

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»



А.Г. Жуковский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЭФИРНОГО
ЦИФРОВОГО ТЕЛERAДИОВЕЩАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ
DVB-T/T2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРИЕМНИКОВ

*Методические указания
по выполнению лабораторной работы*

Ростов-на-Дону
2019

УДК 621.397.2.037

ББК 76.03

Ж 86

Жуковский А.Г. Технология цифрового телерадиовещания. Исследование параметров сигналов эфирного цифрового телерадиовещания по технологии DVB-T/T2 с использованием измерительных приемников. *Методические указания по выполнению лабораторной работы.* СКФ МТУСИ, 2019. – 64 с.

В методических указаниях, предназначенных для студентов, изучающих дисциплину «Технологии цифрового телерадиовещания», изложены краткие теоретические сведения об особенностях функционирования сетей цифрового телевизионного вещания по технологии DVB-T2. Приводятся сведения о структуре цифрового телевизионного сигнала. Рассмотрены особенности работы цифровых телевизионных измерительных приемников. Показаны методы измерений радиочастотного сигнала и анализа принимаемого цифрового телевизионного мультимедиа потока.

Изложен порядок проведения исследований, содержание требования к отчету, приведен перечень контрольных вопросов для получения зачета по лабораторному исследованию.

Лабораторный комплекс позволит студентам старших курсов, обучающихся по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» более глубоко изучить дисциплину «Технологии цифрового телерадиовещания», а так же получить практические навыки в работе с измерительным оборудованием.

Пособие также будет интересно широкому кругу студентов технических специальностей и инженерам, интересующимся принципами цифрового телевизионного вещания.

Рецензент: зав. кафедрой «ИТСС» СКФ МТУСИ к.т.н. доц. В.И. Юхнов

© Жуковский А.Г., СКФ МТУСИ. 2019

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «26» августа 2019 г., № 1.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Краткие теоретические сведения	5
1.1 Особенности функционирования сетей цифрового телевизионного вещания по технологии DVB-T2	5
1.2 Особенности применения одночастотных сетей в цифровом телевидении	18
1.3 Состав и структура сервисных таблиц транспортного потока	21
2 Состав оборудования аппаратно-программного лабораторного комплекса по исследованию параметров сигналов цифрового телерадиовещания по технологии DVB-T/T2	29
2.1 Измерительный приемник DVB-T/T2 ReFeree II 551131	29
2.2 Специализированное инструментальное средство компании ENENSYS DiviSuite 1.3 для анализа параметров сигналов в диапазоне от радиочастотных сигналов до видеосигналов цифрового телевидения	30
2.3 Измерительный приемник DVB AT78USB	34
2.4 Специализированное ПО DvsStation3 для измерительного оборудования DVB компании Alitronika	36
2.5 Программный анализатор транспортного потока TSReaderLite для совместной работы с измерительным оборудованием DVB	38
2.6 Структура и состав лабораторного комплекса	39
3 Методика проведения лабораторного исследования параметров сигналов эфирного цифрового телерадиовещания по технологии DVB-T/T2 с использованием профессиональных измерительных приемников	41
3.1 Цель лабораторного исследования	41

3.2 Порядок подготовки к лабораторному исследованию	41
3.3 Порядок проведения лабораторного исследования	42
3.4 Задание на выполнение лабораторной работы	60
3.5 Содержание отчета и контрольные вопросы для защиты	61
Список используемых источников	63

1 Краткие теоретические сведения

1.1 Особенности функционирования сетей цифрового телевизионного вещания по технологии DVB-T2

Технология цифрового телевизионного вещания DVB-T2 - это стандарт второго поколения. Стандарт DVB-T, относящийся к технологии цифрового телевизионного вещания подразумевает трансляцию кодированного цифрового ТВ-сигнала (в формате кодирования MPEG-2, а впоследствии - в более совершенном формате, например, MPEG-4). Для передачи цифровой сигнал кодируется и преобразуется в OFDM-сигнал. OFDM - это технология модуляции посредством ортогональных несущих, т.е. модулируются множество (в DVB-T - порядка 8 тыс.) несущих, расположенных в заданной полосе с фиксированным шагом по частоте. Скорость модуляции отдельной несущей при этом достаточно мала, что позволяет использовать эффективное помехоустойчивое кодирование и принимать меры для борьбы с межсимвольной интерференцией (вводить специальные защитные интервалы в каждый OFDM-символ). Это актуально при вещании в условиях сложного рельефа и городской застройки, когда происходит переотражение и многолучевое распространение сигнала, возникают зоны замирания и т.п. Сама OFDM-модуляция реализуется посредством алгоритма обратного быстрого преобразования Фурье (на передающей стороне) в цифровой форме. Основные параметры OFDM-сигнала - отношение длительности защитного интервала к общей длительности символа, число номинальных поднесущих, тип модуляции поднесущей (информационная емкость одного модуляционного символа, в нашем случае зависящая от числа возможных положений значений амплитуды и фазы сигнала) [1].

Стандарт DVB-T2 призван как минимум на 30% улучшить емкость сетей ЦТВ по сравнению с DVB-T, при той же инфраструктуре сети и частотных

ресурсах. Однако на практике выигрыш оказывается не ниже 50%. DVB-T2 принципиально отличается как архитектурой системного уровня (MAC-уровня - Media Access Control), так и особенностями физического уровня.

На системном уровне принципиальное отличие нового стандарта - это концепция магистральных потоков физического уровня (Physical Layer Pipe - PLP). Если стандарт DVB-T был предназначен исключительно для передачи пакетов MPEG-2, то сеть DVB-T2 способна транслировать самые разные по природе и структуре информационные потоки. Система DVB-T2 способна передавать несколько независимых мультимедийных потоков, каждый со своей схемой модуляции, скоростью кодирования и временными интервалами, как показано на рисунке 1.1 [2].



Рисунок 1.1 – Использование режима Multiple Physical Layer Pipes

Возникает относительно сложная кадровая структура, как на логическом, так и на физическом уровне - ничего подобного в DVB-T не было. Соответственно, в системе DVB-T2 появляется новая функция - предварительная обработка входных потоков, структура которой приведена на рисунке 1.2 [1].



Рисунок 1.2 - Обобщенная схема обработки передаваемых сигналов в системе DVB-T2

В целом, общая схема обработки сигналов в системе DVB-T2

существенно усложняется. На рисунке 1.3 приведена упрощенная схема обработки информации (передающая сторона) в системе DVB-T2, которая подтверждает техническую сложность реализации алгоритмов обработки сигналов по технологии DVB-T2 [1].

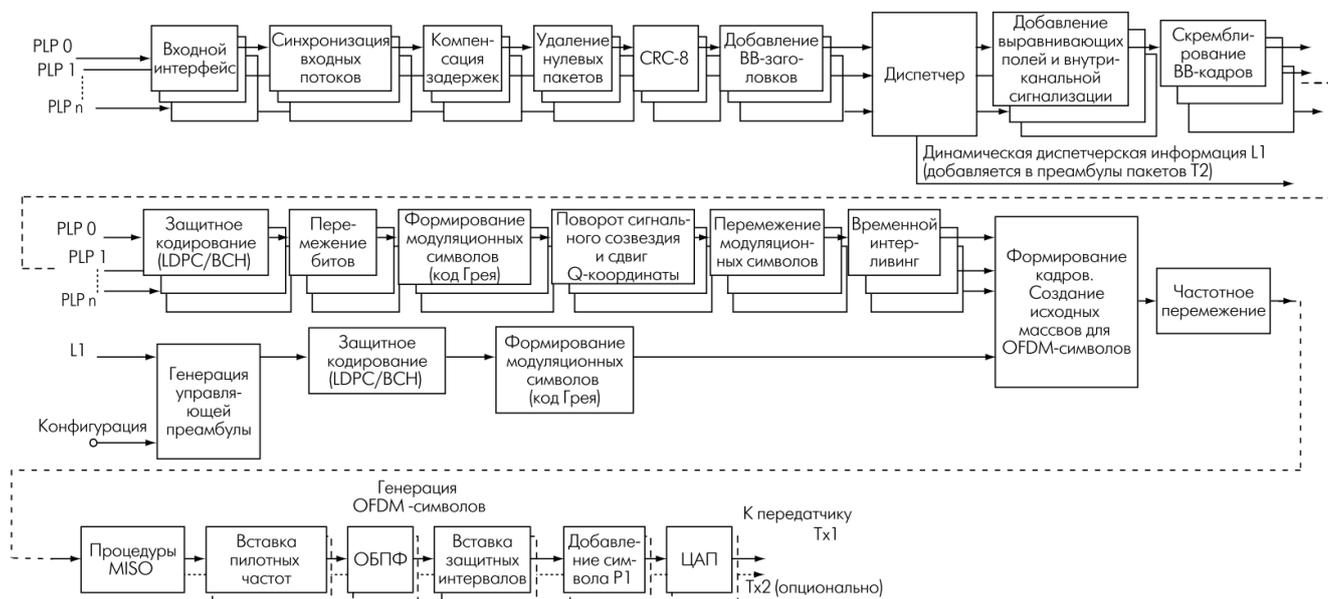


Рисунок 1.3 - упрощенная схема обработки информации (передающая сторона) в системе DVB-T2

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 байт - всегда синхробайт со значением 4716). 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 максимальной возможной длины 64 Кбит.

Пакеты каждого магистрального потока объединяются в потоковые (Baseband) кадры (ВВ-кадры) - отдельно для каждого потока, как показано на рисунке 1.4 [1]. ВВ-кадр содержит ВВ-заголовок (80 бит), поле данных и поле выравнивания. В последнем можно передавать данные внутриканальной сигнализации.

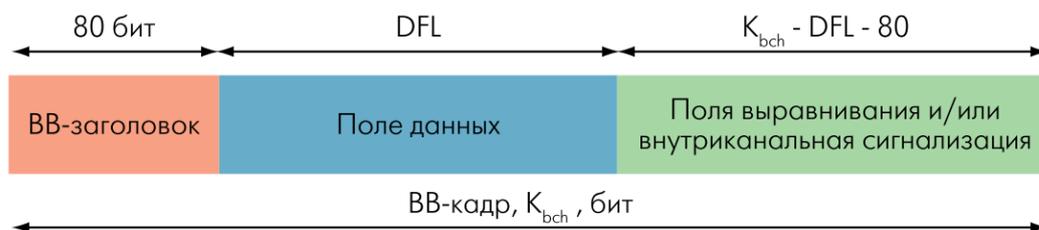


Рисунок 1.4 – Структура потоковых кадров в стандарте DVB-T2

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).

Стандарт DVB-T2 ориентирован на передачу телевизионных потоков, в которых 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.

Сформированный ВВ-кадр скремблируется (рандомизируется путем перемножения на псевдослучайную последовательность) и подвергается корректирующему кодированию. Механизм защитного кодирования - еще одна принципиальная особенность стандарта DVB-T2. В качестве корректирующего кода используется каскадный код. В качестве внешнего кода в нем применен

блоковый кодер Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ, BCH). В качестве внутреннего - низкоплотный код с проверкой на четность (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. Параметры помехоустойчивого кодирования для стандартного кодового слова при различной скорости кодирования представлены в таблице 1.1, а структура кодового слова после обработки ВВ-кадра на рисунке 1.5 [1].

Таблица 1.1 - Параметры помехоустойчивого кодирования для стандартного кодового слова

Скорость LDPC-кодирования	Исходный блок данных (перед БЧХ), K_{bch}	Кодовое слово БЧХ (перед LDPC), K_{ldpc}	Число исправляемых БЧХ-кодом ошибок	Кодовое слово LDPC, N_{ldpc}
1/2	32 208	32 400	12	64 800
3/5	38 688	38 880	12	
2/3	43 040	43 200	10	
3/4	48 408	48 600	12	
4/5	51 648	51 840	12	
5/6	53 840	54 000	10	

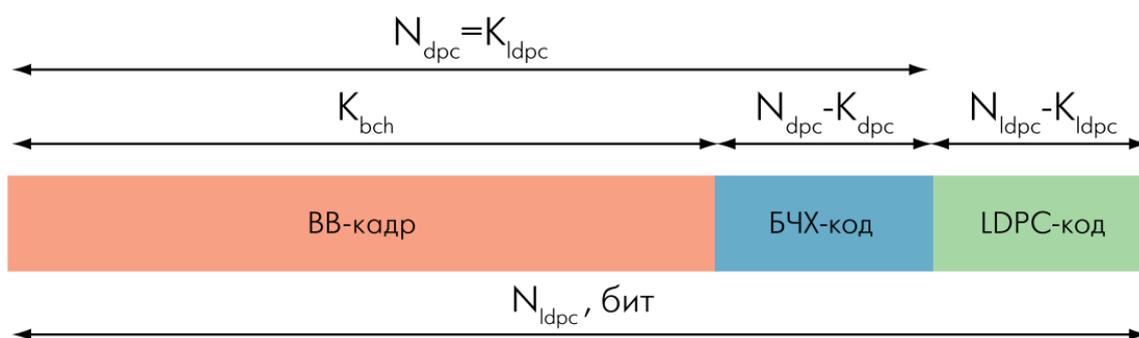


Рисунок 1.5 - Структура кодового слова после обработки ВВ-кадра

Перед модуляцией (кроме BPSK и QPSK) кодовые слова подвергаются

побитному перемежению и распределяются по модуляционным символам (см. рисунок 1.3).

В DVB-T2 добавлена модуляция 256-QAM (8 бит на символ), что повышает емкость канала передачи на 33% (относительно схемы 64-QAM в DVB-T). Обычно переход от 64-QAM к 256-QAM требует увеличения соотношения сигнал/шум на поднесущей на 4-5 дБ. Однако благодаря применению корректирующих кодов BCH-LDPC, эффективность которых гораздо выше традиционных кодов исправления ошибок (в т.ч. Рида-Соломона), в DVB-T2 скорость кодирования может быть намного выше и общая пропускная способность канала существенно возрастает.

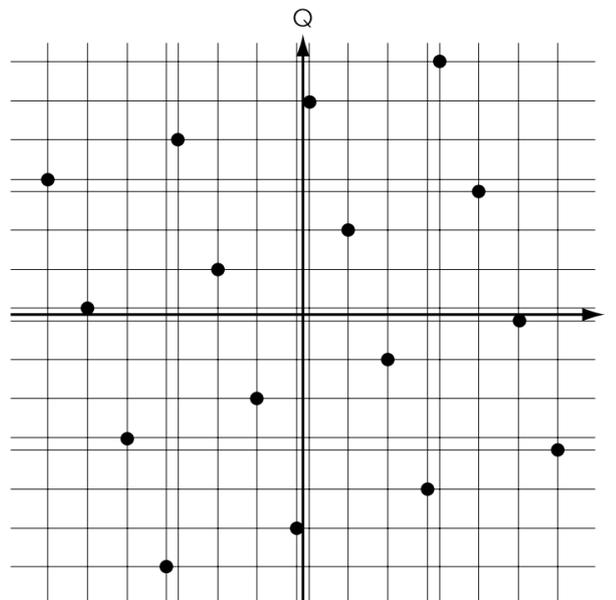


Рисунок 1.6 - Сигнальное созвездие 16-QAM после поворота

Еще одно новшество DVB-T2 - введение схемы модуляции с «вращающимся» сигнальным созвездием, как показано на рисунке 1.6. Эта процедура означает, что сформированный модуляционный символ поворачивается в комплексной плоскости на определенный угол, зависящий от числа уровней модуляции (29° для QPSK, $16,8^\circ$ - для 16-QAM, $8,6^\circ$ для 64-QAM и $\arctg(1/16)$ для 256-QAM). Более того, перед началом вращения квадратурная (Q) координата каждого модуляционного символа циклически сдвигается в

рамках одного кодового слова (т.е. берется из предыдущего символа этого слова, Q-компонента первого символа становится равной Q-компоненте последнего).

В чем суть поворота сигнального созвездия? В квадратурных каналах передаются проекции точки сигнала на соответствующие оси (синфазную и квадратурную). При обычном сигнальном созвездии несколько точек расположены на нескольких общих ортогональных линиях, и их проекции совпадают. После поворота сигнального созвездия (см. рисунок 1.6) у каждой точки - уникальные Q- и I-координаты. Некоторые из координат оказываются достаточно близко друг к другу, но по одной координате точки всегда можно восстановить другую ее координату. А механизм сдвига Q-координаты приводит к тому, что исходные координаты сигнальной точки оказываются в разных модуляционных символах (т.е. заведомо на разных поднесущих), что существенно снижает вероятность их одновременной деградации как из-за случайных импульсных помех, так и по причине селективных затуханий в канале. Применение такой техники обеспечивает операционное усиление 7,6 дБ.

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. Но если в DVB-T эта процедура была абсолютно прозрачной, то в DVB-T2, из-за возможности транслировать несколько мультимедийных потоков, необходимо сформировать достаточно сложную кадровую структуру.

Кадр физического уровня DVB-T2 (T2-кадр) начинается с преамбулы P1. Это OFDM-символ с модуляцией DBPSK, двумя защитными интервалами с двух сторон (в сумме $1/2$ длительности символа). Он служит для синхронизации, идентификации потока DVB-T2, а также содержит 7

информационных бит с начальной информацией о T2-кадре, а именно число номинальных поднесущих в OFDM (1К - 32К) и формат передачи следующей за P1 преамбулы P2 (режимы MISO или SISO). Вся остальная информация о T2-кадре (длина, модуляция, скорость кодирования и т.п.) передается в преамбуле P2, которая может занимать несколько OFDM-символов. Далее следует поле данных (информационные OFDM-символы). Замыкает T2-кадр специальный завершающий OFDM-символ. В зависимости от параметров OFDM, в T2-кадре может быть от 60 до 2098 OFDM-символов при полосе передачи 8 МГц. Максимальная длительность T2-кадра - 250 мс. Структура кадров в DVB-T2 представлена на рисунке 1.7 [1].

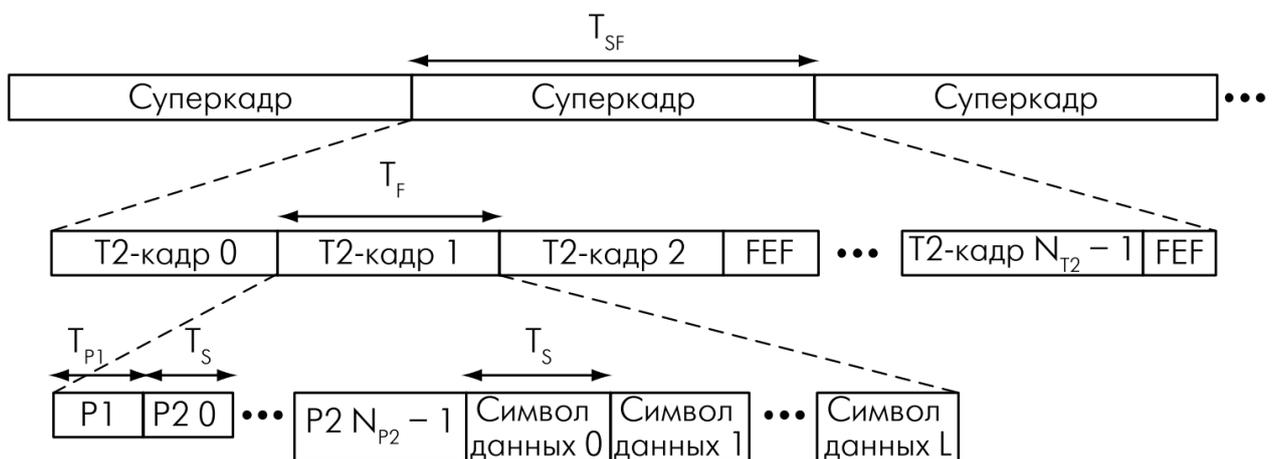


Рисунок 1.7 - Структура кадров в системе DVB-T2

T2-кадры объединены в суперкадр. Помимо T2-кадров в суперкадр входят поля, зарезервированные для дальнейшего использования (FEF - Future Extension Frames). Они могут чередоваться в произвольном порядке. Максимальная длительность суперкадра - 128 с. Если в суперкадре нет FEF, его максимальная длительность $T_{SF}=64$ с, что соответствует 256 T2-кадрам по 250 мс.

Таблица 1.2 - Максимальная длина T2-кадра (OFDM-символов) в полосе 8 МГц в зависимости от различных модуляционных параметров

Номинальное число поднесущих	Длительность символа, мс	Защитный интервал						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32К	3,584	68	66	64	64	60	60	-
16К	1,792	138	135	131	129	123	121	111
8К	0,896	276	270	262	259	247	242	223
4К	0,448	-	540	524	-	495	-	446
2К	0,224	-	1081	1049	-	991	-	892
1К	0,112	-	-	2098	-	1982	-	1784

Максимальная длина T2-кадра (OFDM-символов) в полосе 8 МГц в зависимости от различных модуляционных параметров показана в таблице 1.2 [1].

Распределением потоков по кадрам занимается специальный диспетчер еще на стадии формирования ВВ-кадров. Уже тогда, задолго до формирования OFDM-символов, создается сигнальная информация. Стандарт DVB-T2 чрезвычайно гибок с точки зрения мультиплексирования множества потоков в единый трансляционный сигнал. Видимо, разработчики хотели предусмотреть не только все, что они только могли вообразить, но и то, что они даже представить пока не могли. Поэтому не будем удивляться столь многообразному и, казалось бы, избыточному набору возможностей.

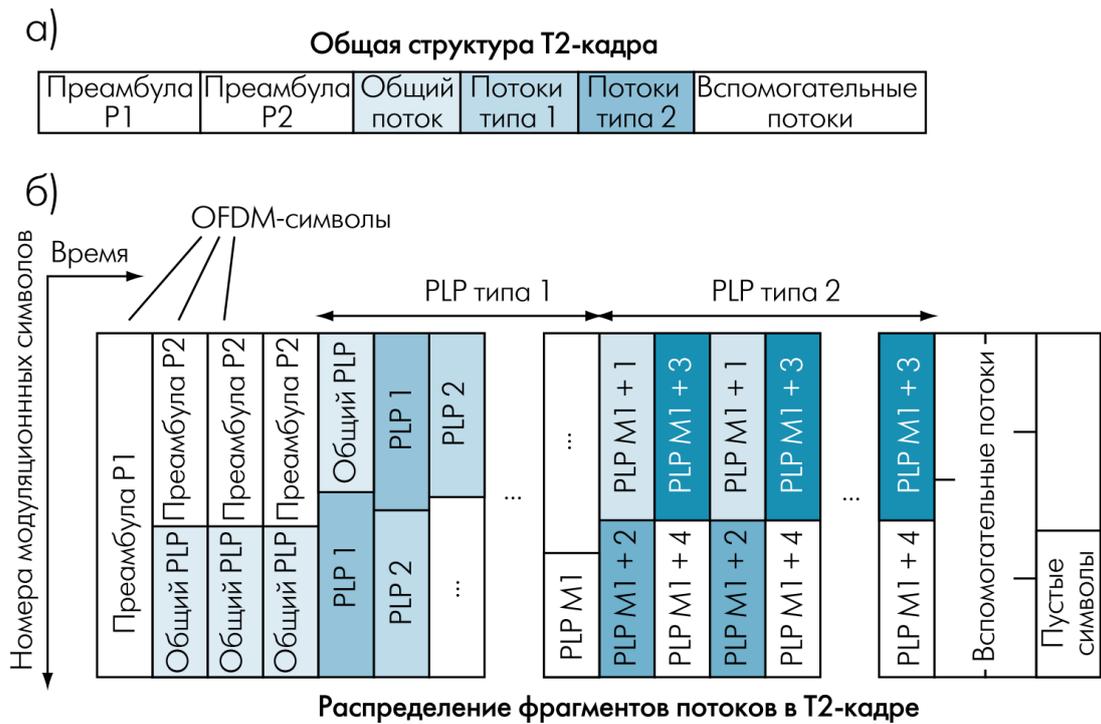


Рисунок 1.8 - Общая структура T2-кадра (а) и распределение фрагментов потоков в T2-кадре (б)

Формирование OFDM-кадров неразрывно связано с распределением фрагментов различных магистральных потоков как внутри T2-кадра, так и в рамках суперкадра. С этой точки зрения стандарт выделяет три типа потоков PLP - общий, а также потоки данных типа 1 и 2. Общий PLP - это информация, общая для группы из нескольких PLP (например, таблицы программ и сервисов PSI/SI для нескольких транспортных потоков). Потоки PLP типа 1 в T2-кадре не подразделяются на фрагменты - иными словами, в каждом T2-кадре может быть только один фрагмент каждого PLP типа 1. Наконец, потоки типа 2 могут в пределах T2-кадра разделяться на несколько фрагментов (от 2 до 6480), следующих в кадре попеременно, как показано на рисунке 1.8 [4].

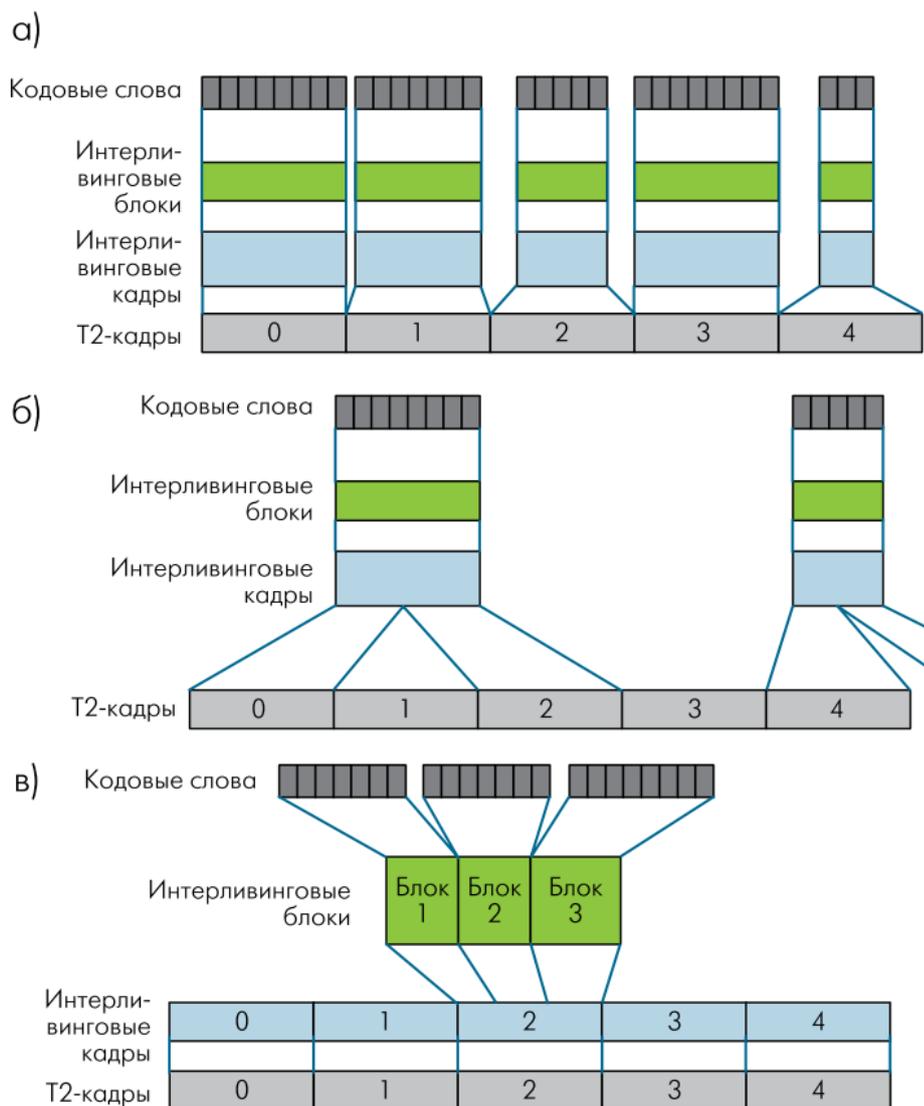


Рисунок 1.9 - Распределение интерливинговых блоков и кадров различных PLP по T2-кадрам: а – один в один, б – несколько интерливинговых кадров в один T2-кадр (последовательность с пропуском одного кадра), в – три интерливинговых блока в один интерливинговый кадр

Потоки могут отображаться на T2-кадры по определенным правилам. Например, поток N передается в группах по три смежных T2-кадра, следующих через интервал в один кадр. Более того, перед распределением по T2-кадрам в рамках каждого PLP возможно временное перемежение. Для этого кодовые слова потока PLP после формирования модуляционных символов и их перестановки группируются в т.н. интерливинговые кадры, содержащие динамически изменяющееся целое число кодовых слов. Интерливинговый кадр состоит из одного или нескольких интерливинговых блоков, как показано на

рисунке 1.9. Перемежение символов происходит в пределах всего интерливингового блока. Процедура разбиения на интегрливинговые блоки и кадры выполняется на уровне магистральных потоков, с учетом их специфики. Интерливинговые кадры отображаются на кадры физического уровня (Т2-кадры) - один в один или один интерливинговый кадр в несколько Т2-кадров (см. рисунок 1.9). Отметим, что плюс ко всем перечисленным видам перемежения - на уровне бит в кодовых словах, модуляционных символов, временного интерливинга, - используется еще и частотный интерливинг, т.е. перестановка поднесущих в пределах OFDM-символа.

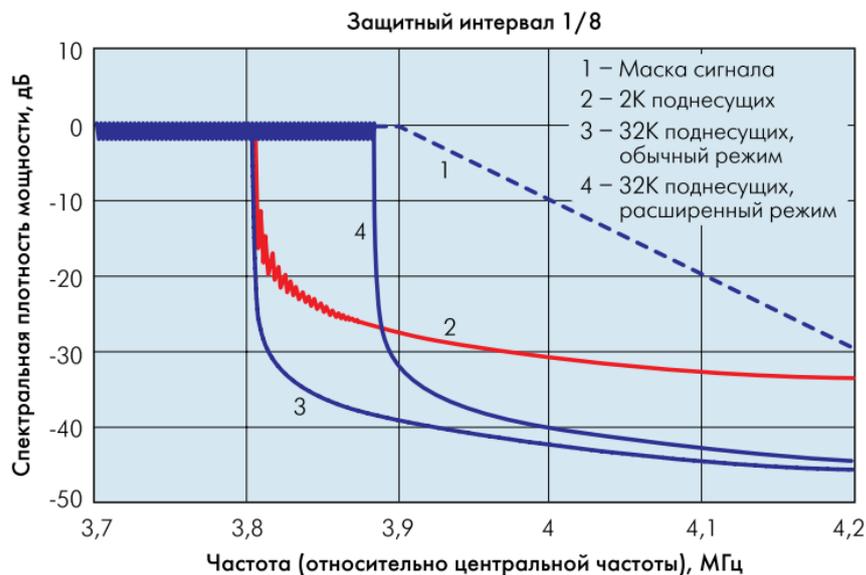


Рисунок 1.10 - Спектральная характеристика сигналов DVB-T2 при различном числе номинальных поднесущих и маска сигнала. Показано расширение спектра сигнала при 32к номинальных поднесущих в пределах маски

В стандарте DVB-T2 изменения коснулись и структуры OFDM-символов. Увеличено возможное число номинальных поднесущих - помимо 8К (8x1024) добавлены режимы 16К и 32К поднесущих (а также 1К и 4К). Поскольку с увеличением числа поднесущих для OFDM-сигналов спектральная характеристика становится более крутой, как показано на рисунке 1.10, можно расширить используемый частотный диапазон, не выходя за границы

разрешенной спектральной маски. Это позволяет использовать в OFDM-символе больше поднесущих для передачи данных. Такой режим допустимо использовать при 8К, 16К и 32К поднесущих. Эффект от расширенного режима составляет от 1,4% (8К) до 2,1% (32К).

Чем больше номинальных поднесущих, тем длительнее может быть OFDM-символ. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить защитный интервал до 1/128 (против 1/32 в DVB-T). Использование такого защитного интервала при 32К номинальных поднесущих эквивалентно защитному интервалу 1/32 при 8К поднесущих. Однако пропускная способность при этом возрастает весьма существенно. Всего в DVB-T2 разрешено использовать семь относительных длин защитных интервалов - 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128 и 1/4.

В DVB-T2 возможно и более гибкое распределение пилотных поднесущих. Вместо одной фиксированной схемы распределения пилотных частот в DVB-T, в DVB-T2 предусмотрено восемь различных схем их распределения. Выбор варианта зависит от числа номинальных поднесущих и размера защитного интервала. В результате если в DVB-T распределенные пилотные поднесущие составляли 8% всех поднесущих, то в DVB-T2 этот показатель может составлять также 1, 2 и 4%.

Еще одна принципиально новая возможность - передача в режиме MISO с использованием схемы Аламоути, т.е. приемник обрабатывает сигнал от двух передающих антенн. Вводятся и дополнительные частотные полосы - 10 МГц и 1,712 МГц (последняя - для мобильных сервисов).

В целом, все эти нововведения позволяют создать очень гибкую и в то же время чрезвычайно эффективную систему трансляции мультимедийных потоков. При этом максимальная скорость входного транспортного потока после предобработки (например, удаления нулевых пакетов) может превосходить 50 Мбит/с.

В сочетании с новыми видами кодирования видеосигнала (такими как MPEG-4) эта технология является существенным шагом вперед. И что важно с

точки зрения сетей широкополосного доступа, стандарт DVB-T2 - это уже не «просто» система транспорта пакетов цифрового видеоконтента. Это - мощный инструмент мультимедийного вещания, в который изначально заложены огромные возможности по расширению функциональности. Конечно, в силу своей однонаправленности он не может рассматриваться как конкурент традиционным сетевым технологиям, но свое место в наступающую эпоху технологий широкополосной беспроводной связи четвертого поколения (4G) он, безусловно, займет.

1.2 Особенности применения одночастотных сетей в цифровом телевидении

SFN (Single Frequency Network) — одночастотная сеть передающих станций, в которой вещание осуществляется на одном частотном ТВ канале. Одночастотные сети являются наиболее оптимальным способом организации эфирного цифрового телевизионного вещания вследствие экономии радиочастотного спектра. В одночастотных сетях все передающие станции передают одинаковый сигнал на одной частоте в одно и то же время, что достигается за счет точной синхронизации всех передатчиков [3].

На некоторой территории могут работать несколько передатчиков, использующих один и тот же частотный канал, при этом абсолютно не мешая друг другу. И наоборот, в некоторой области могут располагаться приемники, которые оказываются в зоне приема сигналов от двух, трех и более передатчиков, при этом результирующий сигнал от них может быть успешно принят и декодирован. Это важное свойство SFN достигается только при выполнении некоторых технологических условий, суть которых заключается в обеспечении синхронного вещания передатчиков.

Для точной синхронизации всех передатчиков в действующем международном стандарте DVB-T 2 предлагается использовать сигналы

точного времени и эталонной частоты, получаемые от глобальной навигационной спутниковой системы, такой как GPS. Сигнал, излучаемый спутниками GPS, может быть получен почти всюду в мире и содержит очень точную информацию времени. Точность/стабильность частоты при этом будет иметь величину порядка $\pm 0,5$ Гц.

Упрощенная структура одночастотной сети показана на рисунке 1.11 [2].

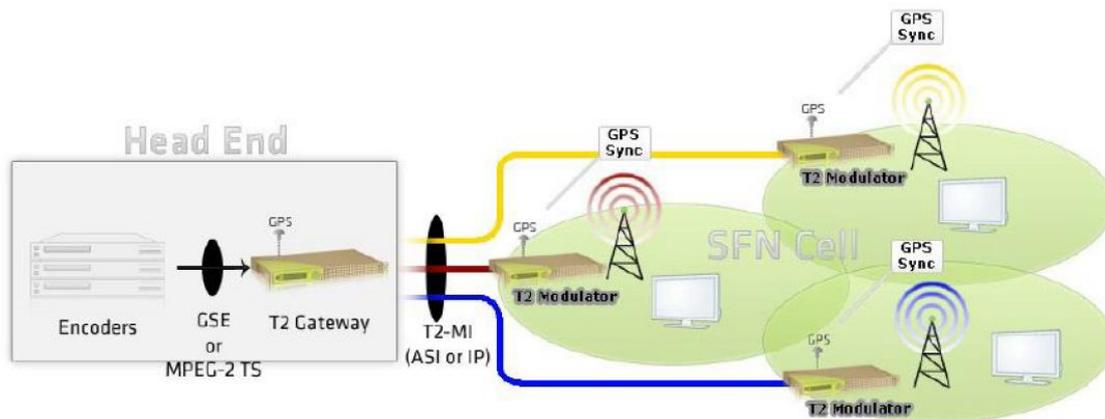


Рисунок 1.11 - Структура одночастотной сети DVB-T2

Основными сетевыми элементами DVB-T2 одночастотной сети являются шлюз и модуляторы. Шлюз T2 служит для инкапсуляции входящего транспортного потока MPEG-2 в кадры основной полосы частот (BB — BaseBand), ввода информации о синхронизации для передачи по сети SFN, управления конфигурацией модуляторов, планирования передачи в режиме M-PLP, а также распределения TFS.

Модуляторы T2 получают конфигурацию от шлюза T2, выполняют кодирование каналов, добавляя информацию для прямого исправления ошибок, формируют кадры T2 и модулируют сигнал перед его передачей в эфир. Для передачи сигнала DVB-T2 можно использовать усилитель DVB-T после обновления его модулятора для работы в режиме DVB-T2.

В стандарте DVB-T2 определен новый протокольный интерфейс T2-MI (интерфейс модулятора T2) для взаимодействия между шлюзом T2 и модуляторами. Пакеты T2-MI содержат данные, инкапсулированные в BB-кадры, предоставляют информацию о синхронизации при передаче по сети SFN

и включают всю сигнальную информацию для передачи. Все функции PLP, TFS и SFN планируются от шлюза T2 и описываются в определенных пакетах T2-MI.



Рисунок 1.12 – Преимущества использования одночастотных сетей

Каждый передатчик SFN должен передать тот же самый транспортный поток (TS — цифровой поток данных, содержащий программы) и излучать его синхронно с другими передатчиками. Внутри транспортного потока (при

генерации в мультиплексе) цифровой поток данных разделяют на «мегаструктуры», и в них добавляются данные MIP (пакет инициализации мегаструктуры) для того, чтобы синхронизировать излучение каждого передатчика в сети. Синхронизация достигается благодаря сигналу частотой 1 Гц (1 pps — 1 импульс в секунду), принимаемого приемниками GPS, что позволяет излучать сигналы всех передатчиков синхронно на одной частоте и иметь одинаковые биты данных.

Для одночастотной сети вещания главным достоинством цифровой модуляции COFDM является успешная борьба с эхосигналами, которые могут возникать из-за отражений от окружающих предметов или при работе нескольких передатчиков на одном и том же радиочастотном канале. Ряд других преимуществ при использовании одночастотной сети телевизионного вещания показан на рисунке 1.12 [3].

1.3 Состав и структура сервисных таблиц транспортного потока

Любой транспортный поток DVB содержит в себе служебные сведения (сервисную информацию) структурированную в виде специальных таблиц. Эта информация представлена в ГОСТ Р 55697-2013 [4].

ГОСТ Р 55697 распространяется на данные сервисной информации, входящие в состав транспортных потоков систем DVB первого и второго поколения, он устанавливает:

- методы передачи сервисной информации;
- структуры, используемые для передачи сервисной информации;
- синтаксис структур передачи сервисной информации.

В соответствии с [4] в составе транспортных потоков систем цифрового ТВ вещания DVB различного назначения должны передаваться данные сервисной (служебной) информации SI, описывающие систему доставки,

содержание и расписание вещаемых потоков данных в мультиплексах, доступных пользователю в месте приема.

В состав сервисной информации SI должна входить группа служебных данных программно-зависимой информации в виде 6 таблиц PSI, которые необходимы для демультимплексирования транспортных потоков и успешного восстановления программ в пределах одного мультиплекса:

1. Таблица взаимосвязи программ PAT;
2. Таблица структуры программы PMT;
3. Таблица условного доступа CAT;
4. Таблица описания транспортного потока TSDT;
5. Таблица сетевой информации NIT;
6. Таблица управляющей информации IPMP.

Данные сервисной информации SI должны содержать также дополнительную служебную информацию, которая предоставляет пользователям возможность получения описания услуг (служб) и программных элементов (событий), передаваемых в различных мультиплексах разных сетей. Дополнительные данные SI должны быть организованы в 9 таблиц:

1. Таблица взаимосвязи программных пакетов BAT;
2. Таблица описания услуги SDT;
3. Таблица информации о программных элементах EIT;
4. Таблица времени и даты TDT;
5. Таблица сдвига по времени TOT;
6. Таблица текущего статуса RST;
7. Таблица байтов согласования скоростей ST;
8. Таблица неоднородности информации DIT;
9. Таблица выбираемой информации SIT.

Программно-зависимая информация PSI может содержать как нормативную информацию, так и конфиденциальную информацию, которая позволяет выполнять в декодерах демультимплексирование программ. Один или несколько элементарных потоков, образующих программу, должны быть

идентифицированы своим PID. Для реализации условного доступа программы, элементарные потоки или их части могут быть скремблированы (зашифрованы). Программно-зависимая информация PSI не должна подвергаться скремблированию (шифрованию) [4].

В транспортных потоках программно-зависимая информация PSI должна быть организована в шесть табличных структур, содержащих информацию, необходимую для автоматического конфигурирования приемника, который разделяет и декодирует различные программные потоки, входящие в состав мультиплекса. Хотя эти структуры могут считаться простыми таблицами, они должны быть разделены на одну или несколько секций и введены в пакеты транспортного потока, некоторые с заранее определенными значениями PID, а другие с теми значениями PID, которые выбирает пользователь. Название таблиц программно-зависимой информации PSI, зарезервированные за ними номера идентификаторов PID, а также назначение таблиц приведены в таблице 1.3 [4].

Таблица 1.3 - Название таблиц и зарезервированные за ними номера идентификаторов PID

Название таблицы	Зарезервированный номер PID	Назначение таблицы
Таблица взаимосвязи программ (PAT)	0x00	Связывает номер программы и PID таблицы структуры программы PMT
Таблица структуры программы (PMT)	Присвоен в PAT	Содержит значения PID для компонентов одной или нескольких программ
Таблица условного доступа (CAT)	0x01	Присваивает одному или каждому из нескольких (частных) потоков EMM уникальное значение PID
Таблица описания транспортного потока (TSDT)	0x02	Связывает один или несколько дескрипторов со всем транспортным потоком
Таблица сетевой информации (NIT)	Присвоен в PAT	Является дополнительной. Содержит сведения о физических параметрах доступных сетей (частоты каналов, номера спутниковых транспондеров, характеристики модуляции и т.п.) и сведения о мультиплексах, передаваемых в этих сетях
Таблица управляющей информации IPMP	0x03	Содержит список инструментов IPMP, контейнер прав, контейнер инструментов, определенные в стандарте MPEG-2

Значения идентификатора пакета PID, которые должны использоваться для опознавания пакетов транспортного потока, переносящих секции сервисной информации SI, приведены в таблице 1.4 [4].

Таблица 1.4 - Значения идентификатора пакета PID, которые должны использоваться для опознавания пакетов транспортного потока

Таблица	Значение идентификатора PID
PAT	0x0000
CAT	0x0001
TSDT	0x0002
Зарезервировано	0x0003-0x000F
NIT, ST	0x0010
SDT, BAT, ST	0x0011
EIT, ST, CIT	0x0012
RST, ST	0x0013
TDT, TOT, ST	0x0014
Синхронизация сети	0x0015
RNT	0x0016
Зарезервировано на будущее	0x0017-0x001B
Внутриполосная сигнализация	0x001C
Измерения	0x001D
DIT	0x001E
SIT	0x001F

Кратко рассмотрим назначение служебных таблиц транспортного потока.

1. Таблица взаимосвязи программ PAT должна определять соответствие между меткой `program_number` и значением PID для пакетов транспортного потока. Метка `program_number` - это числовая метка, связанная с программой. Для каждой службы в мультиплексе таблица PAT должна указывать местонахождение соответствующей таблицы PMT (значения PID пакетов транспортного потока). Она также должна указывать местонахождение таблицы сетевой информации NIT.

2. Таблица структуры программы PMT обеспечивает связь между номерами программ и составными элементами программы при помощи идентификаторов программ PID. Таблица структуры программы PMT должна

идентифицировать и указывать местоположение потоков, которые составляют каждую службу и местоположение полей эталонных меток времени программы конкретной службы.

3. Таблица условного доступа CAT должна описывать связь между одной или несколькими системами условного доступа, используемыми в мультиплексе, их потоки EMM и любые конкретные параметры, связанные с ними. Информация таблицы CAT - конфиденциальная (в данном стандарте она не может быть определена) и зависящая от конкретной используемой системы условного доступа, но она должна содержать местоположение потока EMM, когда таковой существует.

4. Таблица описания транспортного потока TSDT является дополнительной. Если она присутствует, то описание транспортного потока должно передаваться в пакетах транспортного потока, которые имеют значение PID=0x0002, и должно применяться ко всему транспортному потоку целиком.

5. Таблица сетевой информации NIT должна отражать информацию, относящуюся к физической организации мультиплексов и транспортных потоков, передаваемых по данной сети, а также характеристики сети. Комбинация идентификаторов исходной сети `original_network_id` и транспортного потока `transport_stream_id` должны позволять идентифицировать каждый транспортный поток единственным образом. Так как сетевые идентификаторы `network_id` служат уникальными кодами опознавания сетей, то за сетями должны быть закреплены их индивидуальные значения.

6. Таблица управляющей информации IPMP должна присутствовать в транспортном потоке, если какой-либо из компонентов транспортного потока использует механизм IPMP.

7. Таблица взаимосвязи программных пакетов BAT должна содержать информацию, относящуюся к группам служб. Под группой служб понимается совокупность служб, элементы которых могут передаваться в различных сетях.

8. Таблица описания услуги SDT должна содержать перечень названий служб, провайдеров услуг и другие параметры, связанные с каждой службой в

мультиплексе стандарта MPEG-2. Данные службы могут быть частью транспортного потока, в котором передается таблица SDT, или входить в состав других транспортных потоков, что определяется посредством значения идентификатора таблицы `table_id`.

9. Таблица информации о программном элементе EIT должна предоставлять в хронологическом порядке сведения, описывающие программные элементы (события), содержащиеся в каждой услуге. Таблица EIT, содержащая информацию о текущем и последующем программных элементах, должна включать в себя только данные о текущем событии и следующем за ним событии, которые передаются рассматриваемой службой в составе данного или другого транспортного потока, за исключением случая службы "почти видео по запросу" (NVOD). В этом случае может передаваться информация о более чем двух событиях. Таблицы расписания событий, относящиеся к данному или другому транспортному потоку, должны содержать список событий в виде расписания, которое включает в себя события за временными границами следующего события. Таблицы EIT не являются обязательными. Данные, касающиеся программных элементов, должны предоставляться в хронологическом порядке.

10. Таблица времени и даты TDT должна использоваться для передачи информации точного времени, включая текущее время и дату. Данные TDT должны передаваться в отдельной таблице из-за частого обновления этой информации. Таблица времени и даты должна содержать информацию о текущем времени и дате только в формате Всемирного координированного времени.

11. Таблица сдвига по времени TOT содержит информацию о времени в формате Всемирного координированного времени и дате, а также значение сдвига (смещения) местного времени от всемирного.

12. Таблица текущего статуса RST должна обеспечивать точное и своевременное обновление статуса одного или нескольких программных элементов, что может быть необходимо в случае, если программный элемент

начинается раньше или позже из-за изменения расписания. Использование данных таблиц должно обеспечивать механизм быстрого обновления данных.

13. Таблица байтов согласования скорости ST должна использоваться с целью отмены действия существующих секций на граничных пунктах системы доставки, например на головной станции кабельной сети.

14. Таблица неоднородности информации DIT должна использоваться только в частичных транспортных потоках. Не допускается передавать таблицу DIT в полных стандартных транспортных потоках MPEG-2, предназначенных для вещания. Таблицу DIT следует вводить в переходных точках транспортного потока, когда сервисная информация SI может иметь временные разрывы или иные неоднородности.

15. Таблица выбираемой информации SIT должна содержать информацию, описывающую услуги и программные элементы, переносимые в частичных транспортных потоках, которые могут быть «прерывающимися», т.е. содержать временные разрывы. Таблица SIT должна включать в себя итоговую подборку всей сервисной информации вещательного транспортного потока. Не допускается передавать таблицу SIT в полных стандартных транспортных потоках MPEG-2, предназначенных для вещания. Если таблица SIT присутствует в потоке данных, этот поток должен идентифицироваться как частичный транспортный поток, полученный от цифрового интерфейса. В этом случае приемник-декодер не должен производить поиск сервисной информации, связанной с вещанием, и должен опираться исключительно на информацию, переносимую в таблице SIT.

Таким образом, в соответствии с [5], минимально необходимый объем данных для декодирования транспортного потока передается в его составе в виде 3 таблиц программно-зависимой информации (информации о программах) PSI: PAT, CAT, PMT.

В дополнение к таблицам PSI, в транспортном потоке передаются обязательные таблицы информации о службах SI: NIT, SDT, EIT, TDT, а также необязательные таблицы информации о службах: BAT, TOT, RST.

На рисунке 1.13 показана полная совокупность таблиц PSI, SI [5].

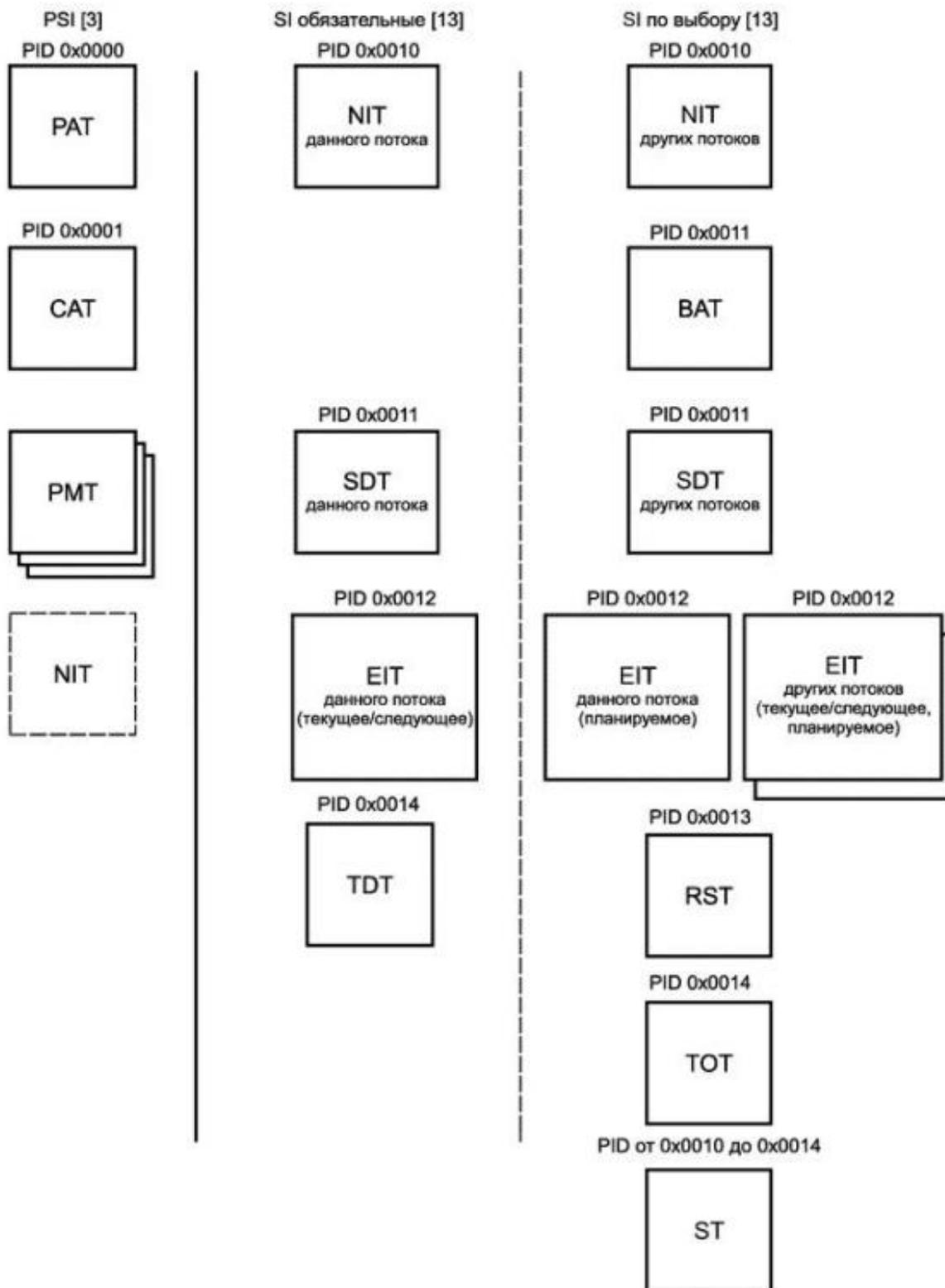


Рисунок 1.13 – Полная совокупность таблиц PSI, SI

2 Состав оборудования аппаратно-программного лабораторного комплекса по исследованию параметров сигналов цифрового телерадиовещания по технологии DVB-T/T2

2.1 Измерительный приемник DVB-T/T2 ReFeree II 551131

DVB-T/T2/C/C2 измерительный приемник ReFeree II 551131 компании Enensys позволяет проводить комплексный анализ сигналов в стандартах DVB-T/T2 и DVB-C/C2. Внешний вид передней и задней панели и назначение элементов на ней представлены на рисунке 2.1 [7].

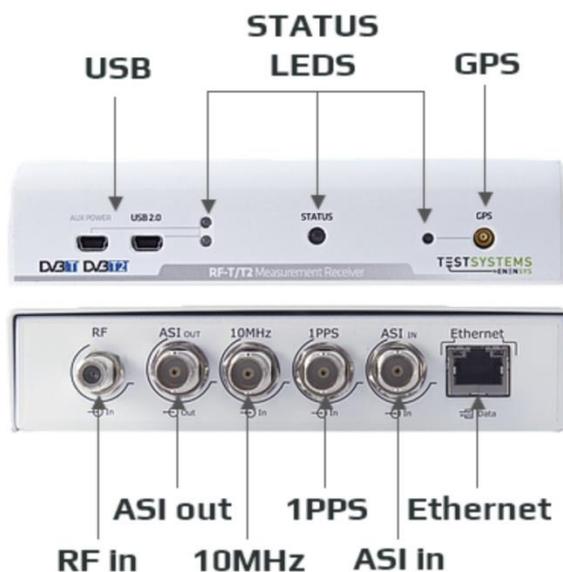


Рисунок 2.1 - Внешний вид передней и задней панели DVB-T/T2/C/C2 измерительного приемника ReFeree II

Основные технические характеристики приемника приведены в таблице 2.1 [7].

Таблица 2.1 - Основные технические характеристики измерительного приемника DVB-T/T2/C/C2 ReFeree II.

Мониторинг качества RF сигнала	<ul style="list-style-type: none"> - Signal Level, SNR, MER, SFN Drift, Channel Impulse Response, Error rates; - Error rates: LDPC и BCH; Viterbi и RS; - Signalling: L1; TPS.
Высокая точность RF измерений	<ul style="list-style-type: none"> - Signal Level: от -85дБм до -5 дБм (с погрешностью, не более 1дБм); - SNR: до 40дБ (с погрешностью, не более 1дБ); - MER: до 40дБ (с погрешностью, не более 1дБ); - Channel Impulse Response: Обнаружение эхо-сигналов от -50дБ с задержкой до 233мкс (с погрешностью, не более: 1дБ и 1мкс).
Измерение SFN Drift	<ul style="list-style-type: none"> - Запатентованная технология измерения SFN Drift на RF уровне; - Нет необходимости в дополнительном блоке T2MI.
Анализ DVB-T/T2 и DVB-C/C2 потоков	<ul style="list-style-type: none"> - DVB-T/T2 и DVB-C/C2 параметры модуляции (TPS, L1 Signalling); - Baseband T2-MI или MPEG2-TS анализ (stream format, SFN synchronization, ...).
Захват/Анализ/Воспроизведение контента	<ul style="list-style-type: none"> - Запись T2-MI или MPEG2-TS потоков (через ASI, IP или RF интерфейсы); - Анализ MPEG2-TS контента (table parsing, ETR 290 pr.1,2&3, bitrate,...); - Отображение видео/аудио контента содержимого PLP.
Создание отчетов & тестирование зон покрытия	<ul style="list-style-type: none"> - Привязка измеряемых параметров к GPS/Glonass данным; - Сохранение отчетов в формате Google Ready (*.kml) и в табличном виде (*.csv).

2.2 Специализированное инструментальное средство компании ENENSYS DiviSuite 1.3 для анализа параметров сигналов в диапазоне от радиочастотных сигналов до видеосигналов цифрового телевидения

Программное обеспечение DiviSuite предоставляет возможность анализа и мониторинга радиочастотных сигналов и видеосигналов и поддерживает стандарты MPEG2-TS, DVB, ATSC и ISDB. Кроме того,

программное обеспечение DiviSuite также поддерживает сбор данных в режиме реального времени, анализ данных в режиме offline и декодирование видеосигналов.

Для принятия анализируемого сигнала приложение DiviSuite должно быть подключено к USB-адаптеру компании ENENSYS. В зависимости от этого устройства поддерживаются различные интерфейсы и стандарты [8]:

- интерфейс RF, ASI, IP, File;
- стандарты DVB-T2, DVB-T, DVB-C, DTMB, ATSC, ISDB.

Программное обеспечение DiviSuite состоит из базового приложения DiviSuite Basic, которое может быть расширено за счет активизации дополнительных программных модулей (далее – плагинов).

Могут использоваться плагины мониторинга радиочастотных сигналов (плагин RFScope), анализа MPEG2-TS (плагин TS Analyzer) и анализа T2-MI (плагин T2-MI Analyzer).

Плагин RF Score реализует функции мониторинга качества радиочастотных сигналов DiviSuite. Этот плагин в режиме реального времени контролирует параметры входящих радиочастотных сигналов [8]:

- состояние демодуляции (блокировка внешнего интерфейса...);
- уровень сигнала, SNR (отношение сигнал/шум), MER (интенсивность ошибок модуляции);
- импульсная характеристика (эхо-сигналы);
- интенсивности битовых ошибок: итерация по алгоритму LDPC и интенсивность битовых ошибок BCH в DVB-T2;
- диаграмма реализуемых состояний сигналов;
- параметры модуляции: сигнализация на уровне L1 в DVB-T2 (параметры модуляции PLP ...).

Плагин TS Analyzer представляет собой инструментальное средство анализа транспортного потока стандарта MPEG2. Плагин TS Analyzer обеспечивает анализ содержимого потока посредством декодирования

таблиц системной информации (SI). В дополнение к функции анализа PID приложения DiviSuite Basic анализ потока может выполняться с помощью таблиц (PAT, PMT, EIT...) и с помощью услуг.

Этот плагин также обеспечивает инструментальные средства анализа для проверки соответствия MPEG2-TS требованиям стандарта ETSI TR 101 290 (иначе ETR 290). Анализ с помощью таблиц поддерживается для MPEG2-TS на основе всех стандартов: необработанный MPEG2-TS (PAT, PMT), DVB, ATSC и ISDB. Также поддерживается декодирование частных таблиц и разделов с помощью конфигурируемых скриптов. Анализ контента также можно упростить путем использования инструментального средства поиска DiviSuite, которое выполняет поиск конкретного шаблона (метка, значение...) в содержимом потока.

Анализ ETR290 выполняется в соответствии с требованиями стандарта ETSI TR 101 290. Поддерживаются уровни 1, 2 и 3. Поддерживаются конфигурируемые аварийные сигналы (активизация и пороговые значения для проверки параметров), которые могут быть зарегистрированы. Также могут выполняться измерения точности PCR, обеспечивающие отображение значений в режиме реального времени, а также графическое отображение хронологических данных и графическое отображение параметров точности PCR. Весь анализ ETR290 может быть выполнен для конкретных PID или услуг.

Плагин T2-MI Analyzer представляет собой инструментальное средство мониторинга интерфейса модулятора DVB-T2. Этот плагин поддерживает потоки T2-MI из одного PLP (канал на физическом уровне) или нескольких PLP. Этот плагин поддерживает мониторинг параметров DVB-T2 в режиме реального времени и демультимплексирование контента PLP. Затем этот контент может быть проанализирован в режиме реального времени с использованием плагина TS Analyzer, может быть выполнено его декодирование и отображение параметров.

Мониторинг T2-MI включает в себя анализ T2-MI, анализ кадров T2

(суперкадр T2, структура кадра T2, кадры ВВ...), декодирование L1 (предварительная и пост-обработка на уровне L1, параметры модуляции PLP...) и анализ временных меток T2-MI.

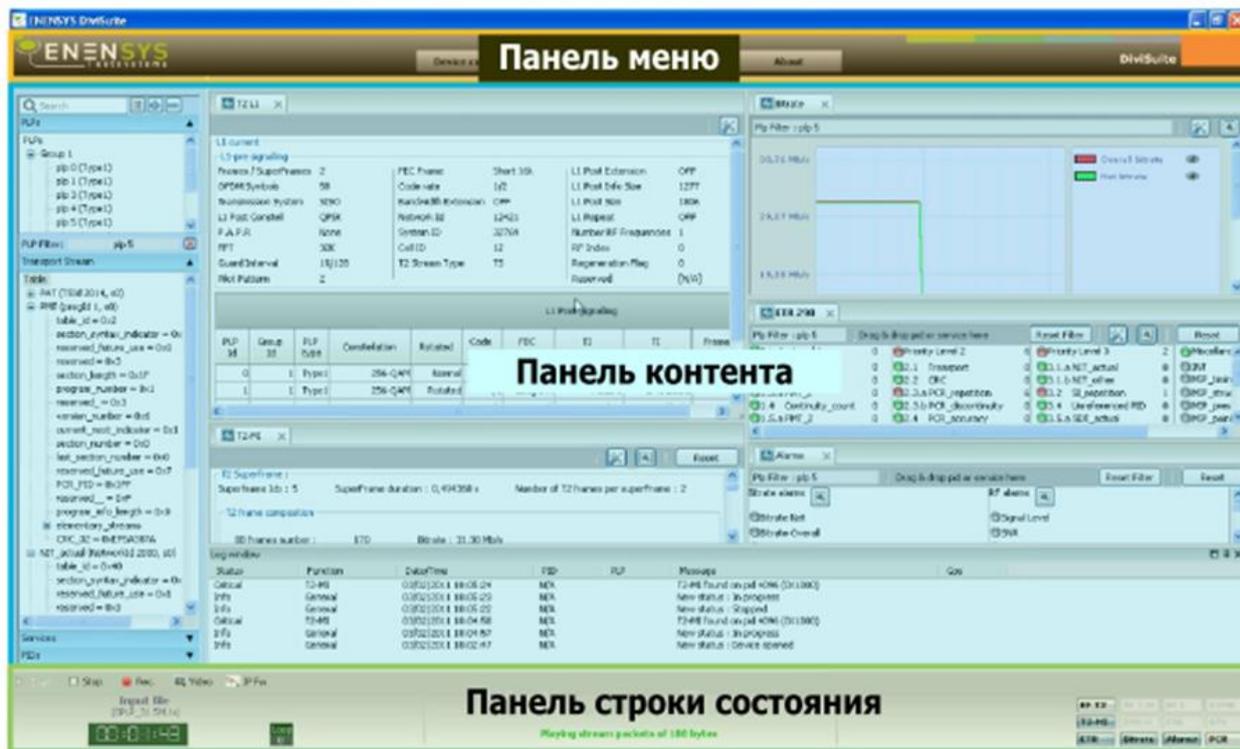


Рисунок 2.2 - Графический интерфейс приложения DiviSuite

Графический интерфейс приложения DiviSuite содержит три основные панели, как показано на рисунке 2.2 [8]:

- панель меню: в этой панели содержатся пункты меню, используемые для выбора контента, отображаемого в панели контента. Эта панель отображается всегда;
- панель контента: вид этой панели может изменяться в зависимости от панели меню. Эта панель обеспечивает доступ к функциям конфигурирования и анализа приложения DiviSuite;
- панель строки состояния: в этой панели указываются элементы управления и состояние функций анализа. Также в этой панели содержатся элементы управления для видов, отображаемых в панели

контента. Эта панель отображается всегда.

Более подробное описание использования приложения в комплексе с подключенными устройствами будет дано ниже при описании порядка выполнения лабораторных исследований.

2.3 Измерительный приемник DVB AT78USB

Измерительный приемник DVB-T/T2/C AT78USB компании Alitronika предназначен для проведения мониторинга и анализа радиосигналов вещательного телевидения, передаваемых в стандартах эфирного и кабельного цифрового телевидения. Внешний вид приемника показан на рисунке 2.3 [9].

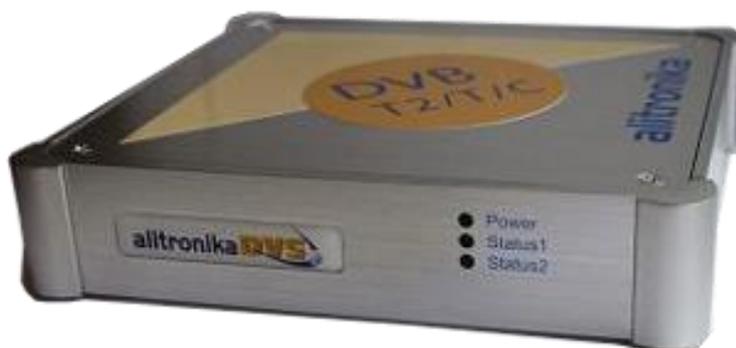


Рисунок 2.3 - Внешний вид измерительного приемника DVB-T/T2/C AT78USB компании Alitronika

Технические характеристики измерительного приемника DVB-T/T2/C AT78USB компании Alitronika приведены в таблице 2.2 [9].

Таблица 2.2 - Технические характеристики измерительного приемника DVB-T/T2/C/C2 AT78USB

Интерфейсы	Комбинированный DVB-T2/T/c ввод и DVB-/ASI/SPI на выходе платы; Высокоскоростной USB 2.0
Поддерживаемые ОС	Windows 2000, XP, с Win7 (64бит) Драйверы и SDK для + драйверы Linux.

Продолжение таблицы 2.2

Прикладное ПО	DVSStation3 Alitronika
Вход	DVB-T2/T/C совместимый модуляция COFDM
Диапазон принимаемых частот	- UHF: 434.0 MHz to 858.0 MHz. - MID: 149.5 MHz to 426.0 MHz. - VHF: 50.5 MHz to 142.5 MHz.
Выходы	Петля RF выхода Стандарт DVB-ASI
Полоса пропускания	5, 6, 7 & 8 МГц
Уровень входного сигнала	- 80 dBm для DVB-T2/T и -15 дБм до +15 дБм для DVB-C
Режимы модуляции:	- DVB-T2: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM - DVB-T: QPSK, 16QAM, 64QAM - DVB-C: QPSK, 16QAM, 64QAM
Защитный интервал	- DVB-T2: 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128 - DVB-T: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 - DVB-C: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4
Выходная Битовая скорость:	от 0 до 214 Мбит/с
Выходная частота DVB-ASI	270 МГц

Структурная схема измерительного приемника DVB-T/T2/C AT78USB компании Alitronika приведена на рисунке 2.4 [9].

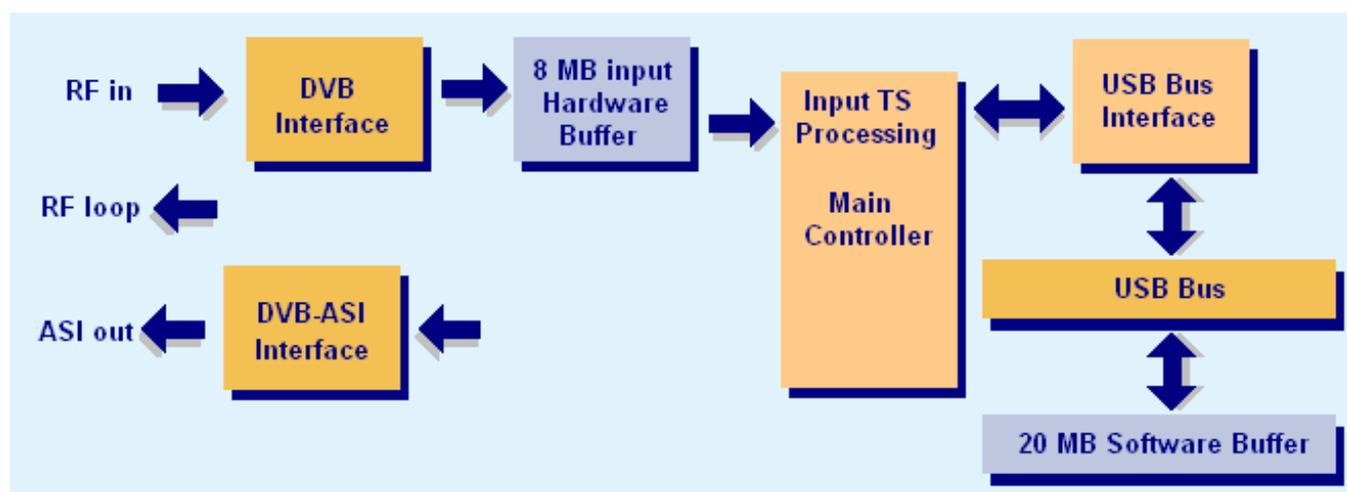


Рисунок 2.4 - Структурная схема приемника DVB-T/T2/C AT78USB

2.4 Специализированное ПО DvsStation3 для измерительного оборудования DVB компании Alitronika

Прикладное программное обеспечение DvsStation3 предназначено для обеспечения поддержки работы оборудования компании Alitronika при подключении его к компьютеру.

Программное обеспечение DvsStation3 выполняет следующие функции [10]:

- высококачественный плеер, рекордер и анализатор транспортных потоков MPEG, поддержка всех устройств Alitronika DVS;
- автоматическое получение битрейта из PCR во время записи и воспроизведения;
- точная оценка битрейта при отсутствии в PCR;
- неограниченное петлевое воспроизведение;
- поддержка субпетлевого воспроизведения части файла;
- запись TS потока в файл заданного размера или заданного времени записи;
- возможность выбора записи до 3 TS файлов, петлевая запись;
- автоматическая коррекция PCR/PTS/DTS и непрерывный пересчет;
- возможность вставки нуль-пакетов используя только аппаратное обеспечение;
- возможность фильтрации PID используя только аппаратное обеспечение;
- аппаратная поддержка нуль-пакетов и непрерывная генерация для тестирования без ввода на РС;
- поддержка ввода ошибок;
- возможность устанавливать TOT/TDT пользователем;
- поддержка установки временных меток аппаратными средствами;
- интегрированный Hex-редактор для просмотра/редактирования TS

- файлов;
- множество запущенных приложений на PC позволяет управлять множеством потоков;
 - поддержка любого количества LNB;
 - поддержка модуляторов/демодуляторов DVB-T/T2/H/S/S2/C/C2 и ATSC;
 - поддержка изменения частоты RF и уровня выходной мощности модулятора;
 - индикация всех настроек во время воспроизведения и записи в целях диагностики;
 - возможность выбора DVB-ASI, DVB-SPI, RAW data, Burst и др. режимов;
 - возможность записи/воспроизведения через SMPTE Serial (SDI) или параллельный порт (LVDS);
 - интегрированный видео вьювер для просмотра потока;
 - интегрированный конвертор DVB to IP.

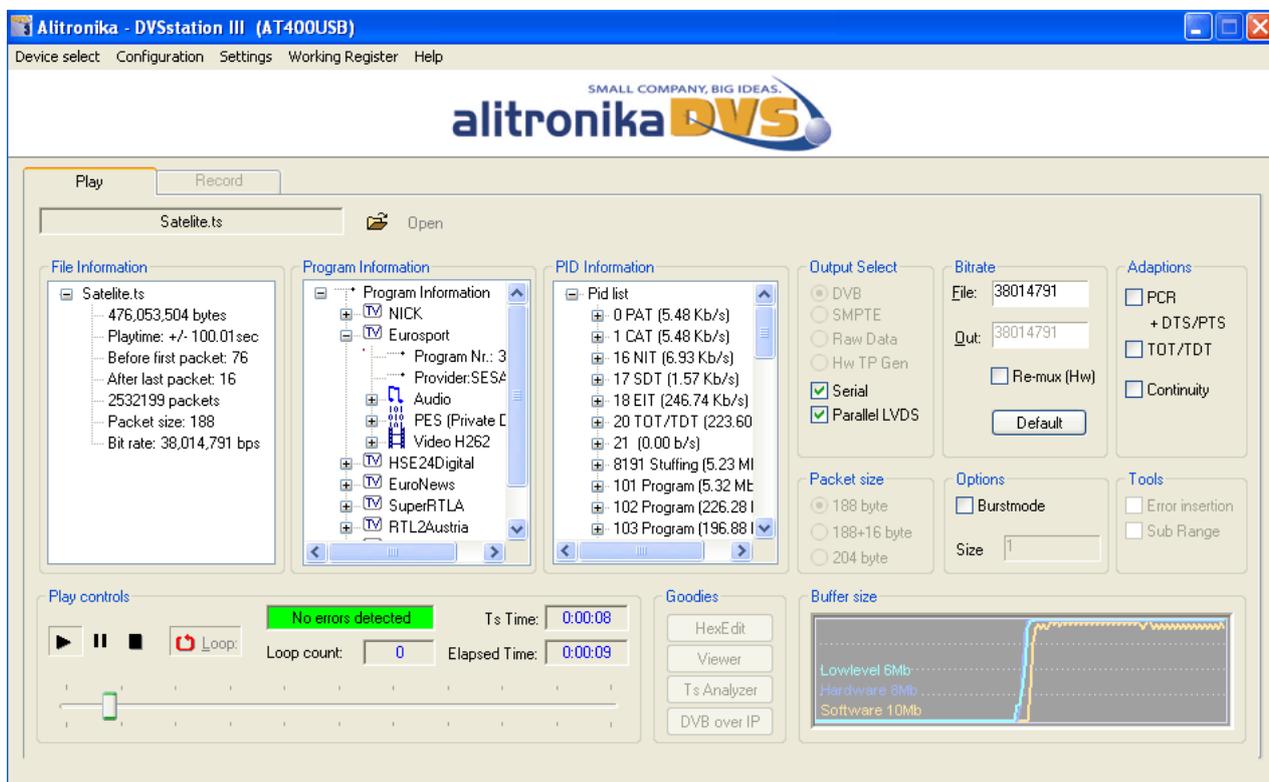


Рисунок 2.4 – Интерфейс программы DvsStation3

Внешний вид интерфейса при встроенном анализе транспортного потока представлен на рисунке 2.4 [10].

Более подробное описание использования приложения в комплексе с подключенными устройствами будет дано ниже при описании порядка выполнения лабораторных исследований.

2.5 Программный анализатор транспортного потока TSReaderLite для совместной работы с измерительным оборудованием DVB

TSReader – программный продукт, предназначенный для анализа, декодирования и преобразования транспортных потоков в системах вещания MPEG-2/4. TSReader может применяться в сети для оценки качества DVB вещания путем количественного анализа целостности потока multicast-трафика, принимаемого на стороне абонента. Главное окно программы приведено на рисунке 2.5 [11].



Рисунок 2.5 – Интерфейс программы TSReaderLite

Окно мониторинга разбито на несколько разделов. Интерес представляют три из них [11]:

General Information (слева внизу). Содержит информацию о мультикаст-группе, подлежащей мониторингу («Tuner: 239.255.2.147 port 5500») и времени, в течении которого осуществляется мониторинг («Run Time: 000:00:41»).

Active PIDs (в центре). Содержит информацию о медиа-потоках в транспортном потоке MPEG-2 и их скорости передачи.

MPEG-2/4 Statistics (внизу в центре). Содержит информацию о количестве принятых служебных таблиц транспортного потока MPEG-2 и о количестве зафиксированных ошибок, связанных с потерей пакетов или нарушением их целостности.

Собственно, само содержание процедуры мониторинга заключается в накоплении данных об ошибках в транспортном потоке MPEG-2/4 (в разделе MPEG-2/4 Statistics) за сколько-нибудь длительный период. После запуска процедуры мониторинга следует обеспечить непрерывную работу собранной тестовой схемы: должно быть обеспечено непрерывное электропитание тестового ПК, тестовый ПК не должен отключаться от абонентского устройства, на нем не должны запускаться какие-либо другие программы.

Более подробное описание использования приложения в комплексе с подключенными устройствами будет дано ниже при описании порядка выполнения лабораторных исследований.

2.6 Структура и состав лабораторного комплекса

В состав оборудования, помимо компьютеров с предустановленным ПО входят следующие измерительные приборы:

1. Измерительный приемник DVB-T/T2 ReFeree II 551131 компании Enensys;

2. Измерительный приемник DVB-T/T2 AT78USB компании Alitronika;
3. Специализированное ПО DiviSuite 1.3, включающее набор драйверов для измерительного оборудования DVB компании Enensys и обеспечивающее оконный интерфейс работы с ним.
4. Специализированное ПО DvsStation3, включающее набор драйверов для измерительного оборудования DVB компании Alitronika и обеспечивающее оконный интерфейс работы с ним.
5. Программный анализатор транспортного потока TSReaderLite для совместной работы с измерительным оборудованием DVB.

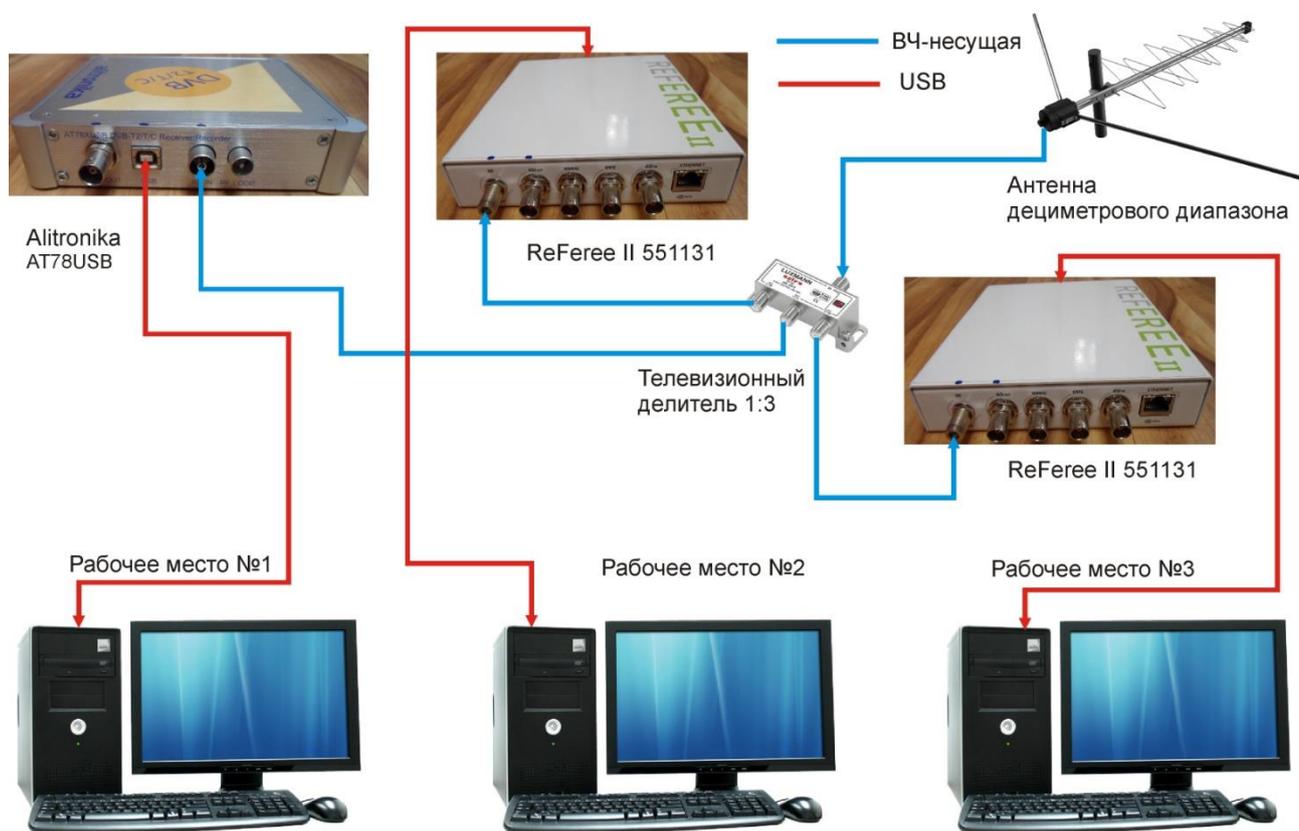


Рисунок 2.6 – Схема лабораторного комплекса

Схема лабораторного комплекса представлена на рисунке 2.6. Она включает в себя три рабочих места с различными комплектами измерительного оборудования.

3 Методика проведения лабораторного исследования параметров сигналов эфирного цифрового телерадиовещания по технологии DVB-T/T2 с использованием профессиональных измерительных приемников

3.1 Цель лабораторного исследования

1. Приобретение практических навыков при проведении измерений параметров радиочастотного сигнала цифрового эфирного телевизионного вещания по технологии DVB-T/T2 с использованием измерительных приемников различных производителей.

2. Приобретение практических навыков при проведении анализа качества цифрового телевизионного сигнала с помощью измерительных приемников различных производителей.

3.2 Порядок подготовки к лабораторному исследованию

Староста группы заблаговременно получает в лаборатории Технические описания и Руководства по эксплуатации оборудования входящего в комплект лабораторного аппаратно-программного комплекса в электронном виде для изучения технических характеристик, используемых в лабораторном исследовании приборов.

В состав оборудования, помимо компьютеров с предустановленными офисными программами, входят следующие измерительные приборы и специализированное ПО:

1. Измерительный приемник DVB-T/T2 ReFeree II 551131 компании Enensys;

2. Измерительный приемник DVB-T/T2 AT78USB компании Alitronika.

3. Специализированное ПО DiviSuite 1.3, включающее набор драйверов для измерительного оборудования DVB компании Enensys и обеспечивающее оконный интерфейс работы с ним.

4. Специализированное ПО DvsStation3, включающее набор драйверов для измерительного оборудования DVB компании Alitronika и обеспечивающее оконный интерфейс работы с ним.

5. Совместимое с оборудованием Alitronika сторонне ПО TSReaderLite по детальному анализу мультиплексов, получаемых с измерительного приемника DVB Alitronika.

Персонал учебной лаборатории заблаговременно выдает студентам в электронном или печатном виде данное руководство для изучения краткой теоретической части и подготовки ответов на перечисленные в руководстве контрольные вопросы.

В день выполнения лабораторного исследования аппаратно-программный комплекс должен быть полностью смонтирован представителями лаборатории и готов к работе. Все необходимое основное и вспомогательное ПО на компьютерах должно быть заблаговременно установлено.

3.3 Порядок проведения лабораторного исследования

Лабораторное исследование состоит из 2-х частей. В первой части производится исследование телевизионного сигнала с использованием приемника AT78USB компании Alitronika, а во второй - ReFeree II 551131 компании Enensys.

В том и другом случае производятся радиоизмерения на несущей частоте и исследование передаваемого в 1-м или 2-м мультиплексе транспортного потока в реальном времени с использованием названных выше измерительных приемников.

Часть I

Мониторинг и исследование транспортного потока через эфирное вещание с использованием измерительного приемника DVB-T/T2 ReFeree II 551131.

3.3.1 Исследование транспортного потока с помощью измерительного приемника ReFeree II 551131 компании Enensys, внешний вид которого представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Внешний вид измерительного приемника DVB-T/T2 ReFeree II 551131

Следует отметить, что измерительный приемник Enensys ReFeree II 551131 может принимать и анализировать транспортный поток не только с эфира, но и от проводных источников с использованием ASI и IP интерфейсов, а также записывать транспортный поток в компьютерный файл. Выбор источника сигнала производится в окне **Input Configuration** с вкладки **Device Selection**.

Так как записанный в виде файла или полученный по интерфейсу ASI транспортный поток может быть проанализирован с помощью анализатора транспортного потока, то основная функция измерительного приемника заключается в приеме эфирного сигнала, сформированного на РТПЦ для оценки контроля качества его работы. Исследуем данную функцию.

1. Запустите программное приложение DiviSuite 1.3 с рабочего стола компьютера.

2. В окне Device Selection выберите измерительный приемник ReFeree II 551131.

3. В окне Input Configuration выберите функцию радиоприема **RF** и частоту принимаемого сигнала, 602 МГц (37 телевизионный частотный канал). Если таковой частоты в данном окне нет, то нажать кнопку со знаком «Плюс» и установить ее вручную. Стартовое окно приложения DiviSuite 1.3 представлено на рисунке 3.2.

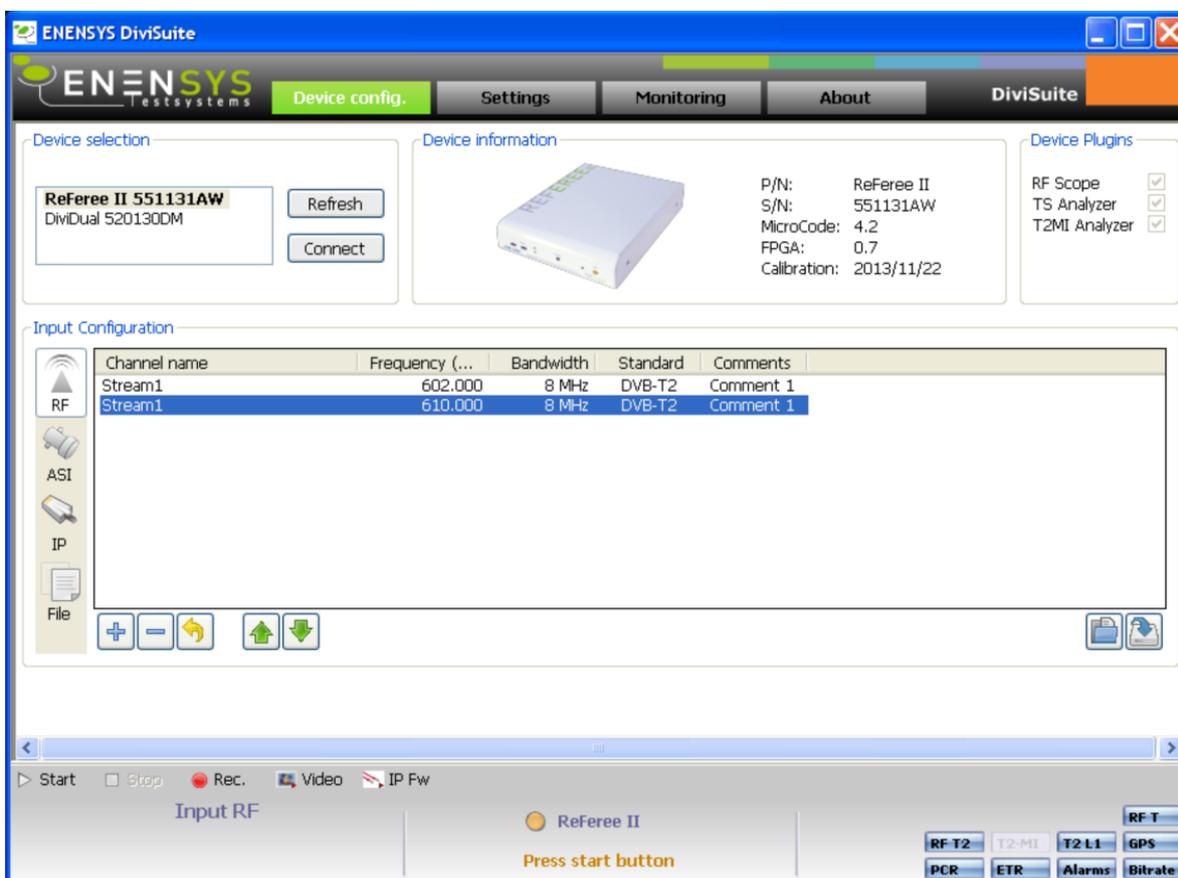


Рисунок 3.2 - Стартовое окно приложения DiviSuite 1.3

4. Нажмите кнопку «**Start**» в левом нижнем углу окна программы-приложения. Появившийся зеленый индикатор, укажет, что поступающий на вход сигнал обрабатывается приемным устройством.

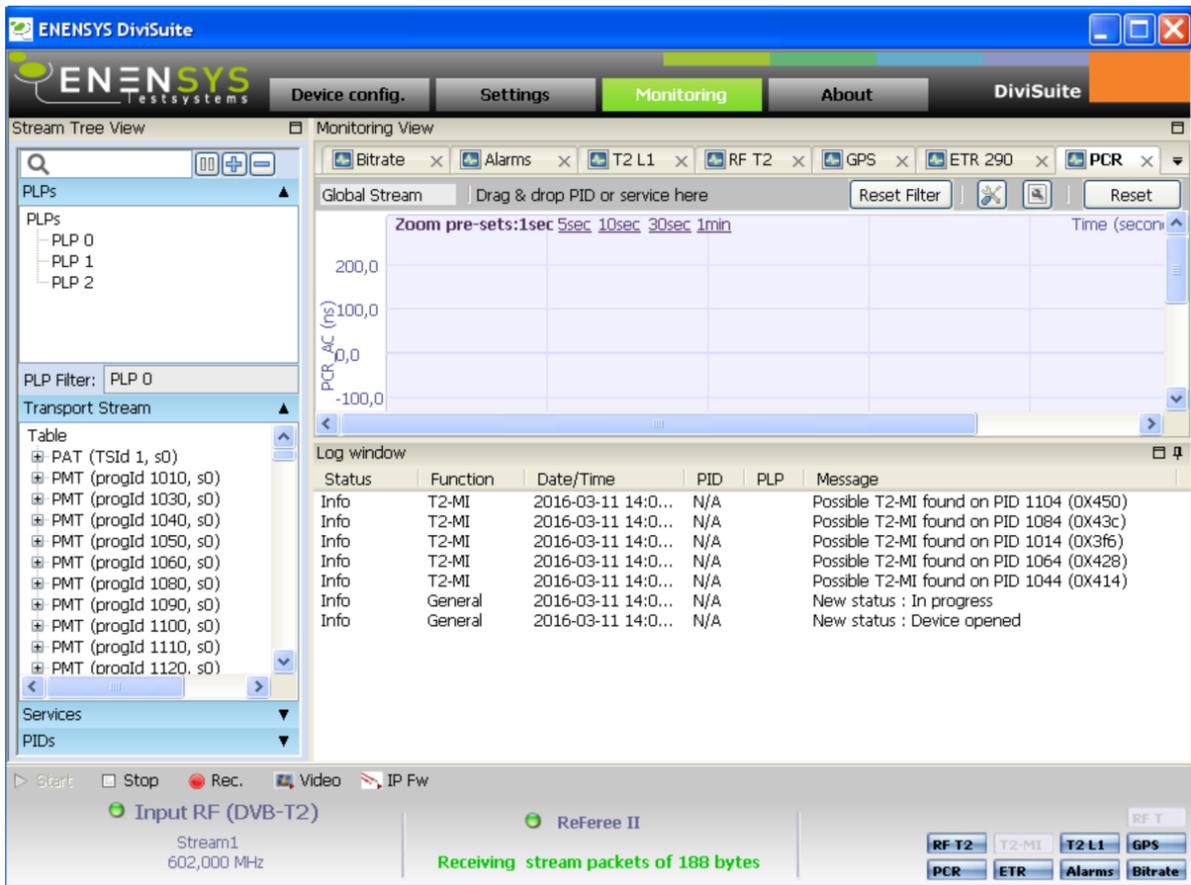


Рисунок 3.3 – Окно анализа принимаемого multiple PLP потока

5. Перейдите во вкладку «**Monitoring**» (кнопка сверху в центре окна программы). Схематично окно будет разделено на две вертикальные части, как показано на рисунке 3.3. В левой части можно выбрать необходимый транспортный поток из состава принимаемого T2MI (multiple PLP потока), а также раскрыть ту или иную служебную таблицу (нижняя часть окна). В правой части при использовании набора вкладок в окне **Monitoring View** можно просмотреть множество параметров принимаемого сигнала, начиная от параметров радиоканала и заканчивая ошибками в транспортном потоке.

6. Рассмотрим подробно представленные вкладки.

Вкладка **Bitrate**.

Для просмотра скорости передачи (битрейта) транспортного потока в том или ином PLP, достаточно нажать мышкой на выбранный PLP и перетянуть его в окошко PLP Filter, а в верхнем правом окне выбрать вкладку Bitrate.

7. В левом нижнем углу могут поочередно раскрываться три вкладки – **Transport Stream** - для просмотра информации о всех, передаваемых в транспортном потоке служебных таблицах и их содержании, **Services** – информация о телевизионных и радиопрограммах, передаваемых в том или ином выбранном PLP и содержательная часть телевизионной программы с соответствующими идентификаторами, присвоенными тем или иным пакетам данных, **PIDs** – перечень идентификационных номеров в данном PLP и соответствие их, передаваемым в выбранном PLP, таблицам и пакетам с данными.

8. Для просмотра видеоизображения с той или другой программой в левом нижнем углу программного приложения нажмите кнопку **Video**, а затем в появившемся окне кнопку с треугольником (Play). Для выбора программы просмотра в открывшемся окне проигрывателя выбрать в строке меню: «**Воспроизведение**», затем «**Программа**». Обратите внимание, что просматривать возможно только те программы, которые находятся в выбранном PLP.

9. Вкладка **Alarms**. При использовании данной вкладки можно установить предупреждения о выходе различных контролируемых параметров за пределы допустимых значений или о появлении тех или иных ошибок в транспортном потоке. Окно с установкой параметров разделено на 2 части. В левой части производится установка значений параметров транспортного потока, а в правой части – параметров радиосигнала и T2MI.

Индикаторы, расположенные рядом с перечнем параметров и в том и в другом окне имеют серый цвет. При нажатии на изображение кнопки с гаечным ключом открывается вкладка **Setting**.

Нажмите на левую иконку с гаечным ключом и в появившемся окне вкладки **Setting** установите напротив **Net bitrate** галочку **On** (включить), минимальное значение скорости 3 и максимальное 50 Мбит/с. Внизу окна нажмите галочку подтверждения зеленого цвета. Перейдите во вкладку **Monitoring**. Индикатор параметра **Bitrate Net** стал зеленым. Прделайте аналогичную операцию с правой кнопкой установки. Здесь, в появившемся окне напротив параметра **SNR** установите галочку **On** и в минимальном значении (Min) установите значение 50 дБ. Нажмите зеленую галочку подтверждения и вернитесь во вкладку **Monitoring**. Поменяйся снова значение **SNR** на минус 10 дБ. Для обновления показаний обязательно нажмите кнопку **Reset**.

10 Вкладка **T2L1**.

Показывает модуляционные параметры преамбулы T2MI – **L1-pre installing** и **L1-post installing**. Перепишите эти параметры для 1-го и второго мультиплекса. Если параметры **L1-post installing** в таблице не отображаются, нажмите кнопку **Refresh PLPs infos**.

11. Вкладка **RF T2**.

Информация на данной вкладке позволяет просмотреть основные параметры радиосигнала и его модуляционные характеристики, как показано на рисунке 3.4 Три вертикальных индикатора показывают уровень принимаемого радиочастотного сигнала (**Signal Level**), отношение сигнал-шум (**SNR**) и уровень ошибок модуляции (**MER**). В окошке **Active PLP** отображаются модуляционные параметры декодируемого в данный момент PLP. В правой части в графическом виде отображаются значения тех или иных параметров в определенном цвете.

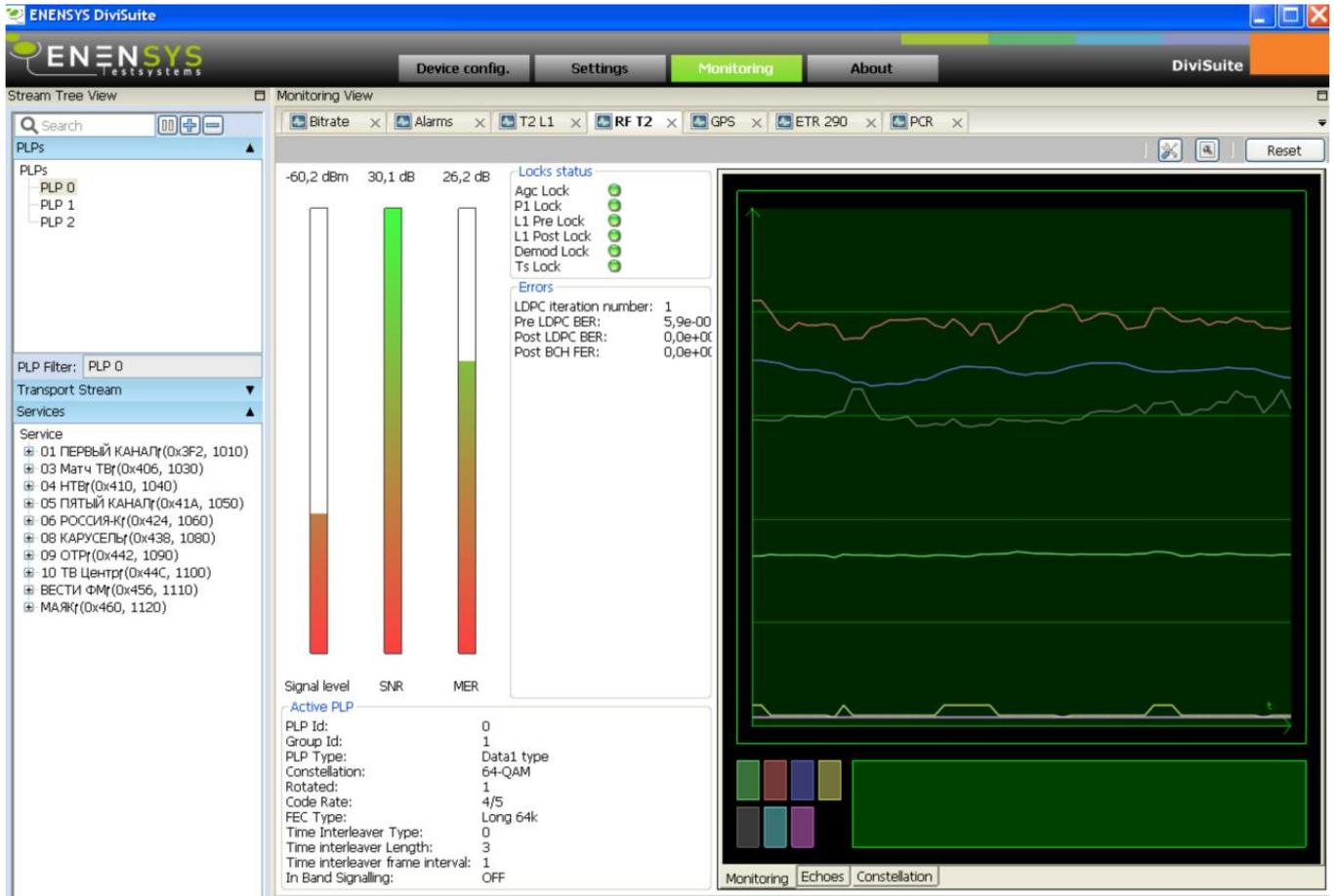


Рисунок 3.4 – Окно радиочастотных измерений

Для того, чтобы узнать, какой параметр отображен данным цветом, достаточно на цветной прямоугольник в левом нижнем углу графика навести мышку (см. рисунок 3.5).

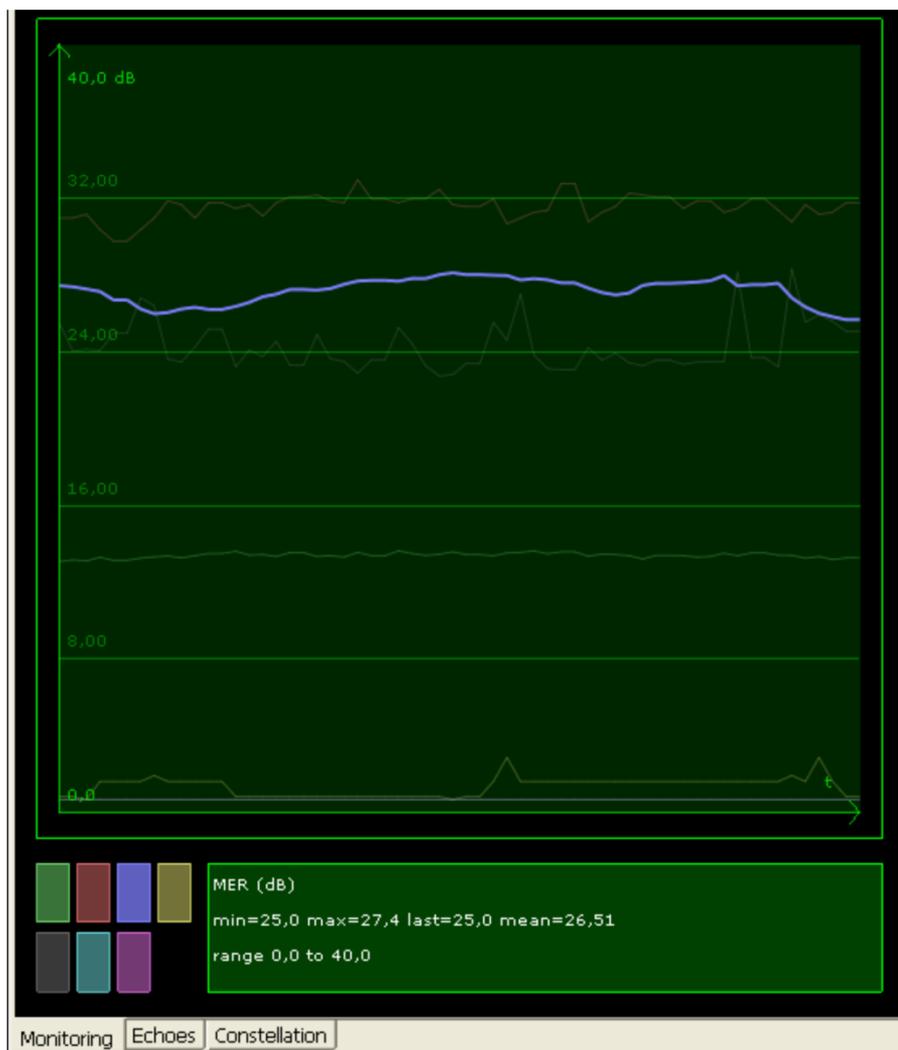


Рисунок 3.5 – Отображение одного из измеряемых параметров более крупно с подробным описанием его характеристик

Ниже графика расположены еще две кнопки – **Echoes** и **Constellation**. Вкладка **Echoes** позволяет просмотреть эхо сигналы, отраженные от различных препятствий или такие же телевизионные передатчики, работающие в одночастотной сети. При этом, направив мышку на тот или иной сигнал, приемник показывает его уровень и задержку сигнала. Как видно из рисунка 3.6, ряд отраженных сигналов находятся в относительной близости по задержке, а другой передатчик телевизионной одночастотной сети на расстоянии $178,5 \text{ мкс} \times 300 \text{ м} = 53,5 \text{ км}$. При тех модуляционных параметрах сигнала, который используется в Российской Федерации максимальная задержка сигнала в одночастотной сети может достигать 233 мкс.



Рисунок 3.6 – Просмотр эхо-сигналов при приеме

При нажатии кнопки **Constellation** открывается демонстрационное окно с констелляционным созвездием, передаваемого PLP. По представленной картинке может только приблизительно сказать о качестве принимаемого сигнала и о величине модуляционной ошибки (MER). Чем более размазываются области точек, тем хуже качество сигнала и ниже значение MER. В идеальном случае точки должны иметь игольчатую структуру. По умолчанию открывается модуляционное созвездие принимаемого PLP, как показано на рисунке 3.7, но можно просмотреть и созвездие преамбулы **L1-post installing**.

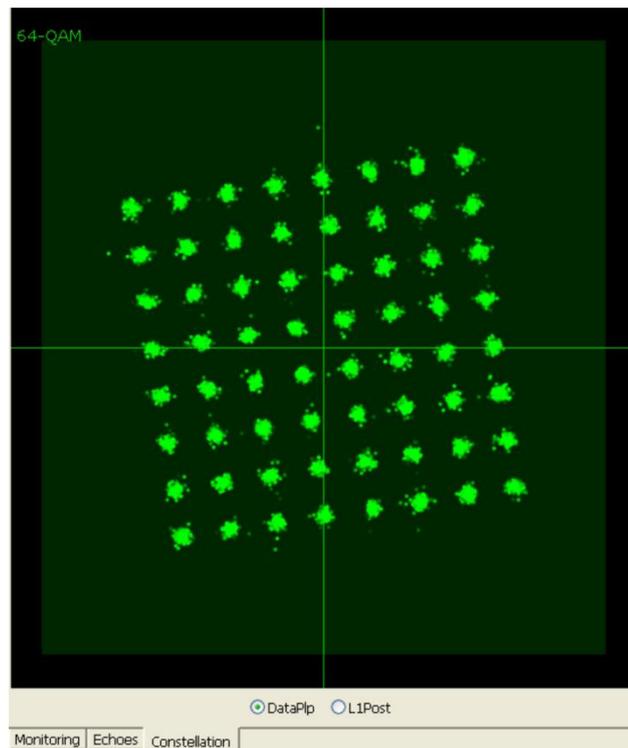


Рисунок 3.7 – Конstellационное созвездие демодулируемого PLP

12. Вкладка **GPS** показывает информацию, выдаваемую GPS приемниками и в их отсутствие информации не несет.

13. Вкладка **ETR 290**.

В окне данной вкладки отображаются ошибки транспортного потока, которые могут возникать как при передаче, так и в процессе приема и обработки сигнала. Известно, что ошибки транспортного потока разделяются на 3 категории – ошибки 1-го приоритета, которые приводят к потере или к значительному искажению данных, ошибки второго приоритета, которые могут привести к потере или искажению данных и ошибки третьего приоритета, которые не приводят в потере или искажению данных, но сигнализируют от некоторых ошибках в конфигурации или содержании транспортного потока.

Чтобы оперативно контролировать возникающие ошибки, необходимо установить, какие из них компьютер должен отображать.

Для сокращения времени настройки, выберите все виды ошибок для отображения. Для этого нажмите кнопку с гаечным ключом и автоматически

перейдите во вкладку **Setting**. В окне **Alarms** выберите **ETR 290 Piority level 1** и установите 2 галочки напротив надписи (**set/unset all**). Для подтверждения установки нажмите зеленую галочку внизу посередине окна.

Далее в окне **Alarms** выберите **ETR 290 Piority level 2** и выполните аналогичные операции. Тоже сделайте и для **ETR 290 Piority level 3** и для **ETR 290 Miscellanous**. Перейдите во вкладку **Monitoring**.

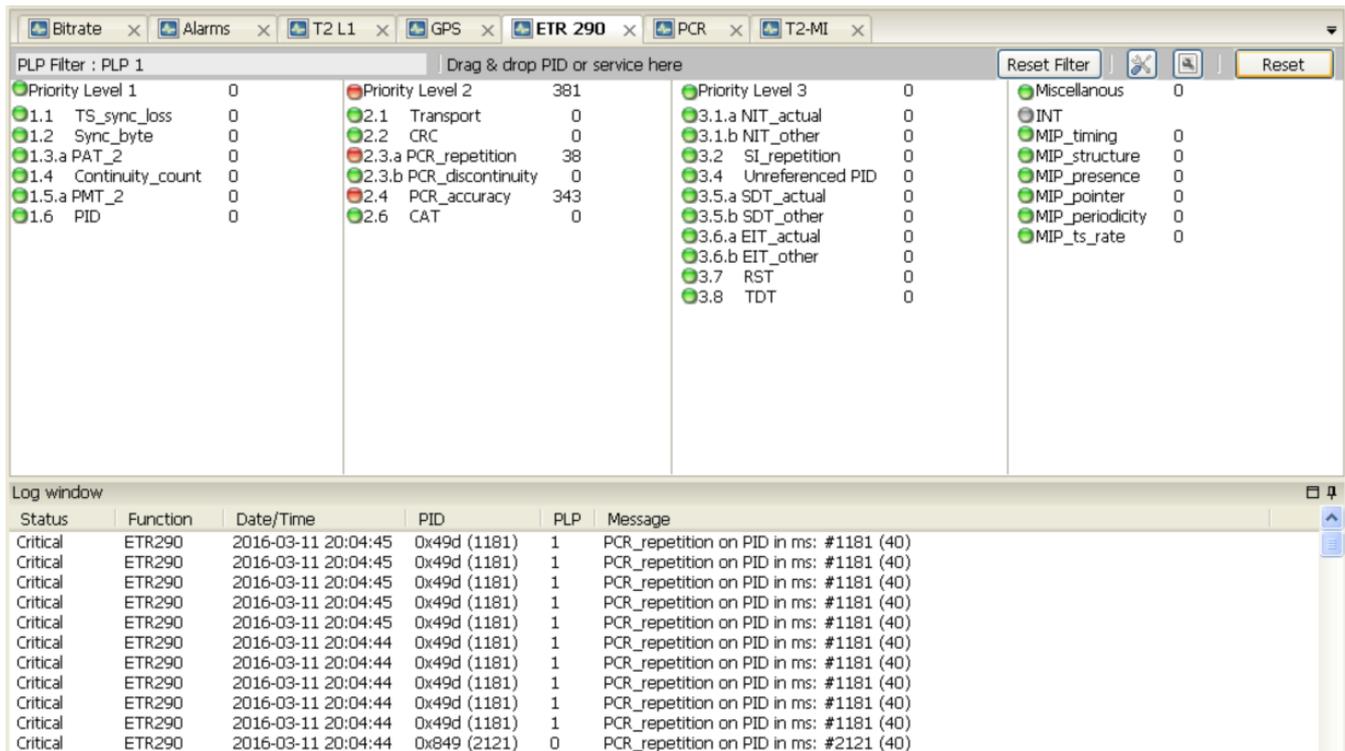


Рисунок 3.8 – Сообщения об ошибках в транспортном потоке

Светящиеся зеленым цветом индикаторы говорят о том, что ошибки данного типа в транспортном потоке отсутствуют. Индикаторы, светящиеся красным говорят об обратном. При этом в правой нижней части окна отображается информация о типе ошибки, частоте ее проявления и идентификационном номере информационного пакета, как показано на рисунке 3.8. При наведении мышкой на название ошибки, высвечивается краткое пояснение, в каких случаях она будет возникать. Все индикаторы работают в триггерном режиме, т.е. после появления ошибки она высвечивается до тех пор, пока не будет произведен сброс, даже если эта ошибка была единичной и

больше не возникает. Для обновления индикации необходимо нажать кнопку Reset.

14. Вкладка PCR. Вкладка по информации о синхронизации транспортного потока.

Так как мы не используем мультиплексирование/ремуплексирование, то данный параметр для нас не несет необходимой информации.

Другие функциональные возможности приемника рассмотрены в кратком руководстве от компании Enensys.

Часть II

Мониторинг и исследование транспортного потока через эфирное вещание с использованием измерительного приемника DVB-T/T2 AT78USB компании Alitronika.



Рисунок 3.9 - Внешний вид измерительного приемника DVB-T/T2 Alitronika AT78USB

3.3.4 Измерительный приемник AT78USB компании Alitronika (в дальнейшем Alitronika). Внешний вид приемника представлен на рисунке 3.9.

1. Для запуска приемника открыть программное приложение DvsStation3 (иконка на рабочем столе). В появившемся окне выбрать стандарт вещания DVB-T2 и нажать ОК.

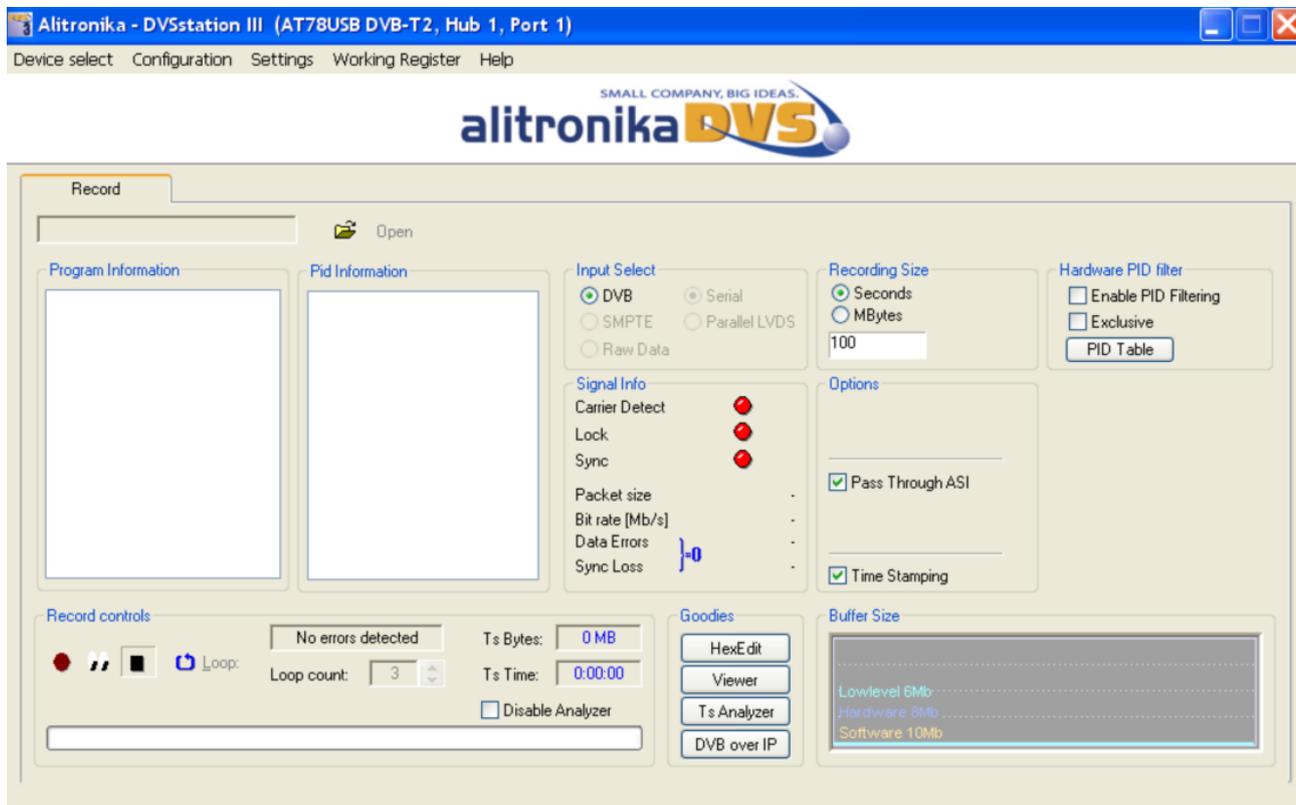


Рисунок 3.10 - Стартовое окно приложения DvsStation3

2. В появившемся окне (рисунок 3.10) в строке меню **Configuration** выберите **Tuner**. Откроется окно, в котором можно установить настройки приемника и просмотреть модуляционные форматы принимаемого сигнала. Окно **Tuner** разделено на несколько областей – **Setting** для установки частоты принимаемого телевизионного канала вещания, полосы вещания и декодируемого PLP, **Status** для контроля качества приема и просмотра параметров преамбулы L1-post installing, **PLP Status** для просмотра модуляционных параметров декодируемого PLP, **RF Status** для контроля принимаемой несущей и **Constellation** для просмотра сигнального созвездия L1-post installing и контроля величины модуляционной ошибки и EVM. Окно **Tuner** показано на рисунке 3.11.

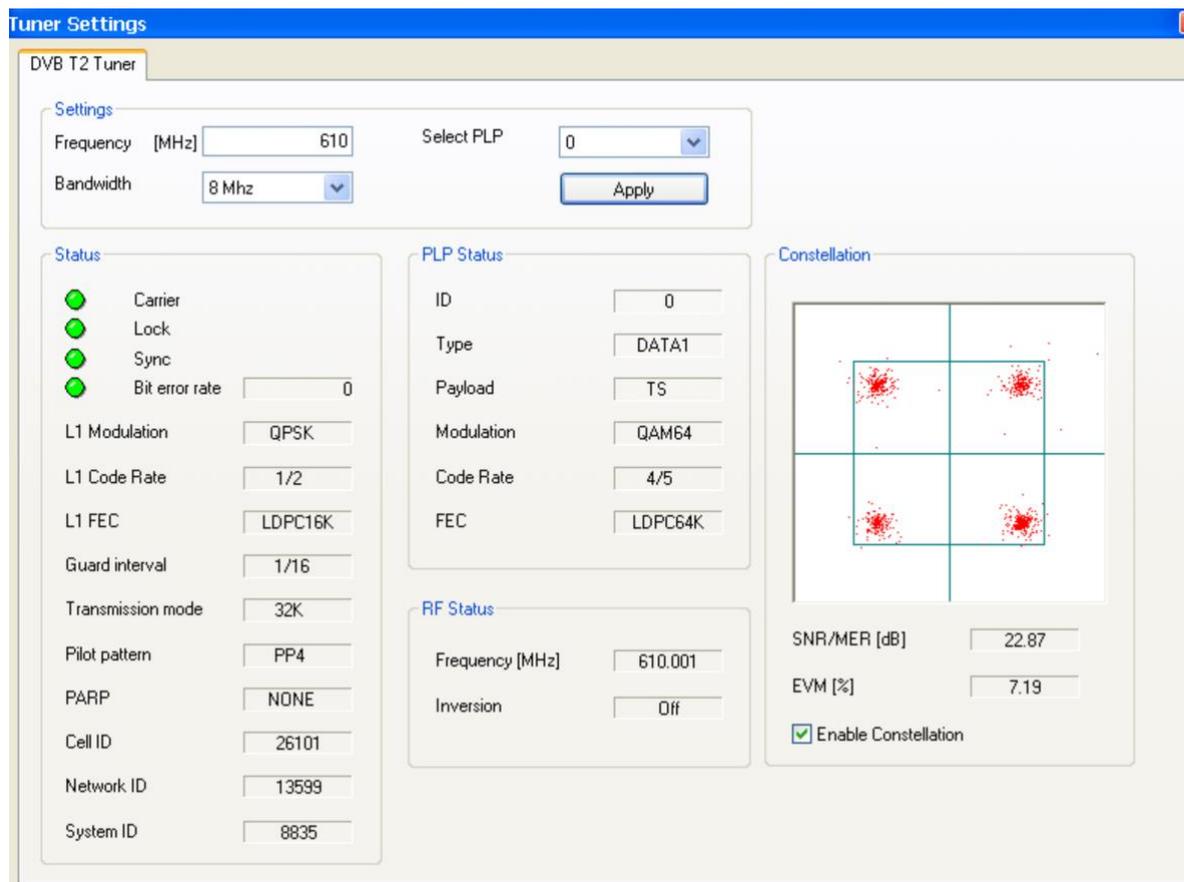


Рисунок 3.11 - Окно **Tuner** приложения DvsStation3

Кратко рассмотрим две основные характеристики качества модуляции телевизионной несущей – MER и EVM, значения которых отображаются в окне **Tuner**.

При наличии нелинейных и фазовых искажений, помех и шумов канала возникают переходные помехи между квадратурными каналами. Сигнальные созвездия при этом размываются, то есть в каждом такте точка созвездия имеет случайные координаты (рисунок 3.11). MER (Modulation Error Ratio) - коэффициент ошибок модуляции) представляет меру, показывающую насколько фактическое значение комплексной амплитуды несущей спектра сигнала OFDM, отличается от ее номинального значения. В общем случае реальное положение фаз не совпадает с номинальным положением из-за

нелинейных искажений амплитуды и фазы в усилительном тракте, и из-за внесения шума преобразования в модуляторе [12].

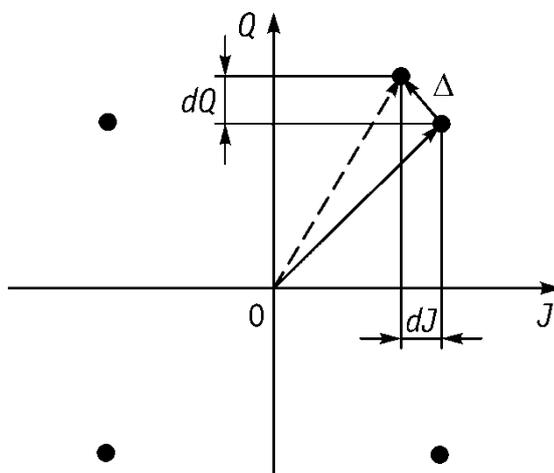


Рисунок 3.12 - Возникновение ошибки MER при QPSK-модуляции

На рисунке 3.12 показан вектор сигнала ошибки между номинальным и фактическим значением комплексной амплитуды данной несущей. Усредняя значения MER для каждой несущей, вычисляется интегральное значение MER. Таким образом, MER является мерой мощности коэффициента ошибок к средней мощности в идеальном QAM сигнале. Низкий уровень MER является показателем ухудшения сигнала. Чем выше значение MER, тем выше C/N и выше качество сигнала.

Следовательно, коэффициент ошибок модуляции MER можно определить по следующему выражению:

$$\text{MER} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n (J^2 + Q^2)}{\sum_{i=1}^n (dJ^2 + dQ^2)},$$

где i – число символов OFDM в кадре.

Суммирование ведется по количеству символов в кадре DVB-T/T2. Усредняя значение MER для каждой несущей, вычисляется интегральное значение MER.

Величина вектора ошибки EVM - один из наиболее широко используемых количественных показателей качества модуляции в цифровых системах связи служит величина вектора ошибки EVM (Error Vector Magnitude).

В общем случае вектор ошибки EV - векторное различие между идеальным опорным сигналом (ideal reference signal) и измеряемым сигналом (measured signal).

Не следует путать величину (амплитуду) вектора ошибки (magnitude of the error vector) с ошибкой амплитуды (magnitude error), и фазу вектора ошибки (phase of the error vector) с ошибкой фазы (phase error). Графическое изображение этих различий показано на рисунке 3.12 [13].

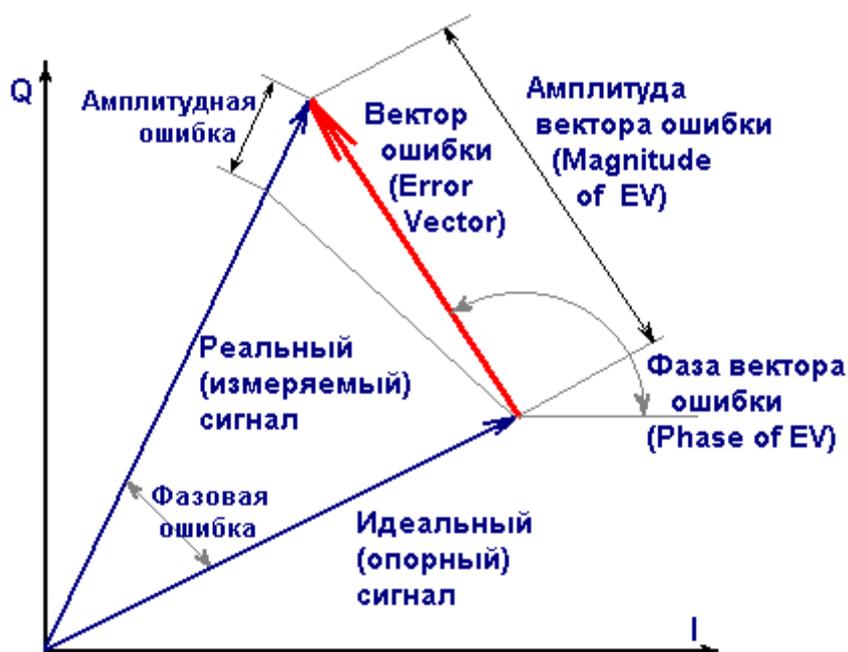


Рисунок 3.12 - Графическое представление вектора ошибки EVM

Вектор ошибки содержит амплитудную и фазовую компоненты. Выражаясь по-другому можно сказать, что вектор ошибки - остаточный шум и искажения, остающиеся после того, как удалена идеальная версия сигнала.

Для вычисления величины (амплитуды) вектора ошибки EVM для каждого символа сигнала необходимо найти значения вектора ошибки

как разность между идеальным опорным положением сигнальной точки и положением сигнальной точки реального измеряемого сигнала.

Как правило, величина вектора EVM нормализуется относительно среднеквадратичного значения (root-mean-square, rms) мощности символа:

$$\text{EVM} = (\text{среднеквадратичное значение вектора ошибки} / \text{среднеквадратичное значение мощности символа}) \times 100 \%$$

Значение вектора EVM дает возможность определить источники ошибок и их вклад в процесс формирования и обработки сигналов в цифровых системах. Он чувствителен к любому ухудшению качества сигнала, влияющему на величину и фазовую траекторию демодулируемого сигнала.

3. Установите на панели **Setting** частоту несущей 610 МГц (2-й мультиплекс). Выберите из выпадающего списка, который покажет, сколько различных PLP используется в данном мультиплексе, значение PLP «0». Полосу принимаемого сигнала установите равной 8 МГц, как показано на рисунке 3.20. Зафиксируйте данные измерений по обоим мультиплексам и используйте в них PLP в своих отчетах.

4. Закройте панель **Tuner** и возвратитесь в основное окно программы. Как и в приемнике Enensys, принимаемый транспортный поток можно записать, нажав на кнопку записи в области **Record controls**. При этом в области **Recording Size** можно указать, сколько будет длиться запись - в секундах или в объеме записанной информации (Мбайт). Чтобы начать запись, необходимо определить имя файла и место его расположения нажав кнопку **Open** в верхней левой части окна. Выберите название файла «1» и укажите место расположения на рабочем столе компьютера. Нажмите кнопку «Запись». В 2-х окошках программы появится информация о сервисах, служебных таблицах и их идентификационных номерах. Обратите внимание, что после окончания записи,

информация из окошек не исчезает и ее можно подробно изучить. Зафиксируйте перечень телевизионных программ в каждом PLP и используемые в принимаемом потоке служебные таблицы.

5. Для контроля транспортного потока в реальном времени в области **Record controls** нажмите кнопку с двумя черными точками. Чтобы остановить просмотр, снова нажмите эту кнопку. Для более тщательного анализа транспортного потока предусмотрена возможность работы приемника со сторонним ПО компании COOL.STF под названием «TSReader». Его облегченную версию TSReader Lite можно скачать бесплатно по адресу <http://www.tsreader.com/>.

6. Скачайте и установите программу TSReader Lite. В режиме остановки анализа транспортного потока нажмите кнопку **Ts Analyzer** внизу в середине окна. Откроется окно, где по умолчанию будет указана установленная программа TSReader Lite. Нажмите ОК и запустите приложение. Далее переведите приемник в режим анализа транспортного потока в реальном времени. Просмотрите содержимое таблиц. Сделайте выводы.

Для просмотра видео декодируемой программы, остановите режим анализа, нажмите кнопку **Viewer** и в открывшемся окне выберите **Use videoLAN** и путь к проигрывателю **TSReader Lite**. Укажите порт 5001, т.к. порт 5000 уже занят под анализ транспортного потока. В правой части окна с перечнем программ, входящих в транспортный поток выберите для просмотра, сделав двойной щелчок мышью по значку «**h264**».

Дополнительные возможности приемника можно узнать из Руководства пользователя.

После ознакомления с возможностями измерительного оборудования, выполните контрольное задание, приведенное ниже. Задание оформляется в виде отчета в электронном виде с использованием текстового редактора. При этом пояснения и выводы в отчете должны подкрепляться скриншотами.

3.4 Задание на выполнение лабораторной работы

1. Просмотрите состав служебных таблиц при приеме телевизионного вещания в приемнике Alitronika и Enensys. Сделайте вывод о составе отображаемых таблиц и показе их содержания. То же самое проделайте при просмотре сервисов и идентификационных номеров передаваемых ресурсов (PID).

Выпишите, какие телевизионные программы передаются в 1-м и во 2-м мультиплексе. При этом покажите их распределение по вложенным в T2MI потокам PLP. Сделайте вывод о скорости передачи различных PLP в общем транспортном потоке.

Для переключения с одного частотного канала на другой в приемнике Enensys необходимо нажать кнопку **Stop** в левой нижней части окна. Затем выбрать новый частотный канал и нажать кнопку **Start**. В приемнике Alitronika вызвать окно **Tuner**, установить несущую частоту другого мультиплекса и нажать кнопку **Apply**.

2. Просмотрите и зафиксируйте параметры T2MI – **L1-pre installing** и **L1-post installing** при приеме 1-го и второго мультиплекса на оба измерительных приемника. Сделайте вывод о количестве отображаемых параметров каждым приемником, а также об отличии друг от друга преамбул 1-го и 2-го мультиплексов. Отметьте в чем их существенное различие с точки зрения используемых модуляционных параметров.

3. Сравните констелляционные созвездия и эхо-сигналы для 1 и 2-го мультиплексов в приемнике Enensys. Сделайте выводы о расстояниях до отраженных или излучаемых другими передатчиками сигналах. Соблюдается ли защитный интервал? Сравните созвездия, получаемые при работе с приемником Alitronika и Enensys.

4. Обратите внимание на то, как отображаются ошибки приема и ошибки транспортного потока в приемниках Alitronika и Enensys сделайте соответствующие выводы. Полный перечень ошибок всех приоритетов представлен [14], а выписка из стандарта на русском языке в Приложении А данной работы.

3.5 Содержание отчета и контрольные вопросы для защиты

Отчет выполняется в электронном виде с использованием любого современного текстового редактора.

Отчет должен содержать:

1. Тему лабораторного исследования;
2. Цель и изучаемые вопросы по исследованию;
3. Структурную схему лабораторной установки;
4. Назначение и краткие технические параметры исследуемых измерительных приемников;
5. Отображение порядка проведения исследований со скриншотами и кратким пояснением хода работы;
6. Выводы по проведенным исследованиям.

3.6 Порядок защиты отчета по лабораторному исследованию и перечень контрольных вопросов

Для защиты преподавателю представляется выполненный отчет в электронном виде на флеш-носителе. В случае положительной оценки по оформлению отчета, студент должен быть готов ответить на контрольные вопросы. Если ответ положительный, то лабораторное исследование будет зачтено с выставлением зачета в журнал лабораторных работ, хранящийся в учебной лаборатории.

Контрольные вопросы:

1. В чем преимущество цифровых методов вещания?
2. Раскрыть аббревиатуру DVB-T/T2, DVB-S/S2, DVB-C/C2, DVB-H.
3. Что такое MPEG?
4. В чем отличие MPEG-4 от MPEG-2?
5. Чем отличаются ошибки 1,2 и 3-го приоритетов?
6. Что такое транспортный поток MPEG-2TS и как он формируется?
7. Какую информацию несут PAT и PMT таблицы?
8. Какую информацию несут NIT и CAT таблицы?
9. Какую информацию несут EIT, SDT и TDT таблицы?
10. В чем отличие multiple PLP от single PLP режимов?
11. Что такое T2-MI и для чего он используется?
12. Назовите параметры модуляции 1-го мультиплекса.
13. Назовите параметры модуляции 2-го мультиплекса.
14. Что такое мультиплекс.
15. Для чего используется одночастотная сеть?
16. Каково значение защитного интервала для цифрового телевизионного вещания DVB-T2 в Российской Федерации?
17. Что такое PID и PCR?
18. Что такое MER и BER?
19. Что такое EVM?
20. Что такое ВВ-кадр?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 448 с.
2. Мамчев Г.В. Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 340 с.
3. Официальный сайт Правительства РФ. ФЦП: Программа «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 - 2018 годы». <http://fcr.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcr.cgi/Fcr/ViewFcr/View/2016/297>
4. Шахнович И. DVB-T2 – Новый стандарт цифрового телевизионного вещания. «Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - №6, 2009 г. С.30-35.
5. Benefits of using multiple PLP in DVB-T2 Enensys Technologies, France: <http://www.enensys.com>
6. Официальный сайт Российской телерадиовещательной сети. <http://телеконтекст.ртрс.рф/technology/item354.php>
7. Измерительный приемник DVB-T/T2/C/C2. <http://www.referee2.ru/>
8. DiviSuite 1.0. Руководство пользователя. <mailto:support@enensys.com>
9. Digital Video Interfacing Products AT78XUSB. DVB-T2/T/C Receiver, Recorder DVB-C to DVB-ASI Converter, Receiver, Recorder & Converter. 2011. <http://www.alitronika.com>
10. Digital Video Interfacing Products. DVSSStation3. Free, unlimited licence with every Alitronika device. 2009. <http://www.alitronika.com>
11. Официальный сайт компании COOLSTF. <http://www.tsreader.com/>
12. Конорев А. Особенности измерения параметров каналов с цифровой модуляцией. «Телеспутник», №9, 2010. – С.14-23. <http://www.telesputnik.ru/archive/pdf/179/14.pdf>
13. Биза Г. Собиратели потоков (по материалам компании Thomson GrassValley). Кабельщик №10 (14) Ноябрь 2006.

14. ETSI - European Telecommunications Standards Institute. ETR 290. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.