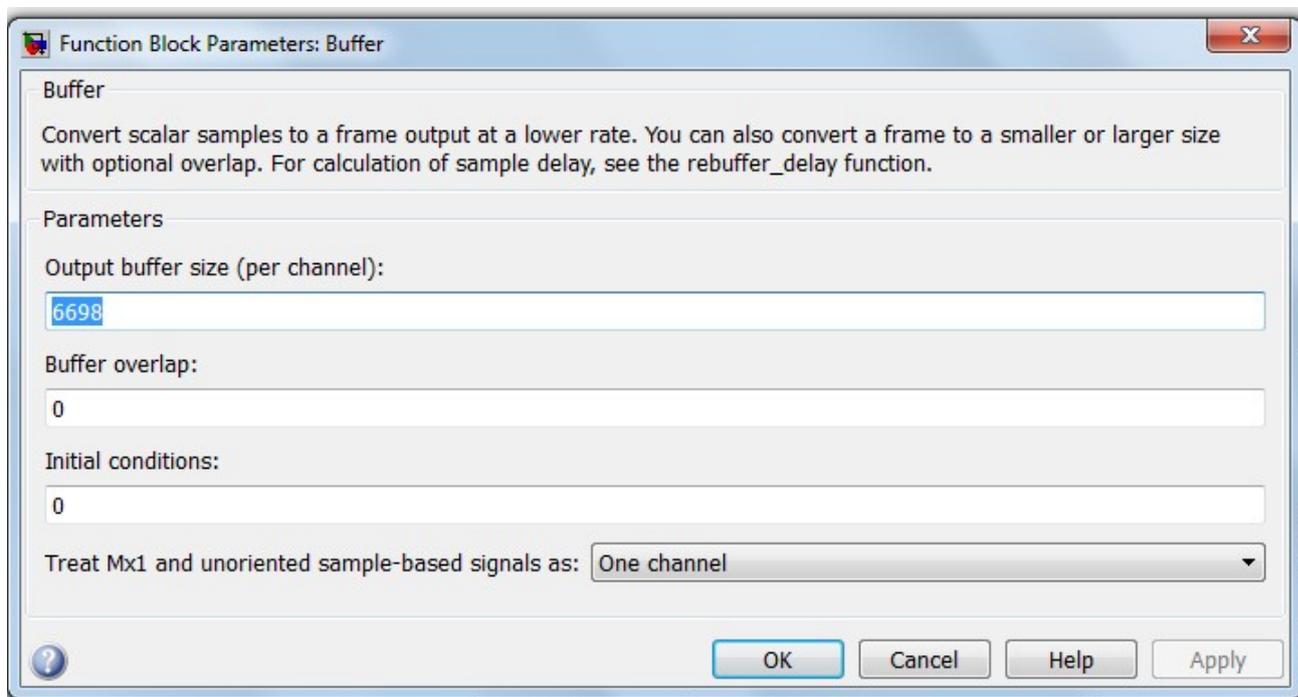


Рисунок 26 – Окно с параметрами блока «Buffer»

Рассмотрим параметры блока:

- Output buffer size. Как было сказано выше на выход буфера поступает 6698 СИМВОЛОВ.

- Buffer Overlap. Необходимо, чтобы информация, которая выходит не повторялась. Следовательно, значение этого поля будет ноль.

- Initial Conditions. Значение будет нулевым, так как необходимо, чтобы что-то передалось пока буфер наполняется.

2.3.4 Генерация OFDM-символов. На рисунке 27 изображена схема для генерации OFDM-символов.

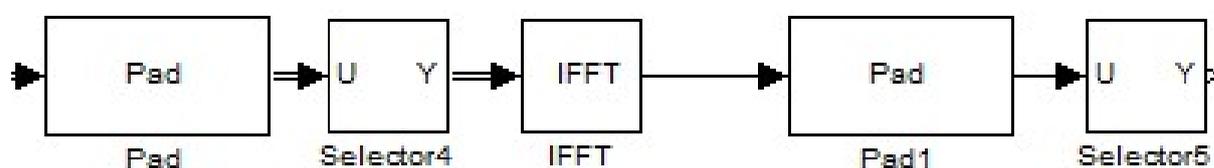


Рисунок 27 - схема для генерации OFDM-символов

2.3.4.1 Блок «Pad». Перед началом процесса OFDM-модуляции имеем сигнал с 6817 несущими. Для того, чтобы была возможность применить преобразование Фурье число несущих должно быть равно степени двойки. Таким образом, целью данного блока является добавление информации (в нашем случае, мы заинтересованы в том, чтобы добавить нули) к входному сигналу для достижения желаемого размера. Окно с параметрами блока «Pad» представлено на рисунке 28.

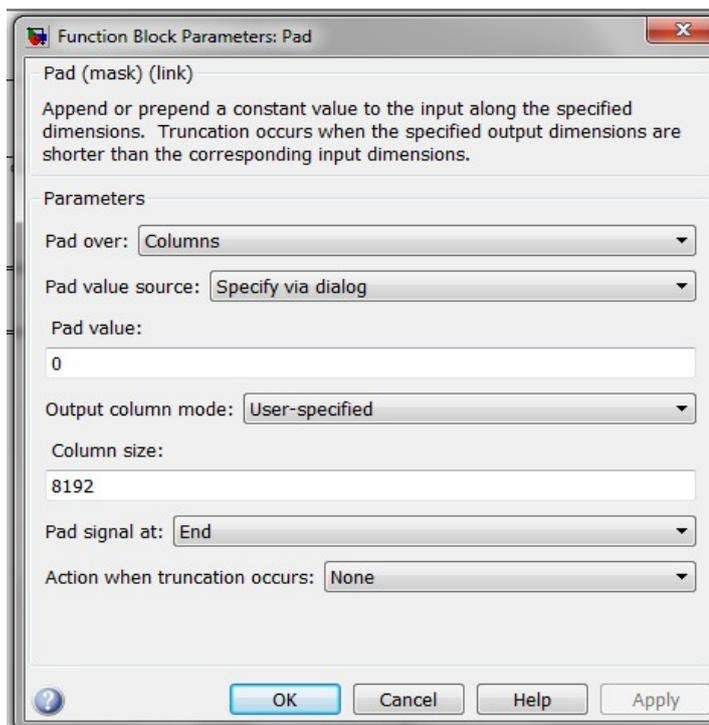


Рисунок 28 - Окно с параметрами блока «Pad»

Рассмотрим параметры данного блока:

- Pad over – так как мы работаем со столбцами, то выбираем значение поля columns.
- Pad value source – выбираем опцию Specify via dialog.
- Pad Value – устанавливаем значение 0, так как необходимо, чтобы добавились нули.
- Output column mode – выбираем опцию User-specified.
- Column size - Этот параметр отображается, только если в поле выше отметить второй вариант. С помощью этого параметра указывается длина сигнала, которую необходимо получить на выходе. Например, для режима 8k устанавливаем значение равное 8192.
- Pad signal at – данный параметр указывает на место в пределах кадра, куда необходимо добавить нули. Выбираем вариант End.
- Action when truncation occurs – выбираем опцию none.

2.3.4.3 Блок «Selector4». В предыдущем блоке было осуществлено добавление нулей в конец кадра. Однако, необходимо перенести нули в середину кадра и тогда после преобразования Фурье получим сигнал в основной полосе частот. Параметры данного блока были рассмотрены ранее. На данном этапе в блок задается вектор следующего вида: [1:3408 6818:8192 3409:6817].

2.3.4.4 Дискретное преобразование Фурье. Блок IFFT выполняет обратное дискретное преобразование Фурье. Необходимо преобразовать сигнал из частотной области во временную. Таким образом, сигнал может быть передан через любой канал. Параметры, используемые для данного блока установлены по умолчанию.

2.3.4.5 Вставка защитного интервала. Защитный интервал или циклический префикс является копией последней части символа OFDM, которая добавляется к символу OFDM.

Вставку защитного интервала осуществляют блоки «Pad1» и «Selector5». Параметры обоих блоков были рассмотрены ранее.

В блоке Pad будет добавляться необходимое количество нулей к входному сигналу. Таким образом, например, если защитный интервал 256Т получим  $8192+256=8448$ .

Блок Selector будет изменять вектор, имеющийся на входе. Так как защитный интервал нужно вставлять перед началом символа, то вектор на выходе будет иметь следующий вид: [8193:8448 1:8192].

## 2.4 Проверка адекватности имитационной модели стандарта DVB-T2

Блок Align Signals (рисунок 29) позволяет выровнять два сигнала, то есть найти задержку между ними.

На рисунке 30 представлена модель измерения необходимой задержки в схеме. Для измерения задержки использовались блок Align Signals и два блока Display для визуального контроля.

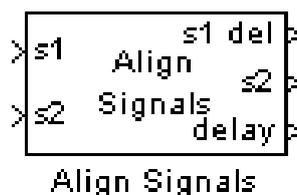


Рисунок 29 - Блок измерения задержки

Этот блок полезен, когда нужно сравнить переданный и принятый сигнал, чтобы определить частоту ошибок в битах, но не известна задержка принимаемого сигнала.

Вход S1 получает исходный сигнал, в то время как вход S2 получает версию сигнала с задержкой. Два входных сигнала должны иметь одинаковые размеры и времена выборки. Блок рассчитывает задержку между двумя сигналами, а затем задержанных первый сигнал, s1, выводит через порт меткой s1 del. Второй сигнал S2 без изменения выводится через порт s2.

Измерение задержки производится без канала, таким образом если задержка подобрана правильно, то данные на входе и выходе системы должны совпадать.

При изменении в схеме скорости кодирования задержка принимаемого сигнала тоже изменяется и ее нужно высчитывать заново. В таблице 14 представлены значения задержки для каждой кодовой скорости.

Таблица 14 - Значения задержки

| Скорость кодирования | Задержка |
|----------------------|----------|
| 1/2                  | 64800    |
| 3/5                  | 77760    |
| 2/3                  | 86400    |
| 3/4                  | 97200    |
| 4/5                  | 103680   |
| 5/6                  | 108000   |

