

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



А.Г. Жуковский

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА MPEG  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО  
ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
4T2 CONTENT ANALYSER

*Методические указания  
по выполнению лабораторной работы*

Ростов-на-Дону  
2019

**УДК 621.397.2.037**

**ББК 76.03**

**Ж 86**

**Жуковский А.Г.** Анализ транспортного потока MPEG с использованием специализированного прикладного программного обеспечения 4T2 Content Analyser. *Методические указания по выполнению лабораторной работы.* СКФ МТУСИ, 2019. – 48 с.

В пособии рассмотрены вопросы формирования транспортных потоков MPEG, используемых для функционирования цифровых систем телерадиовещания.

Показана структура основных полей транспортного потока MPEG и приведены основные параметры таблицы программно-зависимой информации (PSI), таблицы информации о службах (SI).

Разработан программно-аппаратный комплекс по анализу транспортного потока с помощью специализированного ПО 4T2 Analyzer. Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплине «Технологии цифрового телерадиовещания», которая входит в учебный план подготовки бакалавров по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

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.

Данная разработка может быть использована при проведении занятий со слушателями курсов повышения квалификации. 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 Структура, параметры и назначение служебных таблиц транспортного потока MPEG .....	4
1.1 Структура основных полей транспортного потока MPEG .....	4
1.2 Основные параметры таблицы программно-зависимой информации (PSI), таблицы информации о службах (SI) .....	8
2 Программно-аппаратный лабораторный комплекс по исследованию и анализу мультимплексов, использующихся в телерадиовещании .....	18
2.1 Цель работы .....	18
2.2 Порядок подготовки к лабораторному исследованию .....	18
2.3 Краткие практические сведения об использовании аппаратного и программного обеспечения для исследования транспортных потоков .....	19
2.4 Общие сведения прикладном программном обеспечении 4T2 для исследования транспортного потока .....	24
2.5 Порядок проведения лабораторного исследования .....	41
2.6 Содержание отчета .....	45
2.7 Порядок защиты отчета по лабораторному исследованию и контрольные вопросы .....	45
Список источников .....	47

# 1 Структура, параметры и назначение служебных таблиц транспортного потока MPEG

## 1.1 Структура основных полей транспортного потока MPEG

Транспортный поток MPEG формируется на основе пакетированных элементарных потоков ПЭП (PES). Структура основных полей пакета ПЭП (PES), соответствующая [6], показана на рисунке 1.1.

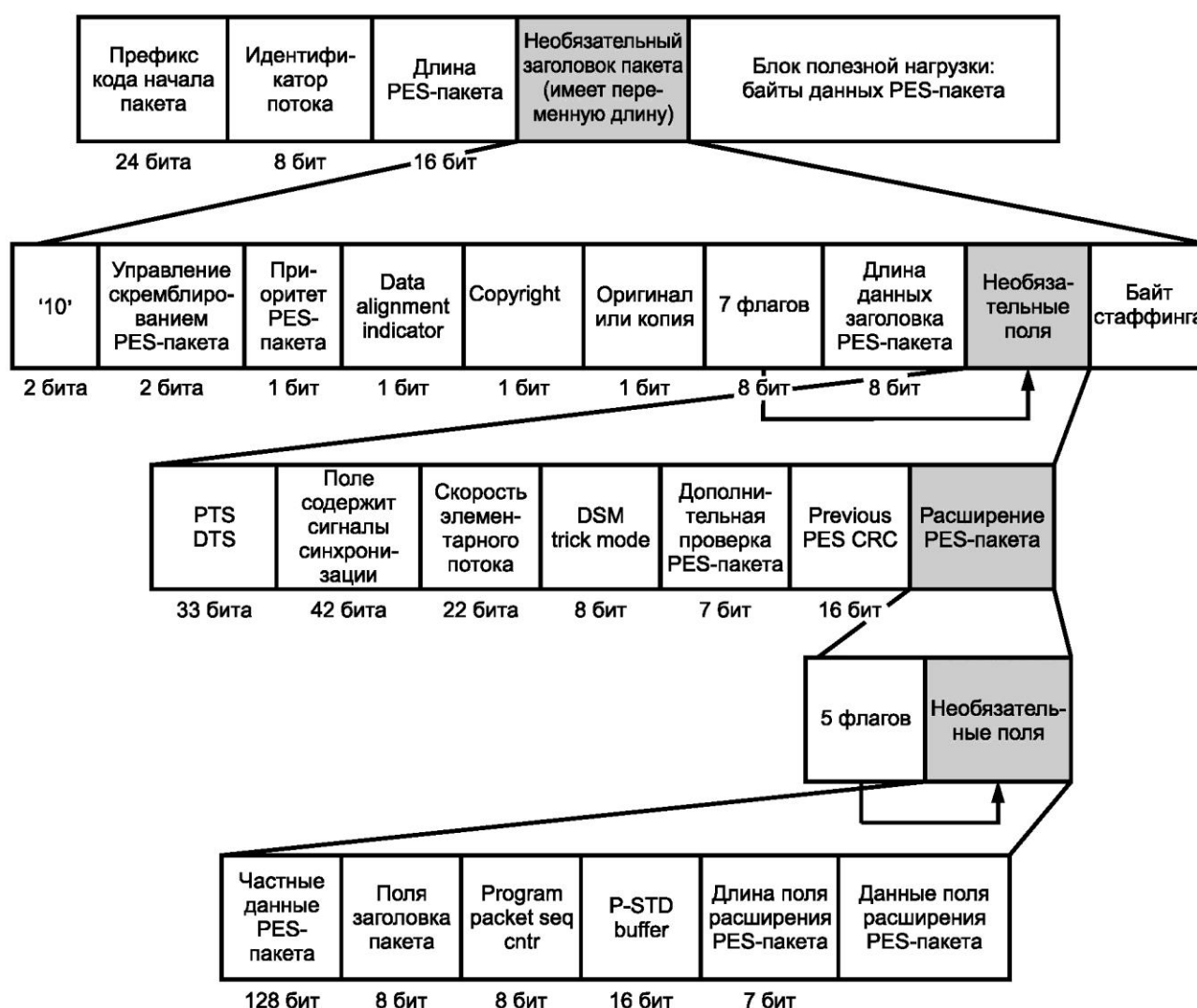


Рисунок 1.1 - Структура основных полей пакета ПЭП (PES)

Пакет ПЭП (PES) состоит из заголовка пакета и блока полезной нагрузки. Заголовок пакета содержит следующие основные поля сервисной информации [3]:

- префикс кода начала пакета (packet\_start\_code\_prefix);
- идентификатор потока (streamid);
- длина ПЭП (PES)-пакета (PES\_packet\_id);
- необязательный заголовок пакета (optional\_PES\_header) имеет переменную длину:
- управление скремблированием ПЭП (PES)-пакета (PES\_scrambling\_control): поле указывает режим скремблирования ПЭП-пакета;
- приоритет ПЭП (PES)-пакета (PES\_priority);
- оригинал или копия (original\_or\_copy);
- 7 флагов, в том числе:
- флаги PTS\_DTS (PTS\_DTS\_flags);
- флаг проверки PES-пакета (PES\_CRC);
- флаг расширения PES-пакета (PES\_extension\_flag);
- длина данных заголовка ПЭП (PES)-пакета (PES\_header\_data\_length);
- необязательные поля:
- сигналы синхронизации (ESCR);
- скорость элементарного потока (ES\_rate);
- частные данные ПЭП (PES)-пакета (PES\_private\_data);
- длина поля расширения ПЭП (PES)-пакета (PES\_extension\_field\_length);
- данные поля расширения ПЭП (PES)-пакета (PES\_extension\_field\_data);
- байт стаффинга (stuffing\_byte).

Пакеты транспортного потока MPEG имеют постоянную длину 188 байт. Они включают в себя заголовок длиной 4 байт и область полезных данных длиной 184 байт. Структура основных полей транспортного потока MPEG, в соответствии с [6], показана на рисунке 1.2.

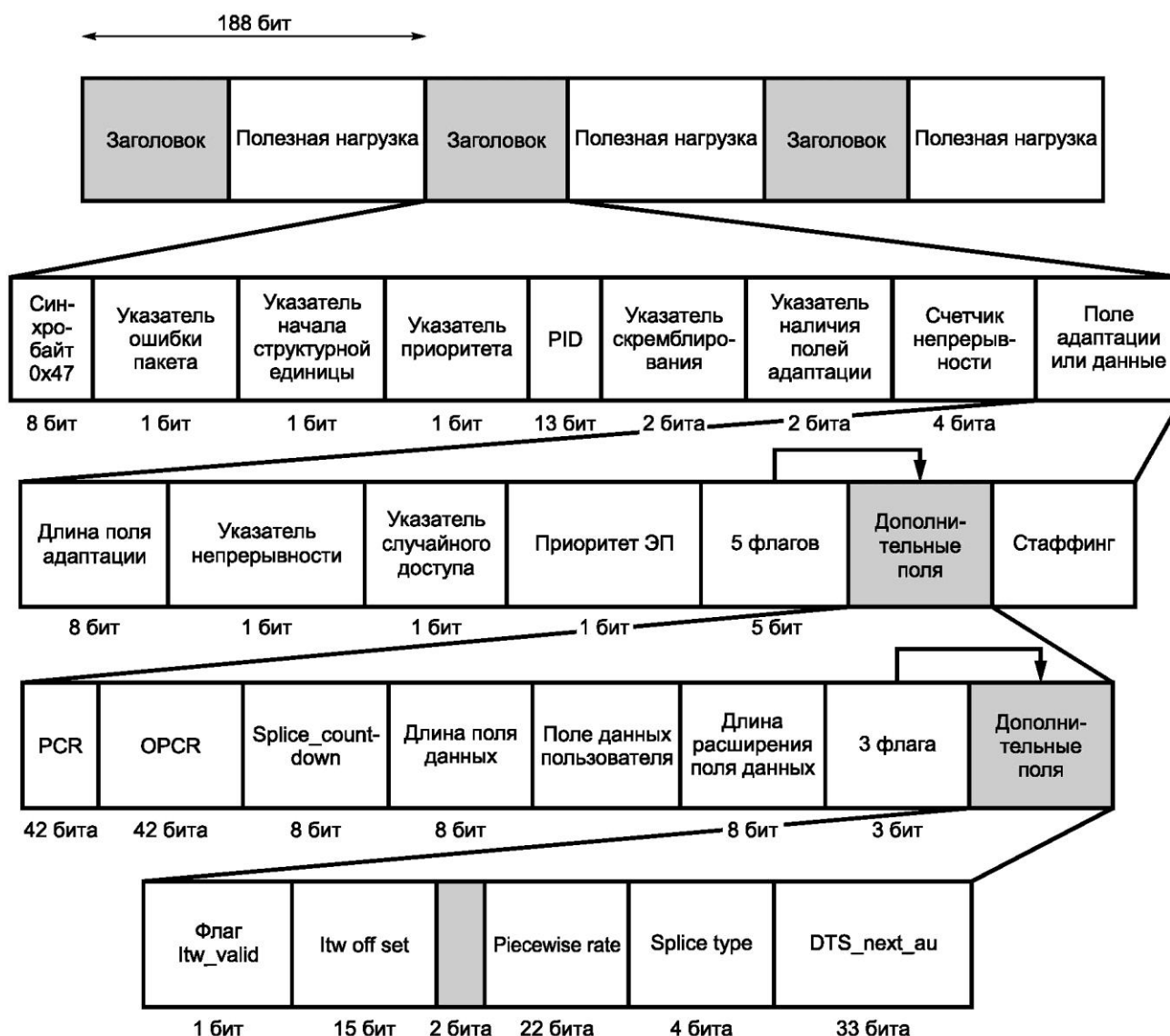


Рисунок 1.2 - Структура основных полей транспортного потока MPEG

Заголовок пакета транспортного потока MPEG последовательно включает в себя:

- синхробайт (sync\_byte) — байт синхронизации; в нем всегда записано кодовое число 0x47;
- три флага заголовка по одному биту несут информацию:
- об ошибках передачи (transport\_error\_indicator);
- индикатор содержания блока полезной нагрузки (payload\_unit\_start\_indicator) — сообщает о передаче ПЭП-пакета или сервисной информации SI;

- приоритет передачи (transport\_priority);
- идентификатор типа пакета (PID), 13 бит, сообщает о принадлежности пакета конкретному потоку данных;
- указатель скремблирования (transport\_scrambling\_control), 2 бита, сообщает о наличии или отсутствии скремблирования;
- указатель наличия или отсутствия полей адаптации (adaptation\_field\_control), 2 бита. Значения полей adaptation\_field\_control показаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Значения полей adaptation\_field\_control

Значение бита	Описание
00	Зарезервировано для применений в будущем
01	Поле adaptation_field_control отсутствует. Передается только полезная нагрузка
10	Передается только поле adaptation_field_control. Полезная нагрузка не передается
11	Передается поле adaptation_field_control. Передается полезная нагрузка

- счетчик непрерывности пакетов (continuity\_counter), 4 бита, при приеме каждого следующего пакета с данным PID увеличивает свое значение на единицу и после 15-го пакета возвращается в состояние «0»;
- поле адаптации или данные (adaptation\_field) содержит:
- указатель длины поля (adaptation\_field\_length), 1 байт;
- указатель непрерывности счета времени во временных метках (discontinuity\_indicator), 1 бит; значение "1" указывает на изменение базы отсчета времени;
- указатель случайного доступа (random\_access\_indicator), 1 бит;
- указатель приоритета элементарного потока (elementary\_stream\_priority\_indicator), 1 бит;
- пять флагов;

- дополнительные поля (optional\_fields):
- поле PCR (PCR\_fields), 42 бита;
- поле OPCR (GPCR\_fields), 42 бита;
- указатель числа пакетов до стыка (Splice\_count-down), 8 бит, — указывает число пакетов с тем же PID в транспортном потоке, оставшихся до точки бесшовного входа в поток;
- длина поля данных (transport\_private\_data\_lenght), 8 бит;
- поле данных пользователя (transport\_private\_data);
- длина расширения поля адаптации (данных) (adaption\_field\_extension\_fields), 8 бит.

Оставшуюся часть поля адаптации занимают служебные данные.

## 1.2 Основные параметры таблицы программно-зависимой информации (PSI), таблицы информации о службах (SI)

Минимально необходимый объем данных для декодирования транспортного потока передается в его составе в виде 3-х таблиц программно-зависимой информации (информации о программах) PSI: PAT, CAT, PMT.

В дополнение к таблицам PSI, в соответствии с [3], в транспортном потоке передаются обязательные таблицы информации о службах SI: NIT, SDT, EIT, TDT, а также необязательные таблицы информации о службах: BAT, TOT, RST. Полная совокупность таблиц PSI, SI представлена на рисунке 1.3.



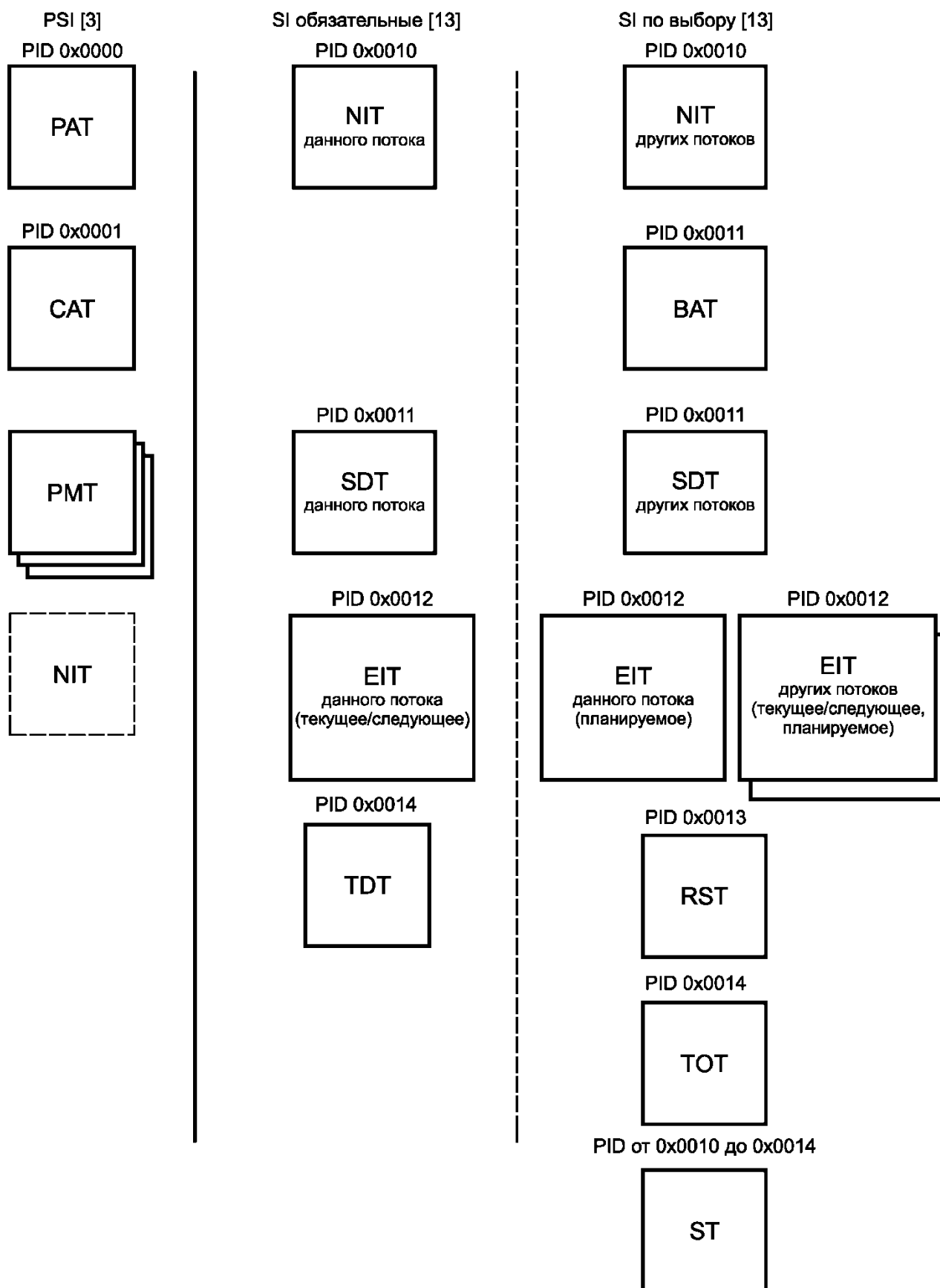


Рисунок 1.3 Полная совокупность таблиц PSI, SI

Таблицы PSI и SI характеризуются значениями идентификаторов в

соответствии с таблицей 1.2 [3].

Таблица 1.2 - Значения идентификаторов

Таблица	table_id	PID	Таблица	table_id	PID
PAT	0x00	0x0000	NIT	0x40	0x0010
CAT	0x01	0x0001	BAT	0x4A	0x0011
PMT	0x02	указано в PAT	TDT	0x70	0x0014
EIT	0x4E	0x0012	TOT	0x73	0x0014
SDT	0x42	0x0011	RST	—	0x0013

Все таблицы передаются в отдельных пакетах и сегментируются в секции. Длина секции не превышает 1024 байт. Секция таблицы EIT равна 4096 байт. Если пакет не заполняется секцией полностью, то незаполненная часть пакета заполняется байтами стаффинга 0xFR.

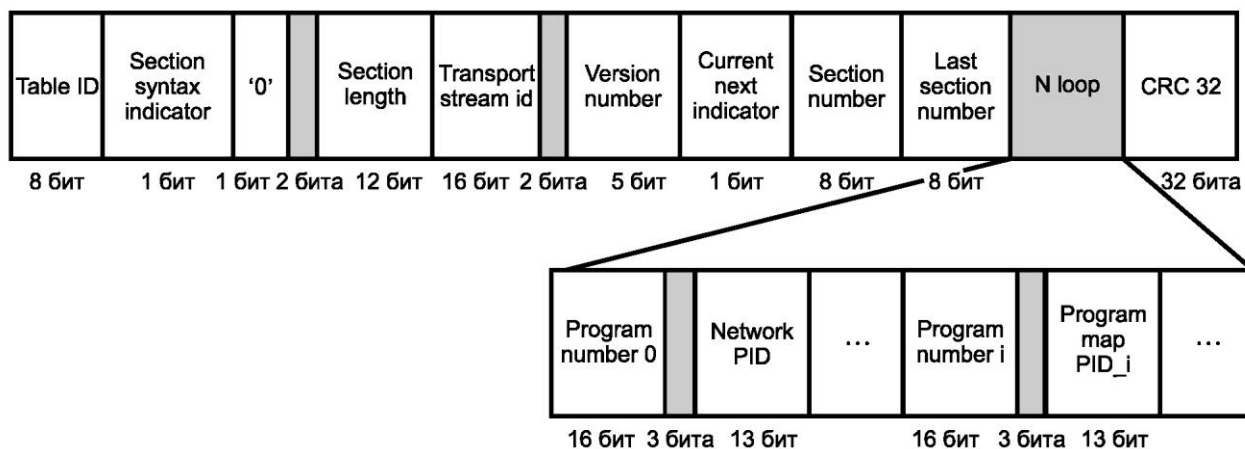


Рисунок 1.4 — Диаграмма полей секций таблицы PAT

PAT-таблица взаимосвязи (ассоциации) программ, диаграмма полей которой представлена на рисунке 1.4, содержит данные о всех программах, передаваемых в транспортном потоке в виде PID-идентификаторов этих программ. Каждый такой PID определяет местонахождение таблицы состава программы PMT. Таблица PAT определяет местоположение таблиц сетевой информации NIT.

Секции уникально идентифицированы комбинацией элементов. В таблице 1.3 показаны основные идентификаторы полей секций таблицы PAT.

Таблица 2.3 - Основные идентификаторы полей секций таблицы PAT

Идентификаторы полей	Длина идентификатора. Выполняемая функция
table_id	1 бит: определяет таблицу, к которой принадлежит секция; секции PAT соответствует значение 0x00
section_syntax_indicator	1 бит: секции PAT соответствует значение 0x00
section_length	12 бит: длина секций PAT
transport_stream_id	16 бит: используется как метка для выделения конкретного ТП из всех доступных в сети. Значение определяется пользователем
version_number	5 бит: номер версии таблицы PAT; фиксирует каждое изменение содержания таблицы
current_next_indicator	1 бит: определяет назначение секции — для применения «сейчас» или для применения в будущем («следующая»).
section_number	8 бит: определяет номер данной секции в таблице PAT
last_section_number	8 бит: содержит номер section_number для последней секции таблицы PAT
program_number	16 бит: в соответствии с [3] (2.4.4.5)
network_PID	13 бит: в соответствии с [3] (2.4.4.5)
program_map_PID	13 бит в соответствии с [3] (2.4.4.5)
N_loop, содержит N пар полей данных. В каждой паре полей: - первое поле program_number, - второе поле network_PID или program_map_PID	Переменная длина 16 байт: содержит номер программы 13 байт: содержит сетевой PID 13 байт: содержит программный PID
CRC_32	32 бита: поле кода циклической проверки, контролирует ошибки во всей секции таблицы PAT при использовании генераторного полинома

CAT-таблица ограниченного доступа, содержит PID всех сообщений EMM всех систем ограниченного доступа и информацию о всех системах ограниченного доступа, применяемых в данном мультиплексе. Таблица CAT включает в себя одну или более секций.

Диаграмма полей секции таблицы CAT показана на рисунке 1.5.

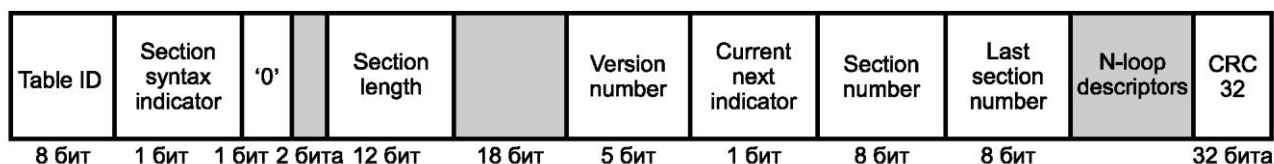


Рисунок 1.5 — Диаграмма полей секции таблицы SAT

В таблице 1.4 показаны основные идентификаторы полей секций таблицы SAT.

Таблица 1.4 - Основные идентификаторы полей секций таблицы SAT

Поле	Длина идентификатора. Выполняемая функция
table_id	1 бит: определяет таблицу, к которой принадлежит секция; секции SAT соответствует значение 0x01
section_syntax_indicator	1 бит: секции SAT соответствует значение 0x01
section_length	12 бит: длина секций SAT; определяет число байт секции, начинающихся сразу после поля section_length; первые два бита имеют значение 00
version_number	5 бит: номер версии таблицы SAT; фиксирует каждое изменение содержания таблицы
current_next_indicator	1 бит: определяет назначение секции — для применения «сейчас» или для применения в будущем («следующая»)
section_number	8 бит: всегда установлен в 0x00
last_section_number	8 бит: всегда установлен в 0x00
N-loop descriptors	Переменная длина: в соответствии с [3]
CRC_32	32 бита: поле кода циклической проверки, контролирует ошибки во всей секции таблицы SAT при использовании генераторного полинома

В таблице 1.5 в соответствии с [3] показан перечень сообщений (дескрипторов полей) секции SAT.

Таблица 1.5 - Перечень сообщений (дескрипторов полей) секции CAT

Синтаксис	Количество бит	Мнемоника
CA_section () {		
table_id	8	uimsbf
Section syntax indicator	1	bslbf
'0'	1	bslbf
reserved	2	bslbf
Section_length	12	uimsbf
reserved	18	bslbf
Version_number	5	uimsbf
Current_next_indicator	1	bslbf
Section_number	8	uimsbf
Last_section_number	8	uimsbf
For(i = 0; i < N; i++) {		
Descriptor()		rpchof
}		
CRC_32	32	rpchof
}		

PMT-таблица структуры программы, содержит идентификаторы PID всех компонентов конкретной программы. Таблица PMT идентифицирует и индицирует местоположение потоков каждой службы и указывает местоположение меток PCR.

Секции таблицы PMT уникально идентифицированы комбинацией элементов.

Диаграмма полей секций таблицы PMT показана на рисунке 1.6 [3].

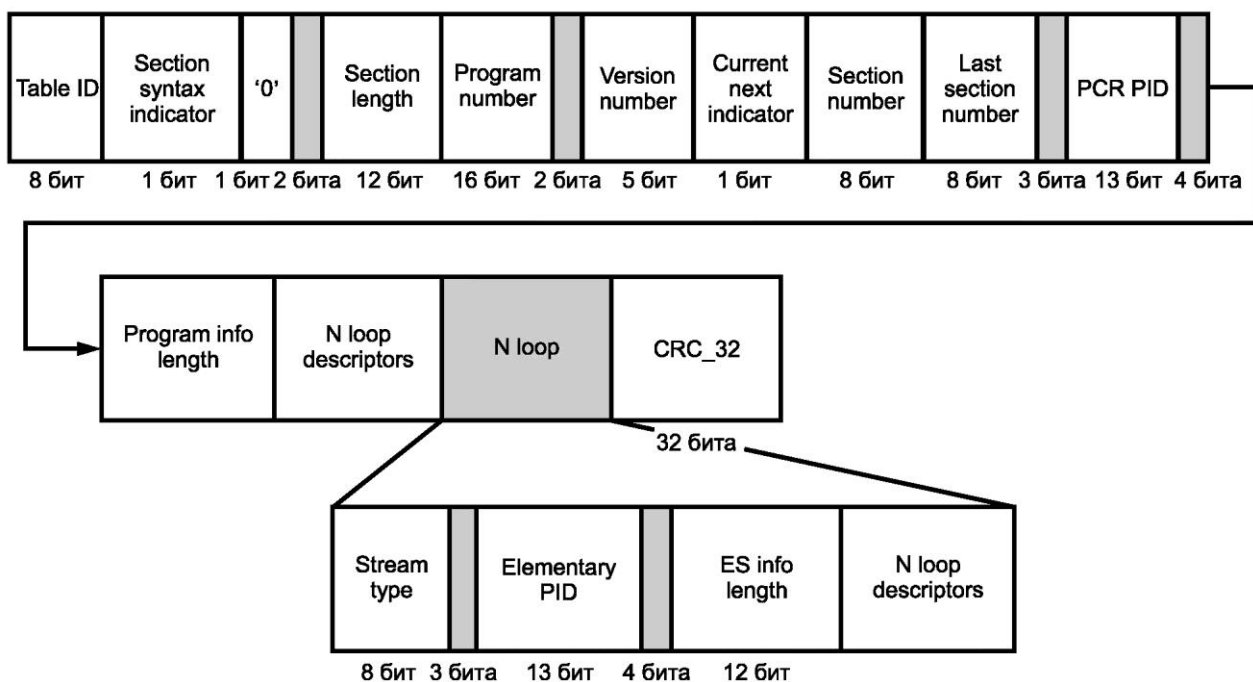


Рисунок 1.6 - Диаграмма полей секций таблицы PMT

В таблице 1.6 показаны идентификаторы полей секций таблицы PMT

Таблица 1.6 - Идентификаторы полей секций таблицы PMT

Поле	Длина идентификатора. Выполняемая функция
table_id	1 бит: определяет таблицу, к которой принадлежит секция; секции PMT соответствует значение 0x02
section_syntax_indicator	1 бит: секции PMT соответствует значение 0x01
section_length	12 бит: длина секций PMT
program_number	16 бит: определяет номер программы, к которой применим идентификатор program_map_PID
version_number	5 бит: номер версии таблицы PMT; фиксирует каждое изменение содержания таблицы
current_next_indicator	1 бит: определяет назначение секции — для применения «сейчас» или для применения в будущем («следующая»).
section_number	8 бит: всегда установлен в 0x00
last_section_number	8 бит: всегда установлен в 0x00

Продолжение таблицы 1.6

PCR_PID	13 бит: определяет PID пакетов ТП, который содержит эталонные метки времени PCR программы, описываемой в поле program_number
program_info_length	12 бит: первые два бита имеют значение 00; остальные 10 бит определяют число байт в дескрипторах программы, следующих непосредственно за этим полем
N_loop_descriptors	Переменная длина: определяет дескрипторы в соответствии с [3]
stream_type	8 бит: определяет тип элементарного потока со значением PID в соответствии с [3] (таблица 2—29)
elementary_PID	13 бит: определяет идентификатор PID транспортного потока, который несет взаимосвязанный транспортный поток
ES_info_length	12 бит: первые два бита имеют значение 00; остальные 10 бит определяют количество дескрипторов взаимосвязанного транспортного потока, следующего непосредственно за этим полем
N_loop, содержит поля stream_type elementary_PID ES_info_length	8 бит: определяет тип элементарного потока или полезной нагрузки 13 бит: определяет идентификатор PID транспортного потока, который несет взаимосвязанный элементарный поток или полезную нагрузку 12 бит: определяет число байт дескриптора взаимосвязанного элементарного потока, следующего непосредственно за полем ES_info_length
CRC_32	32 бита: поле кода циклической проверки, контролирует ошибки во всей секции таблицы PMT при использовании генераторного полинома

NIT-таблица сетевой информации, содержит данные:

- об имени сети (network\_id);
- о параметрах всех передаваемых транспортных потоков, на которые возможна настройка декодера абонентского приемника: о физических параметрах кабельной, спутниковой или наземной сети вещания.

Таблица NIT имеет две версии:

- таблица NIT данной сети. Она обязательна для передачи и имеет `network_id = 0x40`;
- таблица NIT других сетей. Она не обязательна для передачи и имеет `network_id = 0x41`.

EIT-таблица информации о событиях, содержит сведения о начале и окончании текущего, следующего и будущего событий. Описание событий включает в себя данные: идентификатор события `event_id`, время начала, длительность события, код языка, индикатор скремблирования, название события, краткое описание.

Таблица EIT имеет две версии:

- укороченная версия таблицы EIT: содержит описание только текущего и следующего события. Она обязательна для передачи и имеет `network_id = 0x40`;
- полная версия таблицы EIT: содержит описание планируемых событий на период от 1 до 7 суток. Она не обязательна для передачи и имеет `network_id = 0x41`.

Таблица EIT в укороченной версии передаётся в двух секциях. Номер секции текущих событий `0x00`. Номер секции следующих событий `0x01`.

Таблица EIT в полной версии передается:

- для данного потока в составе 16 субтаблиц со значениями `table_id` от `0x50` до `0x5F`;
- для планируемого потока событий в составе 16 субтаблиц со значениями `table_id` от `0x60` до `0x6F`

Таблица для планируемого потока событий может скремблироваться.

Каждая субтаблица содержит 256 секций (32 сегмента по 8 секций). Длина секции 4096 байт. Каждый сегмент включает информацию о событиях, которые произойдут на интервале отрезка времени, равного 3 ч.

SDT-таблица описания служб, описывает службы (сервисы), передаваемые в транспортном потоке. Таблица SDT имеет две версии:



- о данном транспортном потоке. Она обязательна для передачи;
- о других транспортных потоках данной сети или данного букета. Она не обязательна для передачи.

TDT-таблица времени и даты, содержит данные о всемирном кодированном времени UTC, которое может использоваться в декодере транспортного потока для обновления текущего времени. Таблица TDT обязательна для передачи.

Таблицы BAT, TOT, RST, ST не обязательны для передачи.

BAT (Bouquet Association Table) — факультативная DVB-таблица с описаниями услуг, входящих в один букет (группу услуг, которая может быть продана как единый продукт).

TOT (Timing Offset Table) — эта таблица содержит универсальное время и дату, а также разницу между универсальным и местным временем для разных географических поясов.

RST (Running Status Table) — факультативная служебная DVB-таблица. Содержит информацию об изменениях в расписании событий. Позволяет вещателям при появлении изменений не передавать повторно всю таблицу EIT.

ST (Stuffing Table) — факультативная DVB-таблица, содержащая команды полной замены таблиц, которые были частично переписаны на головной станции сети, ретранслирующей поток. Это позволяет поддержать прежнюю последовательность изложения данных в таблице.

## 2 Программно-аппаратный лабораторный комплекс по исследованию и анализу мультимплексов, использующихся в телерадиовещании

### 2.1 Цель работы

1. Приобретение практических навыков при проведении измерений качественных и количественных параметров мультимплексированных транспортных потоков, получаемых с использованием спутниковых ресиверов, цифровых измерительных приемников или воспроизводимых на компьютере по технологии DVB-T/T2.

2. Приобретение практических навыков при проведении анализа транспортных потоков MPEG-2/MPEG-4, используемых в технологии DVB с помощью свободно распространяемого программного анализатора транспортного потока 4T2 Content Analyser германской компании Advanced Broadcast Components Ltd.

### 2.2 Порядок подготовки к лабораторному исследованию

В состав программно-аппаратного комплекса, помимо компьютеров с предустановленными офисными программами, входят следующие измерительные приборы и специализированное ПО:

1. Спутниковый ресивер PBI;
2. Измерительный приемник Alitronika;
3. Специализированное ПО DvsStation3 для измерительного приемника DVB-T/T2 компании Alitronika;
4. Спутниковая антенна, настроенная на прием одного из Российских спутников;
5. Антенна дециметрового диапазона;

## 6. Анализаторы транспортных потоков Alitronika и Dektec.

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.

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.

### 2.3 Краткие практические сведения об использовании аппаратного и программного обеспечения для исследования транспортных потоков

2.3.1 Анализатор транспортного потока DVB-T/T2 Enensys DiviDual 5200130 относится к экспертным анализаторам мониторинга DVB -T2MI [7].



Рисунок 2.1 - Внешний вид анализатора Enensys DiviDual

Устройство DiviDual T2MI представляет собой портативный анализатор с функциями анализа, записи и потокового воспроизведения DVB T2-MI и MPEG2 TS в режиме реального времени. Внешний вид анализатора представлен на рисунке 2.1 [13].

DiviDual T2MI обеспечивает выполнение анализа всех параметров T2MI в режиме реального времени:

- кадров BB;
- кадров L1;
- декодирования временных меток.

Для мониторинга MPEG2-TS реализовано три уровня приоритетов ETR290; контроль скорости может выполняться либо глобально, либо для каждой службы, также могут использоваться настраиваемые аварийные сигналы. В это устройство также интегрирован видеodeкодер, обеспечивающий декодирование в режиме реального времени всех некодированных служб. Поскольку оборудование DVB стандарта T2 распространено по всему миру, устройство DiviDual T2MI обеспечивает экономически эффективное решение тестирования и потокового воспроизведения для лабораторного и эксплуатационного применения.

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.

2.3.2 Анализатор транспортного потока DVB-T Dektec DTU-245. DTA-245 - удобный, компактный USB адаптер предназначен для генерации, приема и

анализа транспортных потоков MPEG-2 (DVB-ASI) и несжатого цифрового видео (SDI). Внешний вид анализатора DVB-T Dektec DTU-245 представлен на рисунке 2.2 [8].



Рисунок 2.2 - Внешний вид анализатора Dektec DTU-245

К основным характеристикам анализатора Dektec DTU-245 относятся [8]:

- мощные инженерные инструментальные средства анализа и визуального отображения;
- портативный анализатор DVB-ASI и SDI потоков;
- USB усиление, не требующее отдельного блока питания;
- независимая работа входа и выхода;
- полнодуплексный режим: максимум объединенный поток – 160 Мбит/с;
- полудуплексный режим: полный диапазон DVB-ASI и SDI;
- локальный, аппаратный в 16 Мбайт буфер для устойчивого приема потока в реальном времени.

Области применения [15]:

- USB адаптер общего назначения для сбора, генерации и обработки ASI и SDI потоков;
- запись и анализ транспортного потока на месте измерения;
- портативное оборудование для демонстрации.

2.3.3 Анализатор транспортного потока DVB-T Alitronika. Анализаторы транспортных потоков TS от компании Alitronika DVS – это профессиональные решения различной степени интеграции для контроля цифрового головного оборудования, а также переносные устройства для полевых измерений [9].

Данные устройства идеально подходят как для контроля и анализа MPEG-2/MPEG-4 DVB-S2/S/T2/T/H TS потоков на уровне головной станции, так и при выполнении различных лабораторно-полевых задач на уровне DVB-C в линии. Широкая линейка устройств содержит кроме адаптеров весь спектр модуляторов DVB-S/S2/T/T2/C/H.

Фактически анализ потоков осуществляется программными средствами на персональном компьютере. Аппаратная часть является адаптером транспортных потоков и предназначена для согласования TS MPEG-2/MPEG-4 с USB портом или шиной PCI компьютера.

В комплекте оборудования поставляется бесплатное программное обеспечение начального уровня DVSSStation3, которое позволяет анализировать транспортные потоки, контролировать их структуру, анализировать ошибки в режиме реального времени, произвести все основные измерения, записать и воспроизвести TS. Отдельно необходимо отметить отсутствие каких-либо лицензионных ограничений.



Рисунок 2.3 - Внешний вид анализатора транспортного потока Alitronika AT4USB AsiPod

Внешний вид анализатора транспортного потока Alitronika AT4USB AsIPod представлен на рисунке 2.3 [9].

Анализаторы Alitronika DVS поддерживаются различным профессиональным программным обеспечением: TSReader, VideoLan, DVBAAnalyzer, DVBMosaic, DVBLoudness, DVBMonitor и многими другими программными продуктами.

Устройства являются профессиональным и предназначены для использования операторами кабельных цифровых телевизионных сетей (CATV) и широкополосного доступа, ТВ-студиями, центрами мультиплексирования и другими провайдерами в сетях общего доступа для анализа и мониторинга цифровых DVB MPEG-2/MPEG-4 TS потоков.

2.3.4. Специализированное ПО для исследования транспортных потоков MPEG-2/4. В данном программно-аппаратном лабораторном комплексе наиболее оптимально использовать программные продукты, которые имеют свободно распространяемые или триал-версии: DvsStation3 компании Alitronika (<http://www.alitronika.com/dvsstation3.htm>), 4T2 Content Analyser компании Advanced Broadcast Components Ltd (<http://www.4t2.eu/4T2-Content--Analyser/4t2-content--analyser.html>), StreamGuru MPEG & DVB Analyzer компании GkWare e.K. (<http://www.streamguru.de/>), TSReader компании COOL.STF (<http://www.tsreader.com/>).

Однако ряд программ из перечисленных выше, имеют существенные недостатки или их бесплатные версии существенно ограничены по функционалу. Например, программа DvsStation3 компании Alitronika не может раскрыть транспортный поток формата T2-MI, TSReader в версии Lite имеет очень ограниченный функционал, программа StreamGuru MPEG & DVB Analyzer предназначена для анализа потокового видео, а анализ записанного транспортного потока производит не корректно. К тому же эта программа имеет триал-версию с ограниченным 10 сутками функционированием. Наиболее полностью удовлетворяющей требованиям, как по функционалу, так и по полноте представления информации, является прикладное ПО компании

Advanced Broadcast Components Ltd для анализа и исследования транспортных потоков различных форматов 4T2 Content Analyser. Именно работе с данной программой посвящена разработка программно-аппаратного комплекса.

## 2.4 Общие сведения прикладном программном обеспечении 4T2 для исследования транспортного потока

Первоначально ПО 4T2 Content Analyser выступало в качестве мониторинга программного обеспечения, однако вскоре программный продукт превратился в интерактивный центр управления всем оборудованием, выпускаемым данной компанией в качестве современных вещательных компонентов.

Анализ транспортного потока работает на стандартной платформе Windows всех наиболее распространенных версий.

Используемые передовые технологии по раскодированию новых видеоформатов hevc и uhd, T2-MI демультиплексирования и потоковой передачи, делают 4t2-анализатор оптимальным выбором для инженеров и техников, которым при поиске альтернативных продуктов не хватает множества специфических ключевых особенностей.

Автономные версии программы позволяют использовать ее для анализа IPTV с UDP на серверах IP-вещания.

4t2-анализатор поддерживает выполнение следующих функций:

- эфирный DVB-T/T2, спутниковый DVB-C/C2, ASI, IP и файловый интерфейс;
- анализ стандарта DVB-T MIP Megaframe Initialisation Packets;
- визуализация PID пакетов, идентификаторов;
- визуализацию интервалов повторения таблиц, как они определены в TR.101.290;
- TR.101.290 анализ и визуализации первой, второй, третьей очереди



ошибок;

- измерение PCR и джиттера;
- мульти-просмотр содержимого декодирования, в том числе H.264 и H.265;
- измерение громкости аудио-сервисов;
- «заморозка» отображения служб в транспортном потоке;
- комплексное ведение журнала имеет и мощные возможности сортировки данных;
- регистрация транспортного потока на диск на наличие ошибок (с историей);
- несколько запущенных программ могут выполняться одновременно;
- поддержка нескольких входов одновременно;
- возможность удаленного управления с полной поддержкой SNMP;
- 4t2-анализатор доступен как 32-разрядных, так и 64-разрядных ОС.

Внешний вид интерфейса программы при ее первом запуске показан на рисунке 2.4. При этом открывается первая вкладка меню Input/Output (входы/выходы), в которой можно выбрать источник получения транспортного потока или способ его выдачи для внешних потребителей. В данном случае на рисунке показано, что в качестве источника могут быть выбраны файлы транспортного потока (TS-File), которые заранее были записаны на жесткий диск компьютера. Путем нажатия на кнопку, изображающую отвертку и гаечный ключ можно указать путь к данному файлу. Если требуется использовать другой источник получения транспортного потока, то его можно выбрать из выпадающего списка в окне выбора источника, как показано на рисунке 2.5.

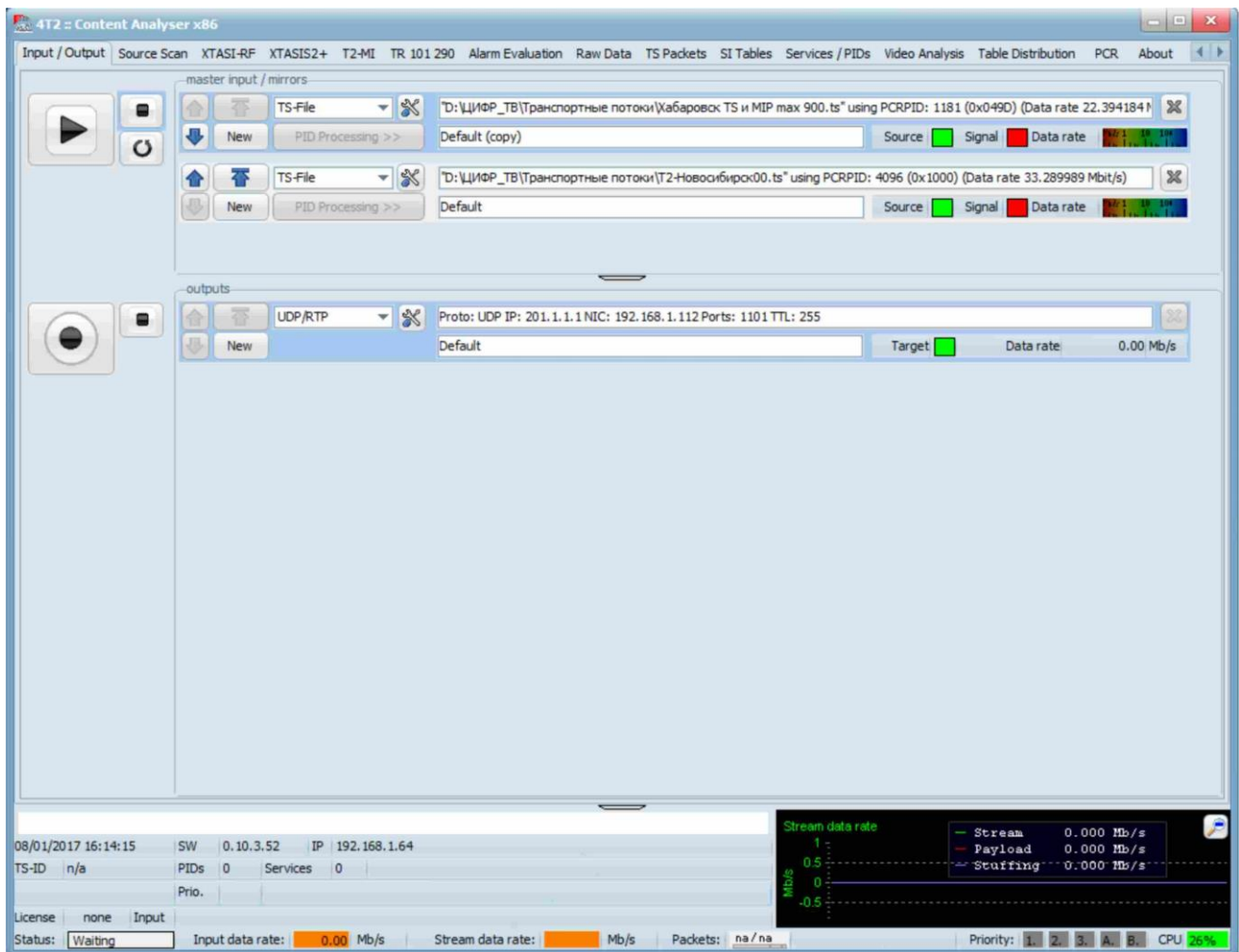


Рисунок 2.4 – Интерфейс программы 4T2 при первом запуске

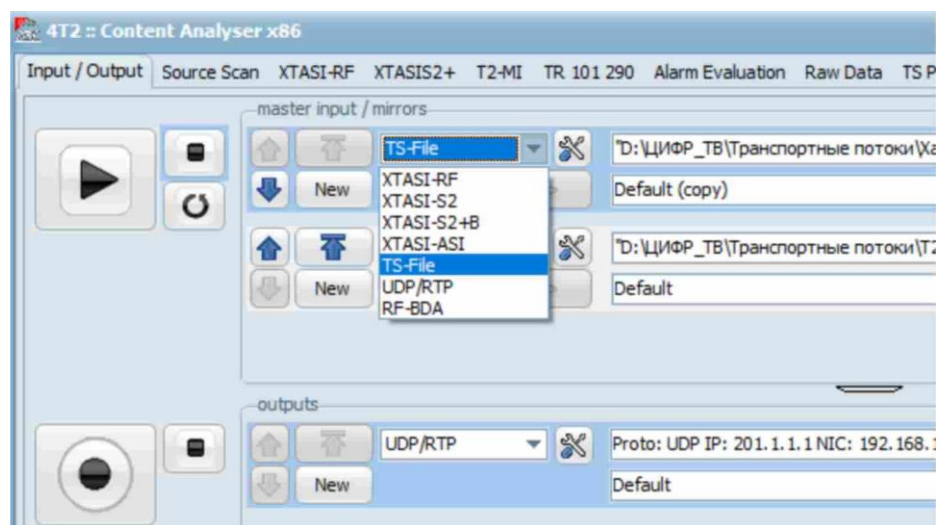


Рисунок 2.5 – Выбор источника получения транспортного потока

Жирными стрелками «вверх» и «вниз» можно выбирать, какой из транспортных потоков будет выбран для воспроизведения. Большой треугольник и квадрат в левой части окна обозначают кнопки «воспроизведение» и «стоп», соответственно. Кнопка с круглой стрелкой означает включение повтора воспроизведения транспортного потока.

Следует отметить, что при наведении курсора мыши на кнопку, всплывает подсказка по выполняемой при ее нажатии функции.

В нижней части окна находится индикатор воспроизведения транспортного потока, информирующий пользователя о скорости передачи потока, используемых ресурсах процессора, наборе транслируемых сервисов, ошибках различных приоритетов, возникающих в транспортном потоке, как показано на рисунке 2.6.

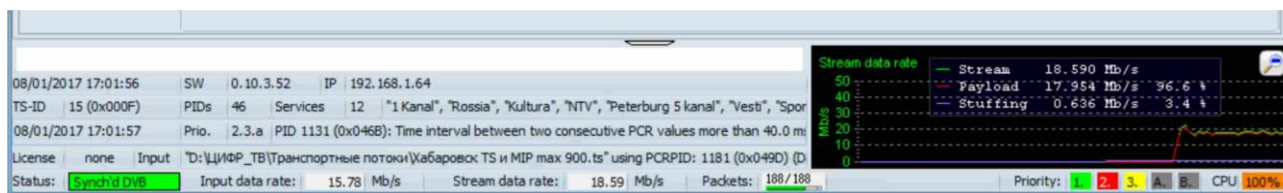


Рисунок 2.6 – Информация о параметрах транспортного потока

Вторая вкладка меню Source Scan позволяет сохранить программные установки и настройки используемого совместимого с ПО оборудования. Окно меню Source Scan представлено на рисунке 2.7.

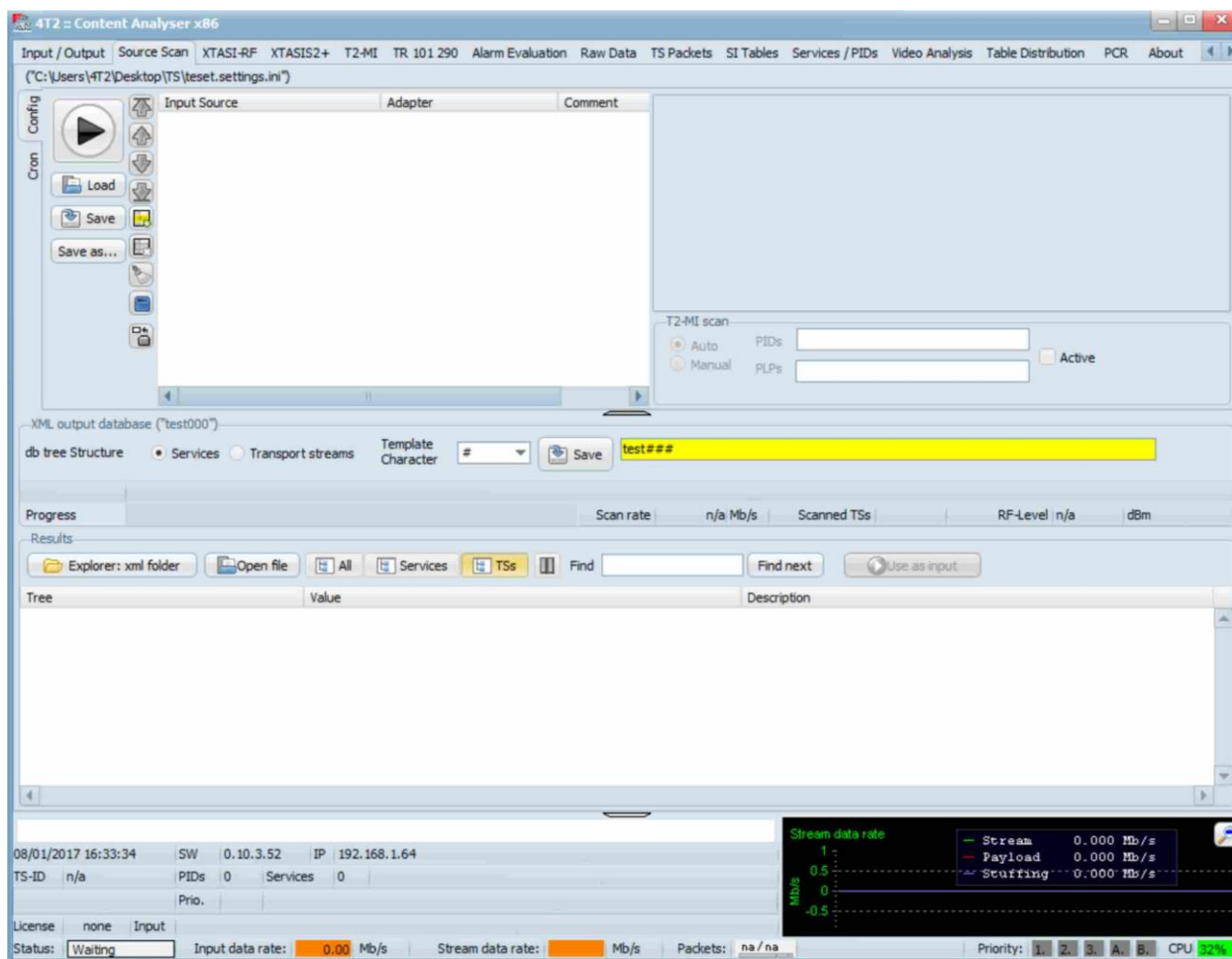


Рисунок 2.7 - Окно меню Source Scan

Вкладки меню XTASI-RF и XTASI2+ предназначены для работы с оборудованием компании Advanced Broadcast Components Ltd: измерительным приемником Broadcast Multi Probe bmp3000, портативным измерительным приемником 4T2 Portable, анализатором транспортного потока XTASI-ASI, приемником DVB-T/T2 XTASI-RF, Контент-анализатором (все в одном) 4T2 Rack.

В создаваемом программно-аппаратном комплексе перечисленные приборы не используются по причине своего отсутствия и поэтому возможности программы с использованием вкладок меню XTASI-RF и XTASI-S2+ показаны не будут. Интерфейс окон этих вкладок представлен на рисунках 2.8 и 2.9.

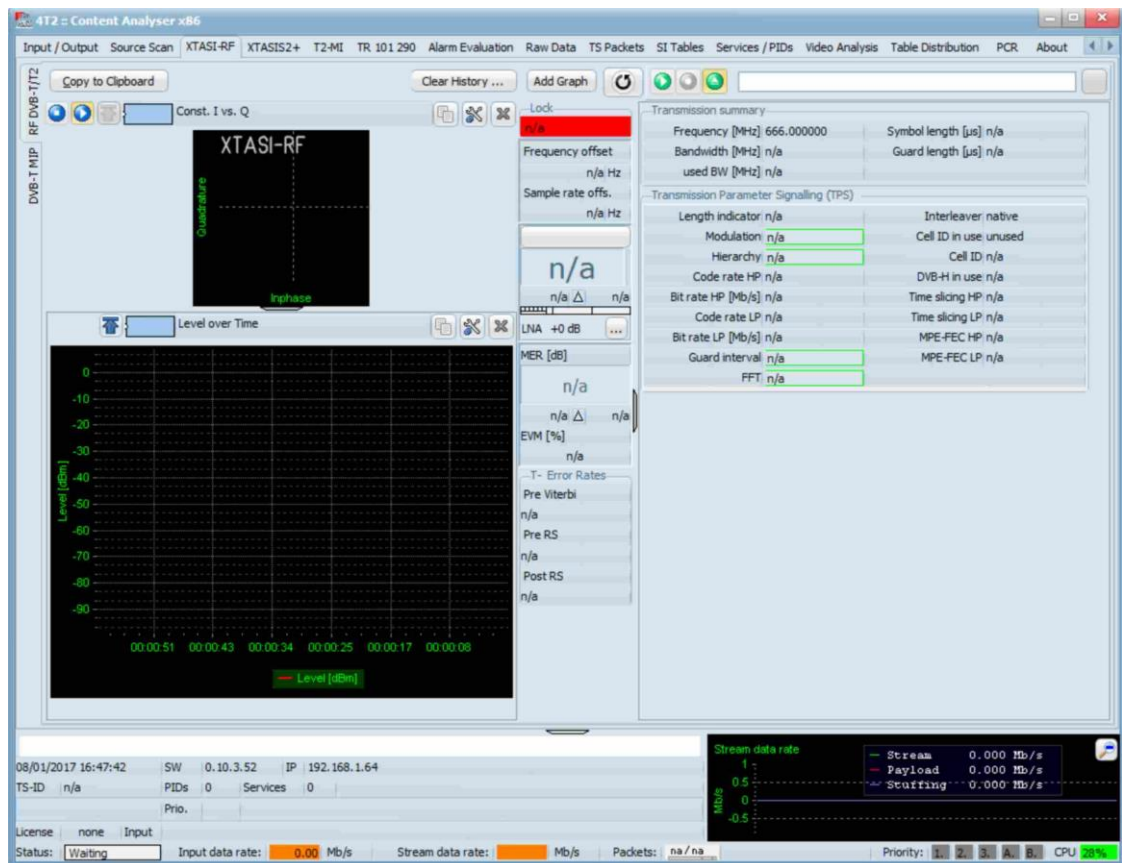


Рисунок 2.8 – Интерфейс меню XTASI-RF

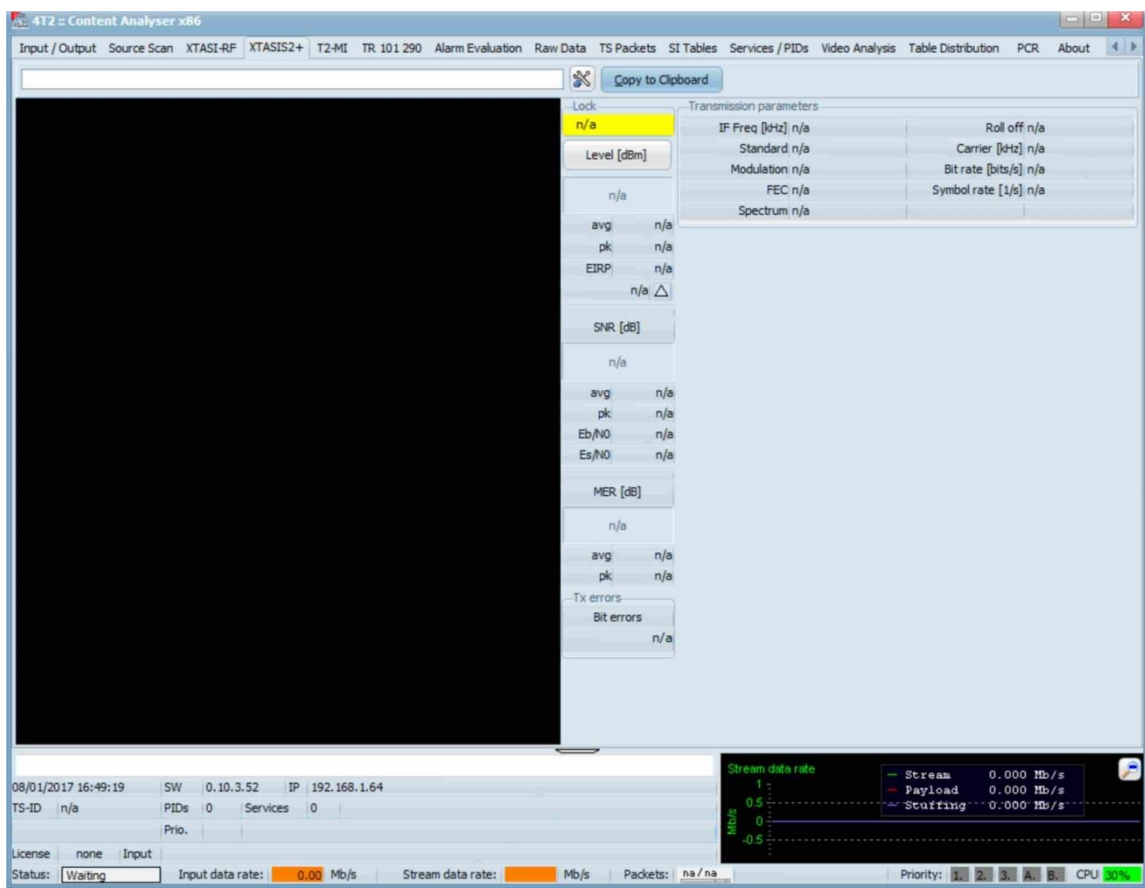


Рисунок 2.9 - Интерфейс меню XTASI-S2+

Вкладка меню T2-MI используется в случае исследования транспортного потока современного стандарта вещания DVB-T2 который использует, так называемую, multiple-PLP структуру сигнала, содержащего в своем составе несколько виртуальных контейнеров с определенным набором транспортных потоков. При этом каждый контейнер может иметь свои собственные модуляционные параметры.

Пример окна меню T2-MI при воспроизведении транспортного потока DVB-T2 с названием «Новосибирск» представлен на рисунке 2.10.

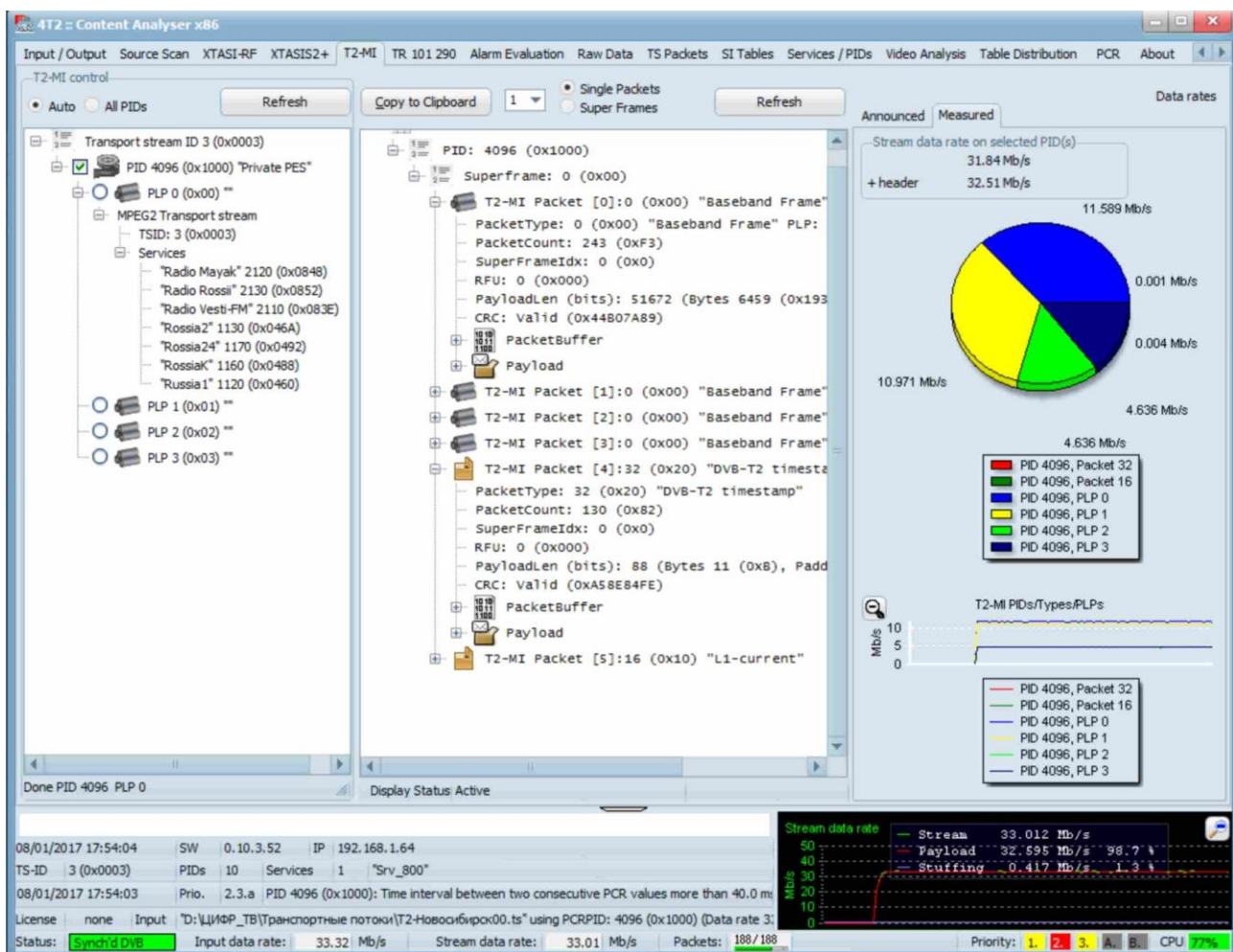
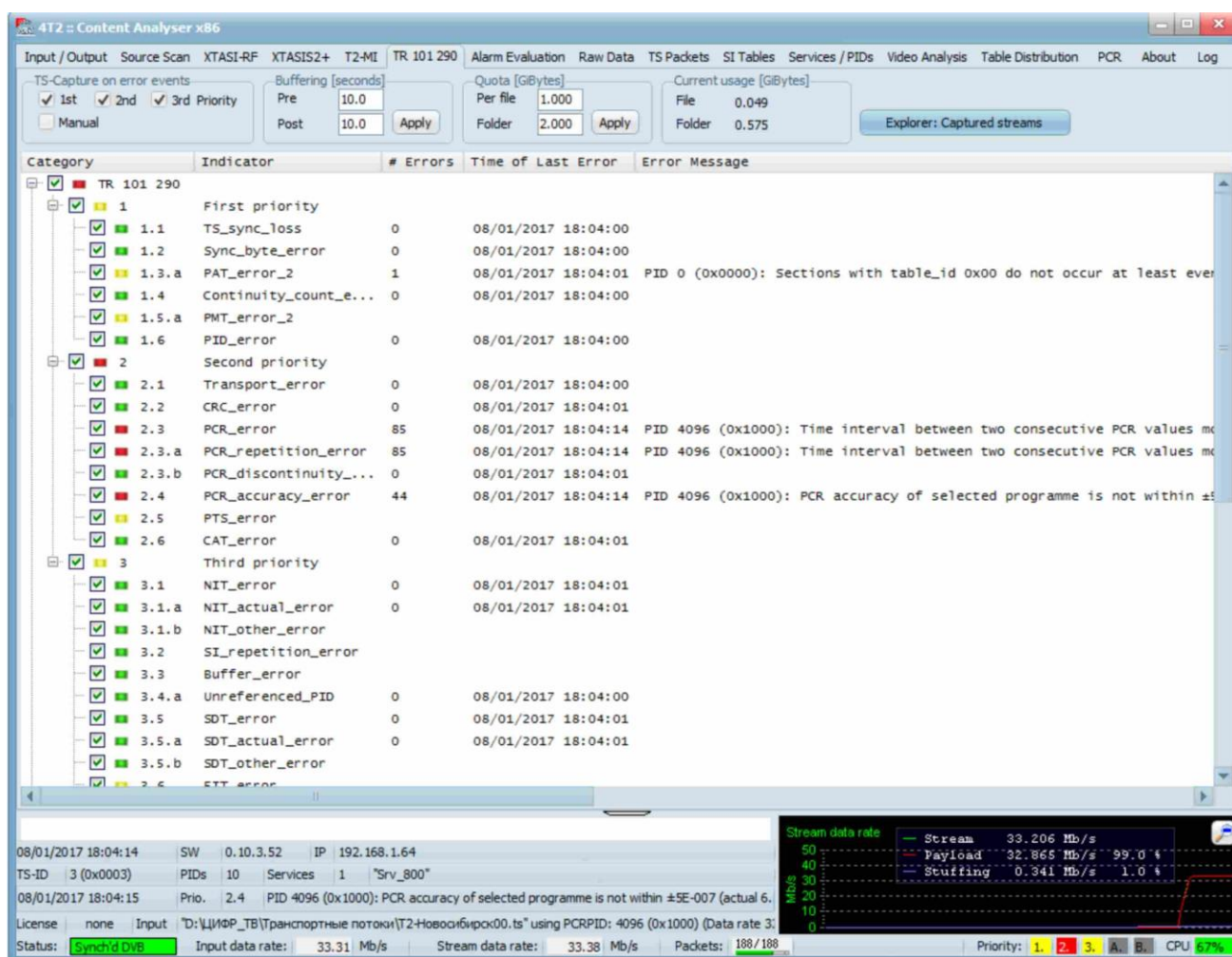


Рисунок 2.10 - Окно меню T2-MI при воспроизведении транспортного потока DVB-T2

4T2-анализатор позволяет не только просмотреть содержимое транспортного потока, но и контролировать наличие ошибок различных



приоритетов в его составе. Ошибки транспортного потока первого приоритета, как правило, приводят к потере или искажению отображаемого на экране видео. Ошибки второго уровня приоритета могут иметь важное значение при определении параметров транспортного потока, но не приводят к искажению или потере сигнала. Ошибки третьего приоритета не являются важными и могут быть проигнорированы системой при воспроизведении транспортного потока.



Вкладка Alarm Evaluation позволяет программно прописать действия оборудования при возникновении ошибки транспортного потока того или иного приоритета. Примеры программных модулей приведены в инструкции по работе с программным продуктом «4T2-анализер» и в данной разработке не приводятся.

Вкладка Raw Data (рисунок 2.12). Эта вкладка лист позволяет анализировать транспортные контент до того, как сигнал пакетизируется. Лист позволяет проверить транспортный поток на уровне байтов. При этом синхронизации требуется. Функцию можно сравнить с работой осциллографа, когда линии определяют количество отображаемых байтов в строке, а графа - количество строк.

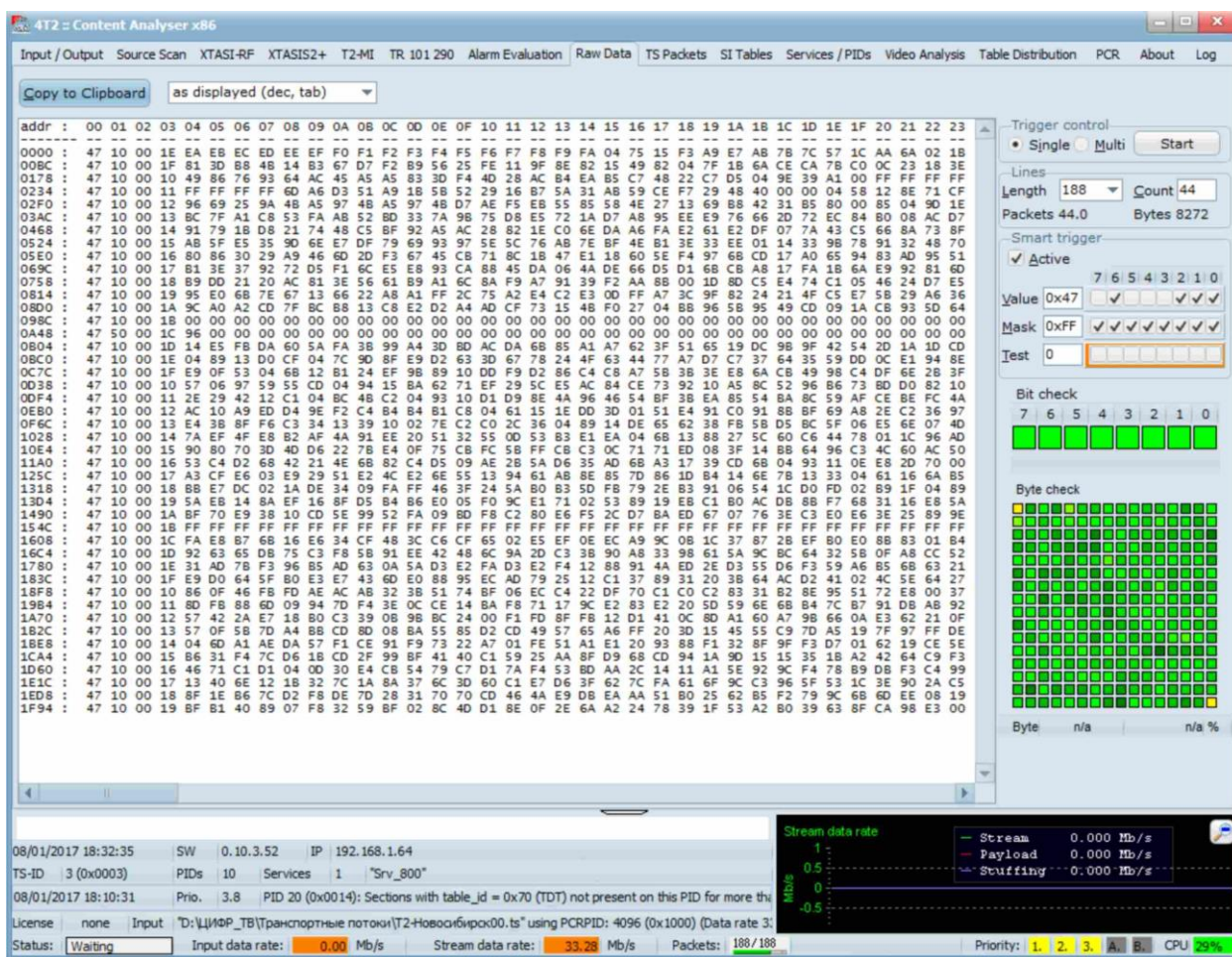


Рисунок 2.12 – Интерфейс окна меню Raw Data



Вкладка TS Packets позволяет для детально просмотреть транспортный поток на уровне пакетов. Пакеты будут отображаться после заранее заданного события, например, появления пакета с определенным именем.

Имя пакета можно установить в окошке Trigger Setup. Также можно выявить возникновение конкретного идентификатора (PID) в транспортном потоке и настроить дисплей, чтобы показывать только пакеты, которые нас интересуют.

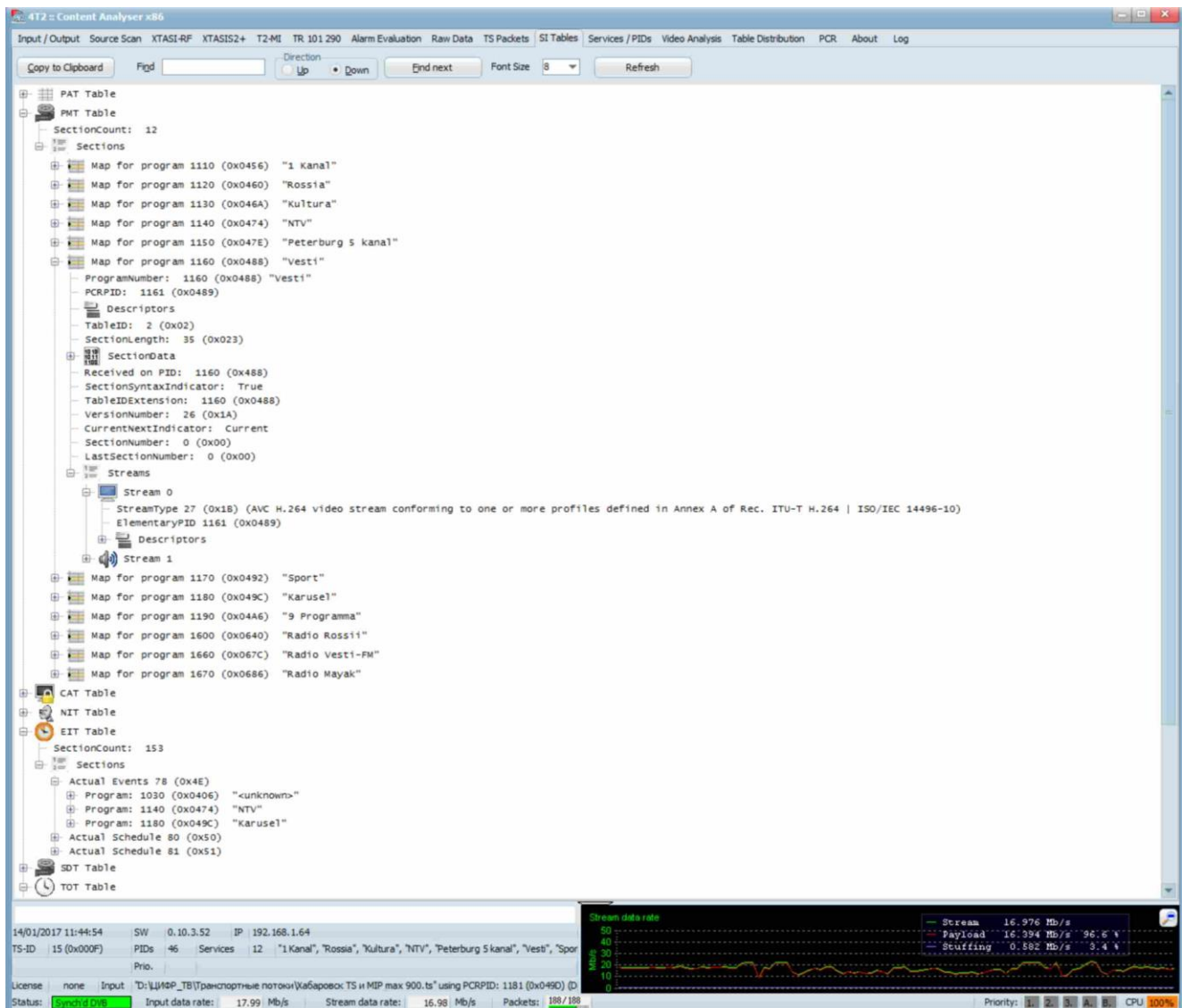


Рисунок 2.13 – Окно вкладки SI Tables

Вкладка SI Tables (рисунок 2.13) показывает, какие сервисные таблицы, несущие служебную информацию, входят в транспортный поток. В данном окне можно просмотреть подробное содержимое каждой сервисной таблицы,

разворачивая информацию, нажимая на значок «крестик» в структуре данных таблицы. Например, просмотреть содержимое PAT таблицы, щелкнув мышью на значке крестика напротив PAT Table.

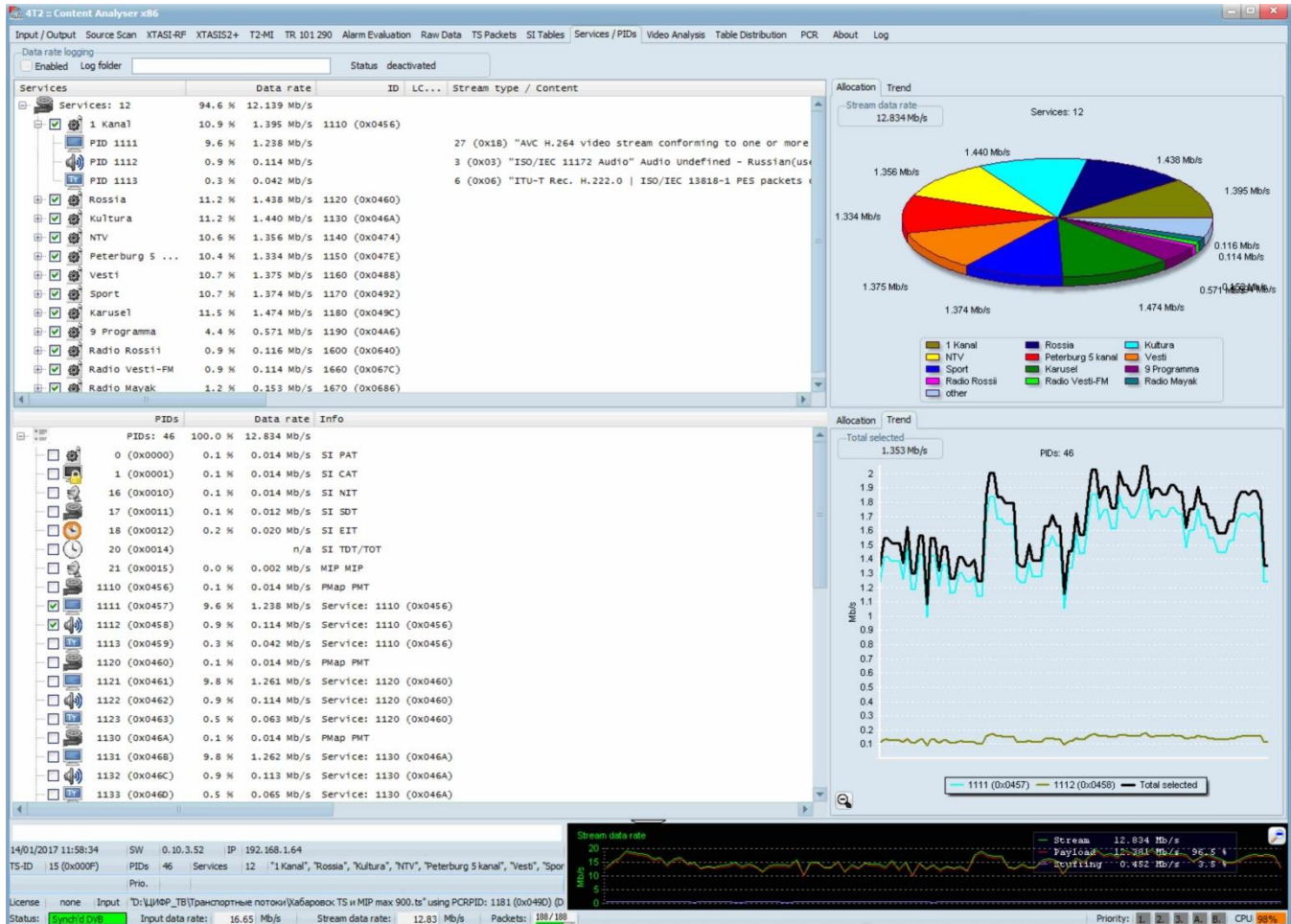


Рисунок 2.14 – Содержание окна Service/PIDs

Вкладка Service/PIDs, приведенная на рисунке 2.14, наиболее интересна с точки зрения информационной насыщенности. Она отражает не только названия телевизионных и радиопрограмм, передаваемых в транспортном потоке, но и позволяет в текстовом и графическом виде провести анализ контентного состава потока по видам передаваемой информации. Также в данном окне показаны идентификационные номера (PID) служебных таблиц транспортного потока, видео, звуковых, текстовых потоков и другой информации, скорость передачи каждой информационной составляющей

транспортного потока, форматы сжатия видео и звука в телевизионной или радиопрограмме.

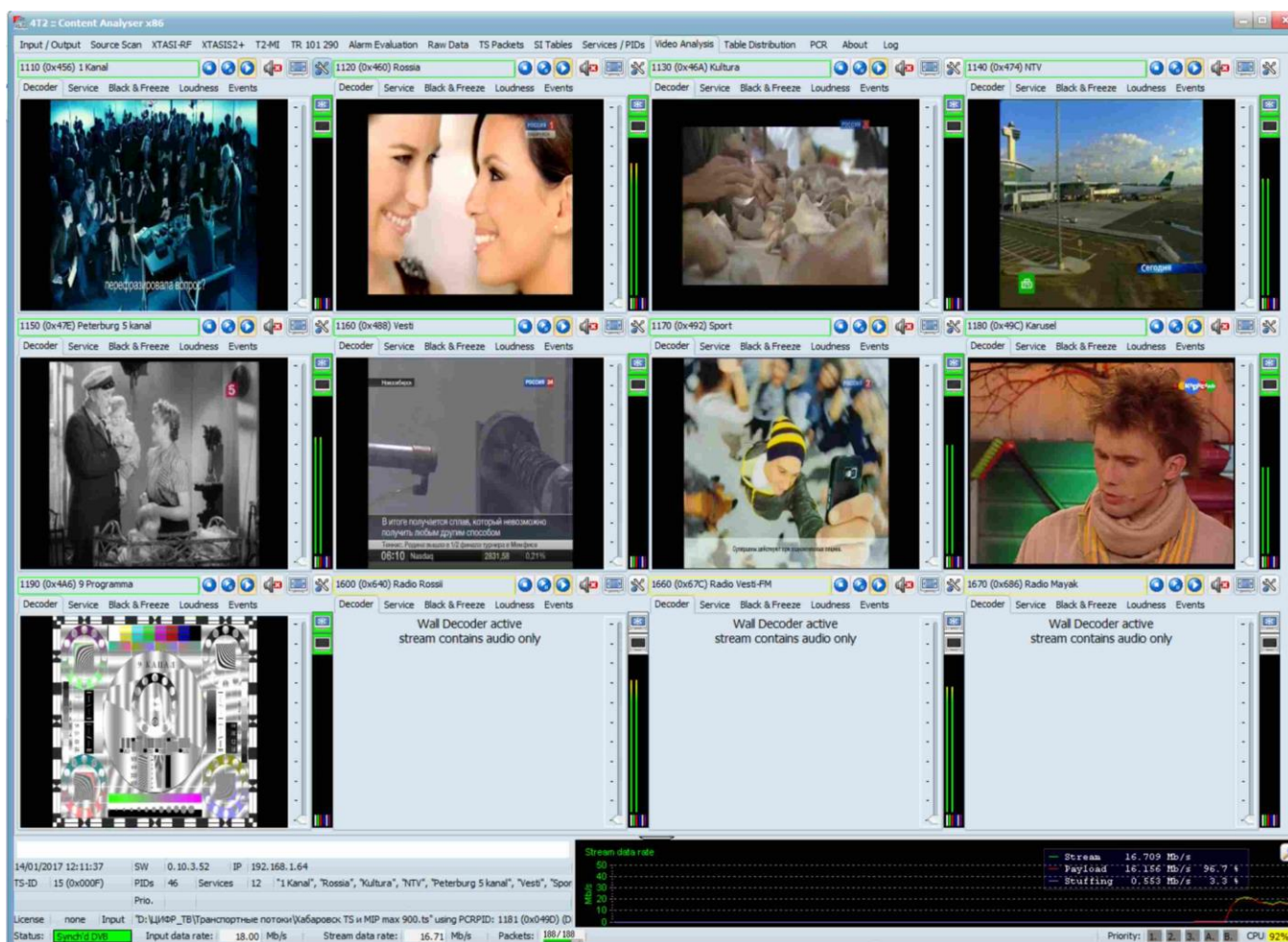


Рисунок 2.15 – Окно вкладки Video Analysis

Вкладка Video Analysis (рисунок 2.15) позволяет провести контроль видео и звука, передаваемых в транспортном потоке телевизионных и радио программ. При этом программа позволяет контролировать или все одновременно транслируемые программы или одну программу, путем развёртывания ее на всю площадь окна.

Вкладка Table Distribution позволяет осуществлять комплексный анализ распределения сервисной информации в транспортном потоке. Для каждой таблицы может быть выбрана своя гистограмма. Цвет гистограммы можно



установить, щелкнув на кнопке Setting. Вид окна Table Distribution приведен на рисунке 2.16.

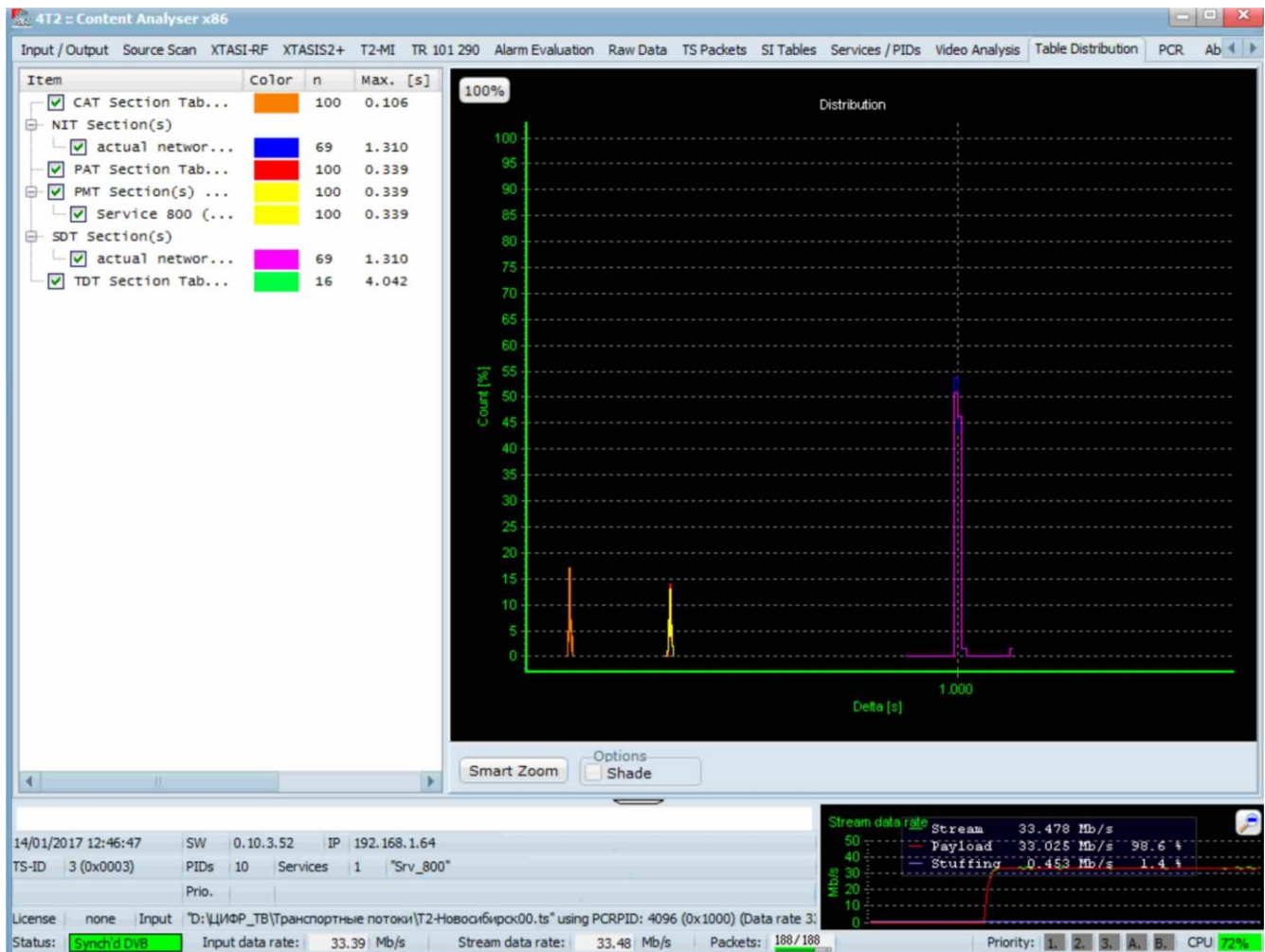


Рисунок 2.16 – Вид окна Table Distribution

Вкладка PCR. Чтобы декодер мог воспроизводить программы в правильное время, на правильной скорости и с синхронизацией, обычно программы периодически передают Program Clock Reference, или PCR, в одном из потоков программы. Это так же называется основной источник опорной частоты (Master Clock). Временные интервалы в MPEG2 рассчитываются по этой частоте.

Прием и ретрансляция сигналов цифрового телевидения требуют восстановления всех временных интервалов, использованных при формировании исходного сигнала. В ряде случаев восстановление принятых

потоков может быть проблематичным в результате флуктуаций сигналов синхронизации.

На рисунке 2.17 приведена структурная схема формирования транспортного потока MPEG для цифрового компонентного сигнала. При формировании сжатого видеосигнала MPEG кодер в качестве опорного генератора использует эталонный высокоточный генератор с частотой 27 МГц. Такой выбор опорной частоты обусловлен тем, что путем различных операций деления/умножения из него можно легко сформировать полный набор всех опорных сигналов, необходимых для аналоговых и цифровых видеосигналов различных стандартов [10].

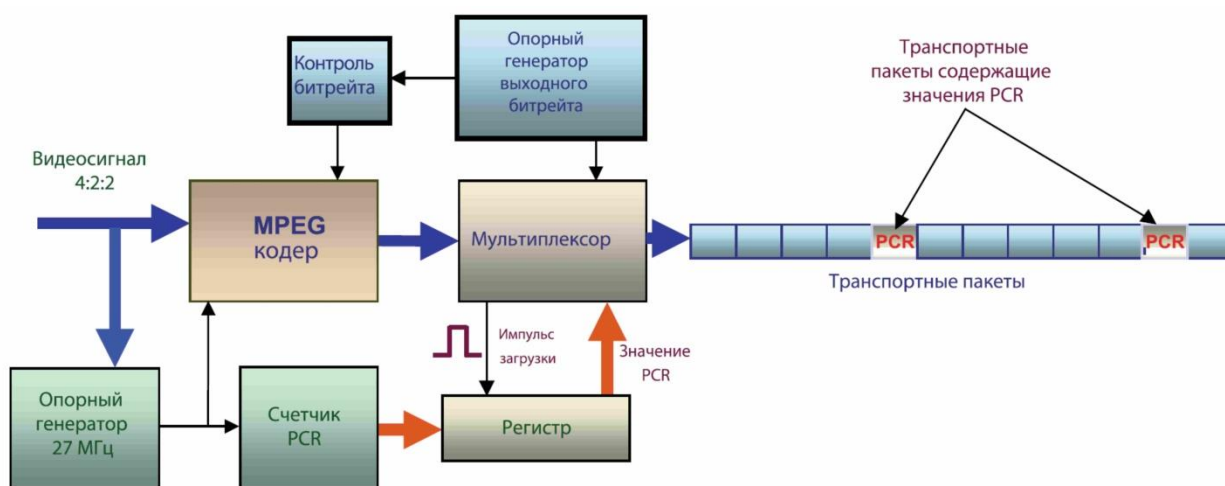


Рисунок 2.17 - структурная схема формирования транспортного потока MPEG

Период и стабильность следования меток PCR не являются слишком критическими. Так, в ISO/IEC13818-1 рекомендуется использовать интервал 100 мс, в то время как в DVB ETR154 это значение составляет 40 мс. Следует только заметить, что более высокая частота следования PCR-меток облегчает работу системы ФАПЧ приемника и делает ее более стабильной.

Требования к стабильности опорной частоты 27 МГц значительно более жесткие. Стандарт ISO/IEC13818-1 определяет допуск на значение PCR в  $\pm 500$  нс, что соответствует отклонению частоты не более  $\pm 810$  Гц или  $\pm 30 \times 10^{-6}$ .

Сигналы PCR в составе цифрового потока проходят весь путь распространения цифрового сигнала и дают цифровому ТВ-приемнику возможность синхронизации декодированного выходного видео с исходным видео на входе кодера. Приемник, то есть MPEG-декодер, для правильного функционирования должен считывать значения PCR, сравнивать их с собственными внутренними системными часами.

Если полученные значения PCR совпадают с системными часами декодера, часы на обоих концах синхронизированы. Отклонения опорного генератора декодера корректируются с помощью фазовой автоподстройки частоты — ФАПЧ (англ. PLL).

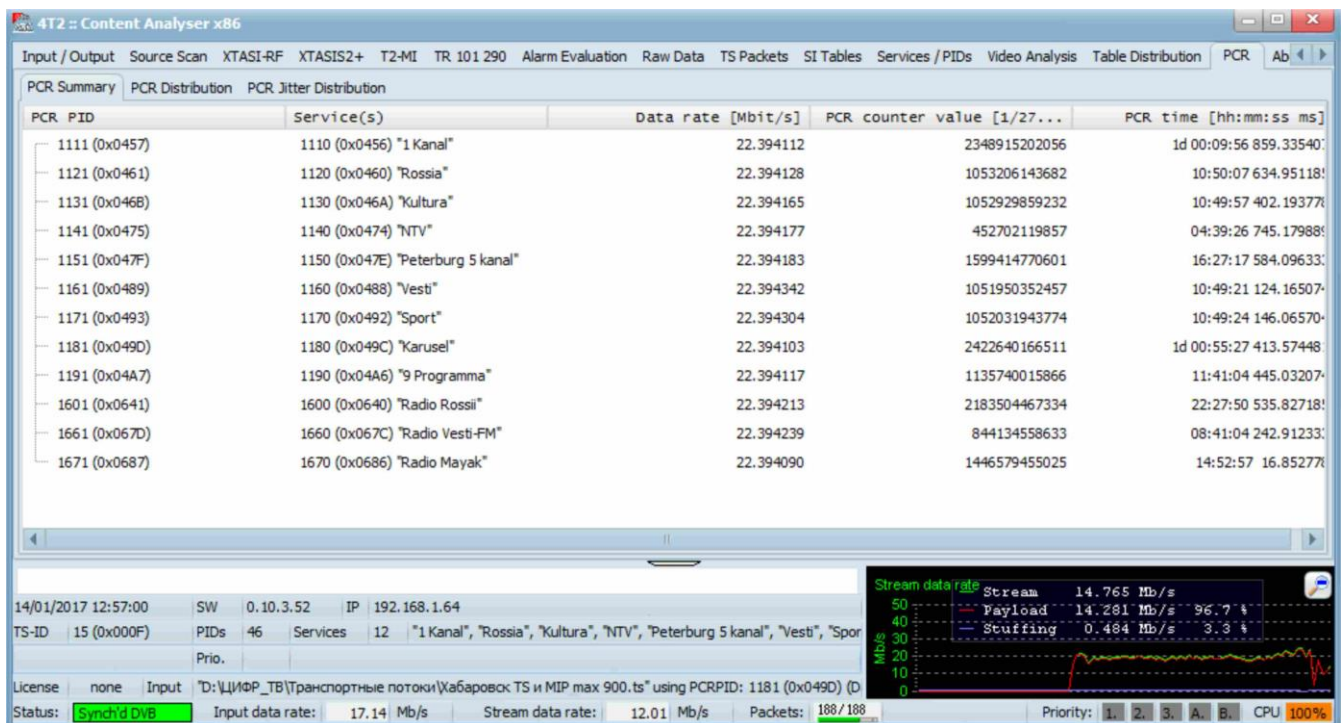


Рисунок 2.18 – Окно PCR Summary вкладки PCR

В процессе формирования цифрового потока и доставки его до декодера в сигналы PCR вносятся погрешности, которые приводят к ошибкам декодирования и являются одной из основных причин искажений в выходных видеосигналах MPEG-декодеров. Поэтому вопросы измерения различных параметров качества входящих PCR-сигналов имеют такое важное значение.

Вкладка PCR позволяет произвести анализ PCR в транспортном потоке. Окно содержит 3 внутренних вкладки – PCR Summary, PCR Distribution, PCR Jitter Distribution (см. рисунок 2.18).

С помощью этих вкладок можно провести подробный анализ некоторых особых параметров PCR. На рисунке 2.18 с активной вкладкой PCR Summary перечислены все PID телевизионных и радиопрограмм, передаваемых в транспортном потоке с именем соответствующего сервиса, скорость передачи каждой программы и значение счетчика PCR с метками времени. Эти данные позволяют дать оценку ремultipлексирования контента, состоящего из несвязанных между собой по времени источников.

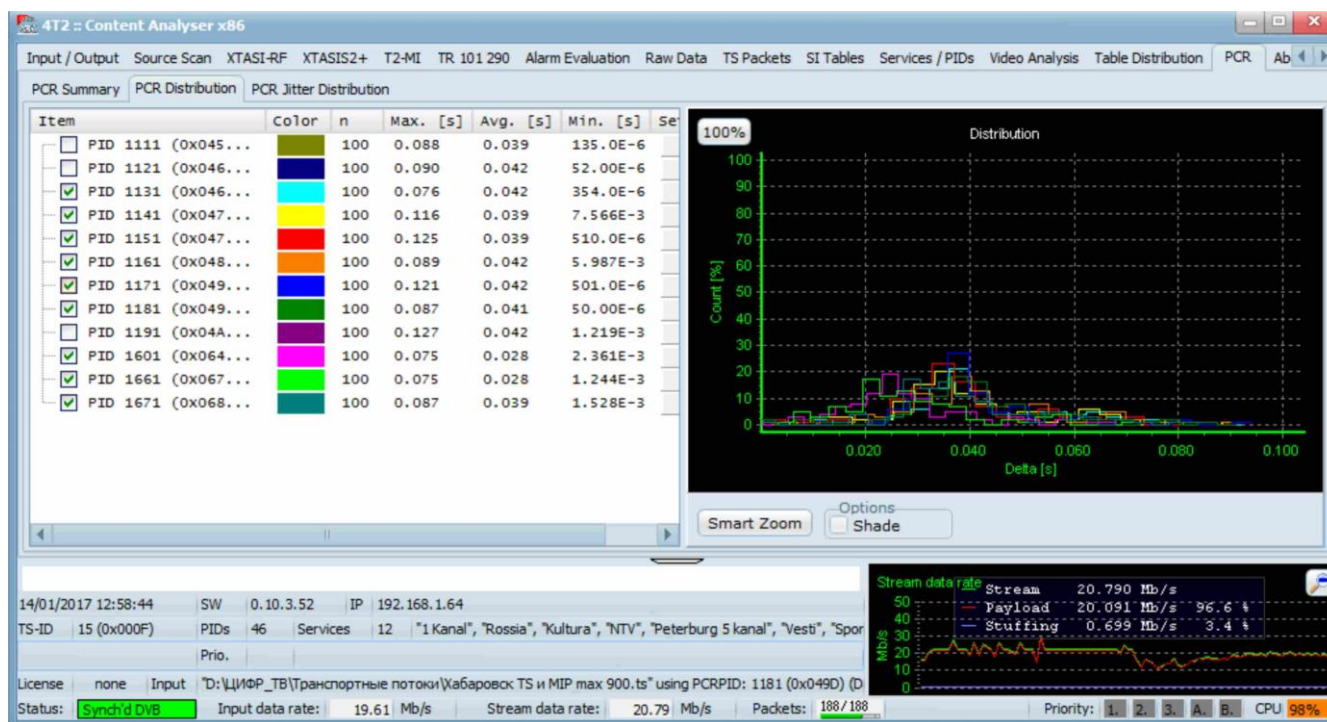


Рисунок 2.19 - Окно PCR Distribution вкладки PCR

На рисунке 2.19 с активной вкладкой PCR Distribution показано распределение сервисов в транспортном потоке, приводятся данные по задержке меток PCR и частота повторения данных, несущих информацию о PCR в каждой из передаваемых программ. При этом для удобства контроля данные о PCR также параллельно представлены в графическом виде цветными



гистограммами. Цвет гистограмм можно изменять. Также можно путем проставления галочки напротив каждого сервиса выбирать данные по определенной программе, содержащейся в транспортном потоке.

Кнопка Smart позволяет автоматически подобрать наиболее оптимальный масштаб отображения графиков.

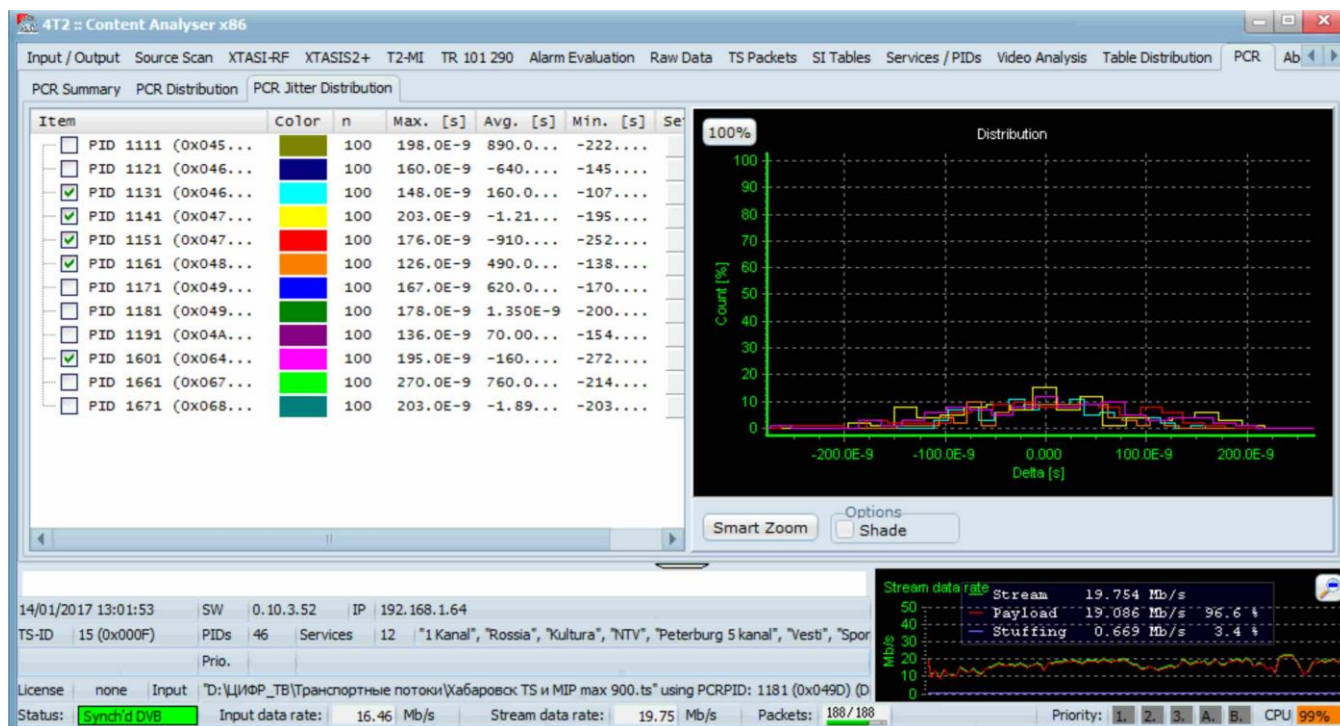


Рисунок 2.20 - Окно PCR Jitter Distribution вкладки PCR

Вкладка PCR Jitter Distribution (рисунок 2.20) показывает распределение значений джиттера в сервисах транспортного потока. Джиттером называется фазовое дрожание цифрового сигнала данных - нежелательные фазовые и/или частотные случайные отклонения передаваемого сигнала. Возникают вследствие нестабильности задающего генератора, изменений параметров линии передачи во времени и различной скорости распространения частотных составляющих одного и того же сигнала.

В цифровых системах проявляется в виде случайных быстрых (с частотой 10 Гц и более) изменений местоположения фронтов цифрового сигнала во времени, что приводит к рассинхронизации и, как следствие, искажению



передаваемой информации. Например, если фронт имеет малую крутизну или «отстал» по времени, то цифровой сигнал как бы запаздывает, сдвигается относительно значащего момента времени — момента времени, в который происходит оценка сигнала.

Проблемы джиттера могут возникнуть при повторном мультиплексировании транспортного потока. Причина в том, что, например, меняется порядок следования пакетов транспортного потока без соответствующего изменения значения PCR.

Иногда джиттер PCR может значительно превышать допустимые значения  $\pm 500$  ns и не все декодеры могут это отработать. Информация PCR передается в поле адаптации пакета транспортного потока, принадлежащего к соответствующей программе. Информация о типе пакетов TS находится в соответствующей PMT. Таблица PMT содержит так называемый PCR\_PID, чаще всего для этой цели используют PID видео. Этот PID нельзя удалять из потока, так как без него будет невозможно декодирование сервисов [10].

Вкладка About позволяет получить информацию о данном программном продукте и аппаратном обеспечении, изготовляемом компанией ABC.

На вкладке Log отображаются сообщения программы о функционировании программно-аппаратного комплекса и параметров обработки им транспортного потока. Также здесь фиксируются сообщения о возникающих в транспортном потоке ошибках.

## 2.5 Порядок проведения лабораторного исследования

Лабораторное исследование состоит из 3-х частей. В первой части производится исследование транспортного потока в виде записанного файла стандарта DVB-T, во второй части исследуется транспортный поток в виде записанного файла стандарта DVB-T2 и в третьей части производится исследование транспортных потоков, полученных от измерительного

приемника DVB-T2 и спутникового ресивера PBI по интерфейсам ASI и записанными в память компьютера в виде файлов с помощью аппаратных анализаторов транспортного потока.

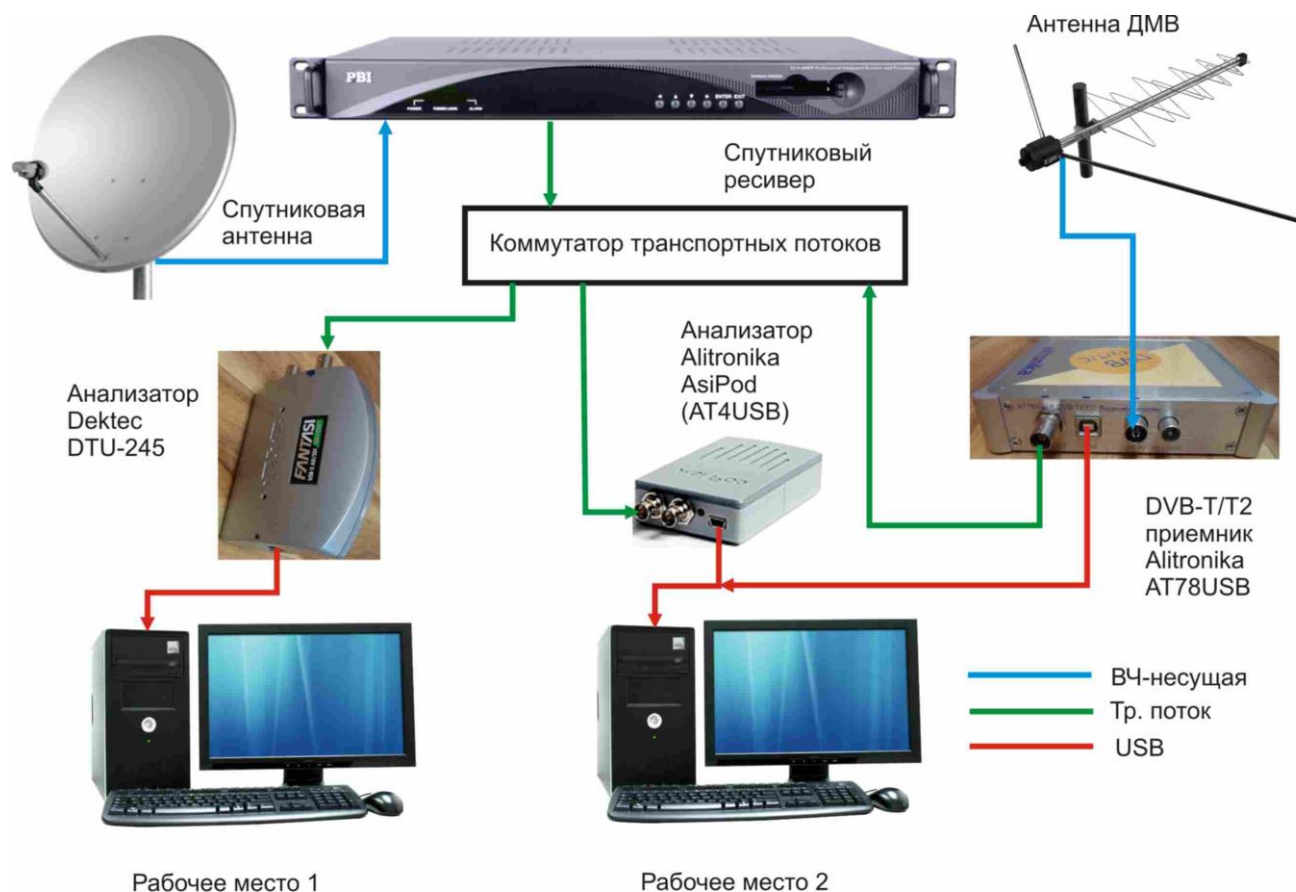


Рисунок 2.21 – Схема программно-аппаратного лабораторного комплекса

Структурная схема программно-аппаратного лабораторного комплекса представлена на рисунке 2.21 и включает в себя компьютеры с установленным на него прикладным ПО 4T2 Content Analyser и DVS Station 3, анализаторы транспортного потока Alitronika AT4USB AsiPod, DekTec измерительный приемник Alitronika AT78USB, спутниковый ресивер PBI, спутниковую антенну и антенну дециметрового диапазона. Схема лабораторного комплекса формируется до начала проведения лабораторно исследования силами персонала лаборатории. Необходимое для проведения специализированное и прикладное программное обеспечение также заранее должно быть установлено на компьютеры рабочих мест. Количество рабочих мест ограничено

количеством анализаторов транспортного потока. При заранее записанных MPEG потоках со спутникового ресивера и измерительного приемника DVB-T/T2, количество рабочих мест может быть ограничено только количеством компьютеров в лаборатории.

В лабораторном комплексе используется прикладное ПО компании Advanced Broadcast Components Ltd, которое заранее скачивается с сайта компании (<http://www.4t2.eu/4T2-Content--Analyser/4t2-content--analyser.html>) и DVS Station 3 с сайта <http://www.alitronika.com/products.htm> и устанавливается работниками лаборатории на рабочие компьютеры.

### 2.5.1 Исследование транспортного потока стандарта DVB-T.

Запустите программу 4T2 Content Analyser. Откройте файл с транспортным потоком «Хабаровск».

1. Обратите внимание, какая информация отображается (или не отображается) во вкладке T2-MI. Сделайте скриншот и поясните его содержание (или отсутствие содержания).

2. Просмотрите, как отображаются ошибки транспортного потока во вкладке TR 101 290. Сделайте соответствующие выводы об ошибках различных приоритетов и как они влияют на воспроизведение видеопрограммы. Сделайте скриншот.

3. Просмотрите состав служебных таблиц при анализе транспортных потоков «Хабаровск» во вкладке SI Tables. Сделайте вывод о составе отображаемых таблиц, представления их содержания. То же самое сделайте при просмотре сервисов и идентификационных номеров передаваемых ресурсов (PID). Обратите внимание, как распределены идентификационные номера в транспортном потоке. Сделайте выводы об отличии отображения информации при анализе транспортных потоков DVB-T и DVB-T2.

Выпишите, какие телевизионные программы передаются в ТП «Хабаровск». При этом зафиксируйте их распределение по вложенным в T2-MI потокам PLP или отсутствию таковых. Сделайте вывод о скорости передачи

различных PLP или отдельных телевизионных и радио программ в общем транспортном потоке.

4. В окне вкладки Service/PIDs просмотрите все сервисы (передаваемые программы) и соответствующие им ПИДы. Зафиксируйте все передаваемые сервисы в анализируемом транспортном потоке. Сделайте скриншоты и выводы по информации в данном окне.

5. Во вкладке Video Analysis просмотрите все передаваемые в транспортном потоке сервисы. Сделайте выводы о различии отображения сервисов при анализе транспортных потоков DVB-T и DVB-T2.

6. Зафиксируйте содержание и частоту передачи таблиц в транспортном потоке с использованием вкладки Table Distribution. Сделайте скриншот и соответствующие выводы.

7. С помощью вкладки PCR проверьте, укладываются ли показатели задержек сигнала MPEG в рамки требуемых. Сделайте выводы и подтвердите их скриншотами.

#### 2.5.2 Исследование транспортного потока стандарта DVB-T2.

Запустите программу 4T2 Content Analyser. Откройте файл с транспортным потоком «Новосибирск».

Проведите те же самые исследования, содержание которых указано в пунктах 1-7 исследования потока стандарта DVB-T.

Сделайте выводы об отличиях структуры и отображения информации в транспортных потоках DVB-T и DVB-T2.

3.5.3 Проведите запись транспортных потоков, принимаемых с помощью измерительного приемника Alitronika или спутникового ресивера PBI. Проведите перечень исследований в соответствии с пунктами 1-7 для исследования потока DVB-T. Сделайте скриншоты и сопроводите их выводами о результатах исследования.

## 2.6 Содержание отчета

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 приборов, используемых при проведении исследования;
5. Отображение порядка проведения исследований со скриншотами и кратким пояснением хода работы;
6. Выводы по первой, второй и третьей части исследования.

## 2.7 Порядок защиты отчета по лабораторному исследованию и контрольные вопросы

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. Что такое PES-пакеты?
16. В чем отличие программного транспортного потока от мультиплексированного?
17. Что такое PID и PCR?
18. Для чего используются сервисные таблицы?
19. Что такое сервисы в транспортном потоке?
20. Для чего необходимо производить мультиплексирование/ремultipлексирование транспортных потоков MPEG?

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 августа 2015 г. № 911, Москва. – «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2009 г. № 985 О федеральной целевой программе «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 - 2015 годы».
2. Кривошеев М. О стартовых положениях развития ТВ-вещания в России до 2020-2025 годов. Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2015 № 8, С. 18-21
3. ГОСТ Р 53527 – 2009. Телевидение вещательное цифровое. Требования к реализации системы ограничения доступа DVB SIMULCRYPT на головных станциях. Основные параметры. Технические требования. Издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2010.
4. Высоцкий Г. Об альтернативной концепции развития сетей кабельного телевидения. <http://nag.ru/articles/reviews/16704/ob-alternativnoy-kontseptsii-razvitiya-setey-kabelnogo-televideniya-okonchanie-.html>
5. Способы доставки мультимедиа. Телеспутник, №6, 1999 г. <http://www.telesputnik.ru/archive/44/article/48.html>.
6. European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 300 468 V1.11.1 (2010-04) Digital Video Broadcasting (DVB) Specification for Service Information (SI) in DVB systems [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_EN/300400\\_300499/300468/01.11.01\\_60/en\\_300468v011101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_EN/300400_300499/300468/01.11.01_60/en_300468v011101p.pdf)
7. Enensys DiviDual T2MI - Проигрыватель/Анализатор/Рекордер потоков T2MI. <http://www.enensys.ru/enensys-dividual-t2mi-----2i.html>

8. Объединенные телекоммуникации. Широкополосные телевизионные сети. DTA-245 – адаптер USB2 с ASI/SDI входом/выходом. [http://www.vlux.ru/files/public/dta\\_245.pdf](http://www.vlux.ru/files/public/dta_245.pdf)
9. Анализаторы транспортных потоков Alitronika DVS. [http://www.ditel-telecom.ru/equipment/adapter/index\\_ts.php](http://www.ditel-telecom.ru/equipment/adapter/index_ts.php)
10. Гиенко Д., Чулков В. Особенности формирования и измерения PCR в MPEG-сигнале. «Теле-Спутник», февраль 2015, - С. 60-64.