

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»

На правах рукописи



Тиссен Ольга Владимировна

Повышение стабильности и качества передачи
цифрового изображения системы вещания DVB-T2
с технологией модификации контента

Специальность 05.12.04 – радиотехника,
в том числе системы и устройства телевидения

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Сай Сергей Владимирович,
доктор технических наук, доцент

Хабаровск 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DVB-T2.....	9
1.1 Обзор стандарта цифрового вещания DVB-T2.....	9
1.2 Методы регионализации контента в DVB-T2.....	14
1.3 Организация сетей телевизионного вещания.....	20
1.4 Аппаратно-программное обеспечение при организации вещания стандарта DVB-T2.....	24
1.5 Выводы по главе.....	26
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2.1 Структура исследуемой системы вещания.....	29
2.2 Общая классификация неисправностей на основе теории графов.....	37
2.3 Разработка методики определения параметров надёжности системы вещания на основе теории графов.....	40
2.4 Программа проведения экспериментального исследования.....	52
2.5 Предварительный расчет и моделирование этапов эксперимента	57
2.5.1 Расчёт величины задержки информационного потока в точке приёма на передающей станции.....	57
2.5.2 Расчёт вероятности ошибки при приёме сигнала в одночастотной зоне.....	66
2.6 Выводы по главе	69
ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	70
3.1 Измерение сетевой задержки потока в точке приёма.....	70
3.2 Исследование режима работы устройства замещения локального контента.....	74
3.3 Исследование характера работы формирователя DVB-T2 в режиме одночастотной сети	75
3.4 Исследование режима работы SFN с устройством регионализации.....	78
3.5 Выводы по главе	79
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	80
4.1 Обработка результатов измерения сетевой задержки потока.....	80
4.1.1 Отсев грубых погрешностей измерения.....	80
4.1.2 Проверка адекватности модели аппроксимации.....	83
4.1.3 Проверка гипотезы о типе распределения задержки.....	94
4.1.4 Расчёт доверительного интервала для математического ожидания.....	106
4.1.5 Расчёт доверительного интервала для дисперсии.....	107

4.2 Анализ результатов исследования режима работы инсёртера.....	109
4.3 Анализ характера работы формирователя DVB-T2.....	120
4.4 Обработка результатов исследования режима работы передающей станции с устройством регионализации.....	127
4.5 Расчёт показателей надёжности схемы формирования сигнала на типовой передающей станции.....	136
4.6 Реализация учебно-наглядной программной модели.....	146
4.7 Выводы по главе	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	153
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ А. АКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ....	165
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВРЕЗКИ КОНТЕНТА.....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА СТАТИСТИКИ ХИ-КВАДРАТ.....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЁМА СИГНАЛА В ОДНОЧАСТОТНОЙ ЗОНЕ.....	193
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. СТАТУСНЫЕ СООБЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ.....	196

ВВЕДЕНИЕ

Одно из актуальных направлений исследований в связи с переходом на стандарт второго поколения цифрового эфирного телевизионного вещания DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) связано с поиском причин и условий возникновения технических остановок и аварий на оборудовании цифрового вещания при работе в режиме SFN (Single frequency network – одночастотная сеть). Система организации вещания на типовой эфирной передающей станции может быть реализована как с модификацией вещаемого контента, так и без, при этом модификация подразумевает врезку в основной федеральный пакет программ сигналов местного регионального назначения.

Регионализация контента сопровождается выполнением как минимум двух условий – наличие устройства вставки локального контента, способного работать в SFN, и внесение этим устройством минимальной задержки в сигнал на пути его распространения. Неисправности, приводящие к нарушению нормальной работы системы вещания, могут быть связаны не только с физическим отказом оборудования, но и с некорректными параметрами сигналов, относительно которых происходит синхронизация всех устройств.

Состояние проблемы. Исследованиям проблем организации вещания с врезкой контента посвящены работы Карякина Д.В., Карякина В.Л., Куликова С.П., Морозовой Л.А., Пашенко П.С., Перегудова А.Ф., Пищина О. и др. Вопросами синхронизации вещательного оборудования DVB-T2 в режиме SFN в настоящее время занимаются многие авторы, например, Калиновский Д.А., Карякин В.Л., Сидоренко О.И., а общими принципами организации одночастотных сетей – Аверченко А.П., Женатов Б.Д. и Бессонов В.А. Важный вклад внесли зарубежные учёные, в частности Lhermitte Richard, Chauviere Benoit и Deniau Eric, которые опубликовали патент о методе вещания со вставкой контента и устройстве, используемом в данном методе.

Однако, вопросы влияния сетевой задержки цифрового информационного потока T2-MI (T2 Modulator Interface) на корректность работы вещательного оборудования в настоящее время глубоко не исследованы, а также не рассмотрена работа устройств в режиме SFN при отсутствии сигнала синхронизации.

В связи с этим, определение причин некорректной работы оборудования системы вещания DVB-T2 на типовой станции, приводящих к возникновению технических остановок и брака, является актуальной задачей.

Цель работы – повышение стабильности и качества передачи цифрового изображения

системы вещания DVB-T2 на передающей станции за счёт исследования и диагностики причин нарушения нормальной работы оборудования при функционировании в режиме SFN с использованием технологии модификации контента.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- классифицировать основные неисправности системы вещания, которые могут возникать на типовой передающей станции;
- разработать методику определения показателей надёжности систем вещания с использованием и без использования модификации контента;
- определить характеристики изменения сетевой задержки (Network Delay) информационных данных формата T2-MI при стабильном и нестабильном опорном сигнале синхронизации 1PPS (1 Pulse Per Second) на устройстве приёма цифрового потока;
- исследовать работу устройства вставки локального контента в нормальном режиме и при отсутствии сигнала синхронизации от опорного генератора;
- исследовать работу формирователя DVB-T2 модели PT-2000 в режиме одночастотной сети при различных значениях сетевой задержки информационного потока;
- определить возможность приёма телевизионного сигнала при нахождении приёмника в зоне обслуживания двух передающих станций, работающих в одночастотном режиме, с учётом различных вариантов конфигурации параметров замещения на устройствах вставки локального контента.

Научная новизна:

1. Разработана методика расчёта надёжности по коэффициенту готовности системы вещания на типовой передающей станции в зависимости от требуемых вариантов конфигурации замещения контента, отличающаяся применением математического аппарата многослойных графов.
2. Установлена взаимосвязь длительности цикла спада сетевой задержки от величины отклонения периода опорного сигнала синхронизации от номинального значения.
3. Доказано, что работоспособность передатчика модели PT-2000 зависит от попадания входной сетевой задержки потока в один из трёх интервалов, характерных для одночастотного режима работы.
4. Установлена периодичность возникновения ошибок первого приоритета на выходе устройства вставки локального контента при отсутствии опорного сигнала синхронизации.

Теоретическая значимость:

1. Предложена классификация основных неисправностей комплекса оборудования передающей станции на основе теории графов.

2. Обоснован закон распределения задержки как случайной величины на интервале измерения с помощью расчёта статистики хи-квадрат и правила «трёх сигм».

3. Разработана методика расчёта коэффициента готовности системы вещания на типовой передающей станции с помощью математического аппарата многослойных графов.

Практическая значимость:

1. Экспериментально подтверждена возможность надежного приёма эфирного телевизионного сигнала в одночастотной зоне при различных вариантах конфигурации замещения контента.

2. Определены границы рабочих диапазонов входной сетевой задержки потока для эфирного цифрового передатчика модели РТ-2000.

3. Экспериментально определён характер изменения сетевой задержки в зависимости от стабильности опорного сигнала синхронизации.

Методология и методы исследования. В работе применены: теоретические методы: аппарат теории графов, элементы теории вероятности и математической статистики; эмпирические методы, позволяющие осуществлять сбор, классификацию и обработку полученной информации; методы разработки, основанные на применении языков программирования, и методы, используемые при проектировании моделей систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. С помощью разработанной методики расчёта надёжности, отличающейся применением математического аппарата многослойных графов, можно определить, что дополнительное резервирование в системе с каскадной врезкой контента позволяет повысить коэффициент готовности системы вещания на типовой эфирной передающей станции на 9,77%.

2. Длительность цикла спада сетевой задержки цифрового потока T2-MI уменьшается с ростом модуля отклонения периода опорного сигнала синхронизации от номинального значения.

3. Нерабочий диапазон входной сетевой задержки цифрового потока формата T2-MI для передатчика модели РТ-2000 в режиме относительной синхронизации составляет 27,53% от длительности цикла спада задержки при нестабильном опорном синхросигнале.

4. Периодичность возникновения ошибок первого приоритета на выходе устройства вставки локального контента при отсутствии опорного сигнала синхронизации в зависимости от аппаратной реализации устройства составляет в среднем 11 с.

Достоверность результатов. Достоверность результатов подтверждена тем, что экспериментальное исследование производилось с использованием рабочего телекоммуникационного оборудования, в том числе сертифицированных измерительных

устройств, прошедших соответствующую поверку. При обработке полученных результатов использованы критерии для отсева грубых погрешностей измерения, а также критерии проверки адекватности используемой модели аппроксимации. Предварительные расчёты подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

Использование результатов исследования:

1. Диагностика состояния элементов системы вещания в режиме SFN в процессе настройки и текущей эксплуатации инженерно-техническим персоналом на предприятии ФГУП РТРС «Дальневосточный РЦ» Цех Хабаровск (акт внедрения).

2. Учебное пособие для студентов и инженеров в области телекоммуникаций «Цифровое телевизионное вещание DVB-T2. Регионализация контента» (акт внедрения).

Апробация результатов работы. Основные положения и отдельные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке (ФГБОУ ВО «ДВГУПС», Хабаровск, 2016, 2017);

- Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях (ФГБОУ ВО «ДВГУПС», Хабаровск, 2017);

- Технические науки. Теория и практика (Саратов, 2017);

- XXI Всероссийская научно-техническая конференция Современные проблемы радиоэлектроники (ФГАОУ ВО «СФУ», Красноярск, 2018);

- Новые информационные технологии в научных исследованиях (ФГБОУ ВО «РГРТУ», Рязань, 2018).

Структура и объём работы. Диссертация общим объёмом 210 с. состоит из введения, четырёх глав и заключения, содержит 155 с. основного текста, перечень используемой литературы из 67 наименований на 7 с. Основной текст работы включает в себя 49 таблиц и 43 рисунка. Диссертация дополнена 6 приложениями на 47 страницах.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 научных работах, в том числе 4 работы - в изданиях, рекомендованных ВАК к опубликованию основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук, 6 работ в трудах конференций и иных научных изданиях.

Личный вклад автора. Личный вклад автора состоит в постановке целей и задач исследования, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе и интерпретации полученных данных, формулировании выводов, реализации программного обеспечения, подготовке к публикации докладов и статей. Все результаты получены автором лично или совместно с соавторами при его непосредственном участии. Также вклад автора

заключается в проработке существующих научных трудов на тему применения теории графов для проектирования телекоммуникационных сетей и адаптации методики использования графов к рассматриваемой системе цифрового эфирного телевидения.

Краткое содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и основные задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. В главе 1 проводится обзор используемых методов модификации контента. В главе 2 представлена структура исследуемой сети вещания, указаны основные задачи экспериментального исследования, произведён предварительный расчёт и моделирование некоторых объектов исследования. Также представлена общая характеристика неисправностей, которые могут возникнуть на типовой передающей станции в процессе текущей эксплуатации. В данной главе предложена методика расчёта коэффициента готовности для рассматриваемой системы вещания с устройством вставки локального контента, для системы с каскадной врезкой контента при последовательном включении сплайсера и без устройств модификации контента. В главе 3 описана методика поэтапного проведения экспериментального исследования с использованием телекоммуникационного оборудования. В главе 4 произведён анализ результатов экспериментального исследования, также произведён расчёт надёжности по методике, предложенной в главе 2. В заключении сделаны выводы по диссертационной работе, подтверждающие достижение поставленной цели исследования. В приложениях представлены материалы проведённых исследований, а также некоторые результаты анализа полученных данных.

Результаты диссертации направлены на повышение качества передачи цифровых изображений и помехоустойчивости работы системы DVB-T2 с технологией модификации контента. Таким образом, диссертация соответствует паспорту специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»: п. 5 «Исследование и разработка новых телевизионных систем и устройств с целью повышения качества изображения и помехоустойчивости работы».

ГЛАВА 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DVB-T2

1.1 Обзор стандарта цифрового вещания DVB-T2

Основополагающим документом, определившим вектор развития эфирного телевидения в России, стала Федеральная целевая программа (ФЦП) «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2018 годы», принятая 3 декабря 2009 года [1]. Основной целью реализации программы является обеспечение 98,4 процента населения доступным эфирным телерадиовещанием в объеме двадцати телерадиопрограмм. В документе предусмотрен переход на цифровое вещание в два этапа, первый из которых (2009 год) подразумевал обеспечение условий и подготовку системных проектов, материалов и оборудования к внедрению эфирного телевидения цифрового формата, а второй (2010 – 2018 г.г.) – непосредственное строительство сети передающих станций, станций формирования контента, а также организацию каналов связи для доставки информационного потока и служебных данных. Программой предусмотрено создание систем резервирования приёмо-передающего оборудования, а также переоснащение космических аппаратов для целей ретрансляции сигналов цифровых мультиплексов. В ряде регионов в начале второго этапа ФЦП передающие станции комплектовались оборудованием, поддерживающем стандарт первого поколения DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), а к 2012 году произошёл переход на стандарт цифрового вещания второго поколения – DVB-T2, который имеет множество преимуществ DVB-T [2].

Поскольку источниками телерадиопрограмм, транслирующихся в составе вещательных мультиплексов, являются телекомпании-правообладатели, которые самостоятельно формируют контент, то в точку формирования потока каждая телепрограмма поступает по выделенной линии доставки и подлежит процессу сжатия, то есть кодирования в заданный формат. Для DVB-T2 принят алгоритм кодирования видеоданных – MPEG-4 (Moving Pictures Engineering Group), сжатие аудиоданных осуществляется в формат MPEG-1 Layer-2. Кодирование источника производится с целью устранения статистической и физиологической избыточности [3], а также сокращения требуемой полосы пропускания при передаче телерадиопрограммы по каналу связи. В зависимости от административно-территориальных условий сжатие информации может производиться как на стороне телекомпании, так и на стороне предприятия-вещателя. Закодированные телерадиопрограммы – сервисы – подлежат мультиплексированию с

целью объединения в многопрограммные потоки, состав и структура которых определена конкретным предприятием-вещателем. Отдельные сервисы могут быть подвергнуты шифрованию для предоставления условного доступа абонентам. В режиме System B для формирования потока для DVB-T2 используются несколько независимых многопрограммных информационных потоков, которые в дальнейшем определяются как каналы физического уровня – PLP (Physical Layer Pipes), поэтому такой режим вещания ещё носит название MultiPLP (Multiple PLP – режим нескольких каналов физического уровня).

При работе в режиме B наличие T2 шлюза обязательно, поскольку необходимо формирование одного общего информационного потока интерфейса модулятора T2, несущего в себе данные нескольких входных потоков с обязательной трансляцией служебных пакетов. В случае если группа передающих станций работает в режиме одночастотной сети, то одной из основных задач T2 шлюза является генерация специальных пакетов T2-MI (T2 Modulator Interface – интерфейс модулятора T2) – Timestamp (метки времени), содержащих информацию о требуемом времени излучения текущего суперкадра. Эти данные необходимы передающим станциям, настроенным на работу в режиме SFN (Single Frequency Network – одночастотная сеть), с целью одновременного и синхронного излучения каждого суперкадра потока в эфир. Поскольку T2 шлюз генерирует временной штамп, то обязательным условием является его принудительная синхронизация с помощью встроенного либо внешнего спутникового навигационного приёмника GPS/ГЛОНАСС, обеспечивающего стабильность выходного опорного сигнала в диапазоне 500 нс по времени или 10^{-12} по частоте соответственно [4].

Мультиплексом называется группа телерадиопрограмм, транслирующихся в полосе частот одного телевизионного канала как при эфирном, так и при кабельном вещании и передаваемых по одной физической линии. В стандарте второго поколения мультиплекс может состоять из одного (System A) или нескольких (System B) независимых потоков, каждый из которых может содержать количество сервисов, определяющееся исходя из максимально возможного битрейта при заданных параметрах модуляции, а также индивидуального битрейта каждой телерадиопрограммы (рисунок 1.1).

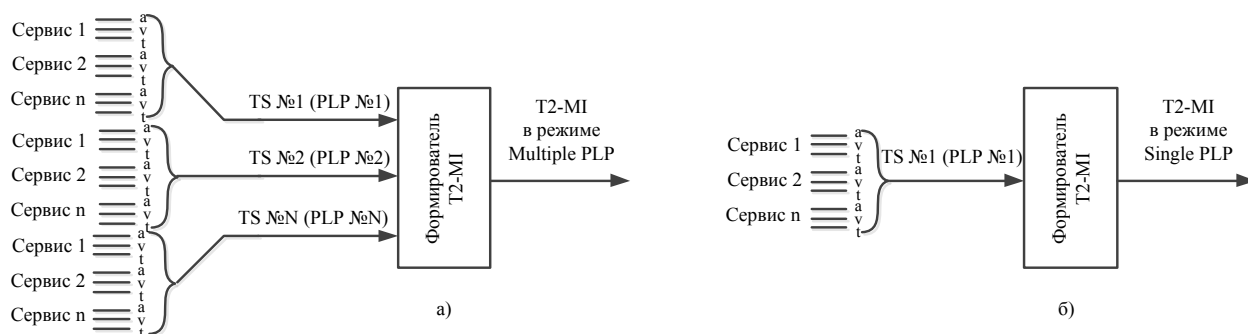


Рисунок 1.1 – Общая схема формирования потока T2-MI

На рисунке 1.1 условно обозначены сервисы, которые состоят из программных потоков: *a* – аудио информации, то есть звукового сопровождения программы, *v* – видеoinформации, а также *t* – служебных данных. Битрейт, занимаемых служебными данными, может распределяться между сигналами телетекста и скрытых субтитров, данными, необходимыми для предоставления интерактивных услуг, например, HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband Television), а также информацией, требуемой для осуществления врезки рекламного контента. Трансляция подобных дополнительных данных не является обязательной, поэтому предприятие-вещатель в большинстве случаев самостоятельно регулирует вопросы использования этого ресурса.

Для инкапсуляции информационного контента мультиплекса, доставляемого до передающего оборудования, используется поток T2-MI, структура которого приводится в стандарте [5], требованиях [6] и документе [7]. Цифровой поток данных T2-MI формируется из одного или нескольких входных независимых друг от друга информационных сигналов, каждый из которых передаёт информацию об одном или нескольких сервисах мультиплекса. В режиме System B технология MultiPLP позволяет обеспечить трансляцию в одном радиочастотном канале услуг, передаваемых с разной степенью помехоустойчивости, так как режим модуляции и помехоустойчивого кодирования может быть выбран для каждой PLP индивидуально [8]. В качестве исходных входных потоков для каждой PLP могут быть следующие данные:

- транспортный поток (TS – transport stream). TS характеризуется наличием UP постоянной длины, равной 188 байт, и обязательным наличием байта синхронизации, находящегося в начале очередного пакета информационного потока. В настоящее время именно поток формата TS получил самое широкое распространение в вещательном телевидении как при использовании стандартов DVB-T, DVB-T2, так и при трансляции цифровых телесигналов через спутник с использованием стандартов DVB-S и DVB-S2.

- общий инкапсулированный поток или поток общего назначения GSE (Generic Encapsulated Stream). GSE характеризуется постоянной либо переменной длиной пакетов, указываемой в заголовке очередного блока данных.

- общий непрерывный поток GCS (Generic Continuous Stream), пакеты которого обладают переменной длиной.

- общий пакетизированный поток с фиксированной длиной пакетов GFPS (Generic Fixed-length Packetized Stream). Согласно [5], данный тип потока был разработан для совместимости со стандартом DVB-S2, однако вместо него используется поток общего назначения GSE.

Следует отметить, что GCS и GFPS в вещательном телевидении в настоящее время не применяются.

При рассмотрении режима MultiPLP наличие шлюза T2 (маршрутизатора) является обязательным, поэтому после скремблирования кадров осуществляется вставка заголовков T2-MI пакетов, согласно [2], преобразование (инкапсуляция) единого информационного потока в формат MPEG-2 TS и адаптация его под используемый тип физического интерфейса. Наиболее широко применяемыми при эксплуатации оборудования вещательного телевидения являются физические интерфейсы ASI (Asynchronous interface) и Ethernet, посредством которого в свою очередь могут передаваться пакеты данных в формате TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей), UDP (User Datagram Protocol – протокол пользовательских дейтаграмм) и RTP (Real Time Protocol – протокол реального времени).

Если группа эфирных телевизионных передатчиков настроена для работы в режиме одночастотной сети, то требования к синхронности излучения радиосигнала являются обязательным условием вещания. Одновременности излучения можно добиться только при синхронизации всех формирователей от одного высокостабильного источника, а также при условии, что каждая из передающих станций будет излучать один и тот же сигнал в одно и тоже время вне зависимости от задержки информационного потока на трассе распространения при доставке его до каждого модулятора. Для передачи каждому эфирному DVB-T2 формирователю данных о времени излучения каждого кадра используется пакет Timestamp – метка времени или временной штамп. В таблице 1.1 приведена структура такого пакета.

Таблица 1.1 – Структура пакета временной метки [5], [9].

Поле		Описание	Предназначение
1		2	3
rfu (reserved for future use)		поле зарезервировано для будущего использования и должно иметь значение 0 ₁₆ .	не используется
bw (bandwidth)		параметр, обозначающий ширину полосы излучаемого в эфир сигнала, а также величину элементарного периода.	используется для расчёта времени излучения сигнала в эфир передатчиком
T2_Times_tamp	second_since_2000	время в секундах, прошедшее с 1 января 2000 года 0:00:00 (по UTC). С каждой следующей секундой значение увеличивается.	используется для расчёта времени излучения в случае абсолютной синхронизации
T2_Times_tamp	subseconds	параметр, характеризующий требуемое время излучения T2 суперкадра в пределах одной секунды. Передаётся как целое число.	используется для расчёта времени излучения сигнала в эфир

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
utco (UTC offset)	поправочное значение в случае расхождения в синхронизации между UTC и отсчётом секунд в поле <code>second_since_2000</code> .	для расчёта времени излучения не используется

Время излучения T2 кадра может задаваться формирователем T2-MI как в формате относительной, так и в формате абсолютной синхронизации. Для того, чтобы T2 шлюз (формирователь T2-MI) генерировал корректное время излучения кадра, его необходимо синхронизировать с помощью спутниковых навигационных систем. Основываясь на времени получения очередного сигнала 1 PPS (1 Pulse Per Second – 1 импульс в секунду), шлюз генерирует T2 Timestamp с данными `subseconds`. Это поле используется для определения времени излучения относительно очередного импульса 1PPS, то есть в пределах 1 секунды. Поэтому если в пакете Timestamp передается только информация в этом поле, то имеет место относительная синхронизация, а как следствие, относительная задержка одночастотной сети (Network Delay). Следовательно, в случае относительной синхронизации, величина Network Delay, выставляемая на шлюзе для компенсации задержки сигнала на пути распространения, не может превышать 1 секунду. В случае если время, необходимое на доставку сигнала до передающих станций, больше 1 секунды, то применение относительной задержки может быть некорректным. В этом случае используется абсолютная задержка. Тогда T2 шлюз генерирует не только данные в поле `subseconds`, которые также рассчитываются относительно поступления сигнала 1 PPS, но и данные в поле `second_since_2000`. Количество секунд, прошедших от даты 1 января 2000 года 0:00:00 (по UTC), вычисляются шлюзом в результате синхронизации с помощью GPS (Global Position System – Глобальная навигационная система). Это значение увеличивается с каждой секундой и является абсолютным (физическим) временем излучения T2 кадра не имеющим ограничения в связи с приходом очередного импульса 1 PPS.

Согласно [6], время излучения суперкадра $T_{изл.}$ в случае относительной синхронизации определяется по формуле:

$$T_{изл.} = \text{subseconds} \cdot T_{sub} \quad (1.1)$$

где $T_{sub} = \frac{1}{64}$ мкс для ширины полосы канала равной 8 МГц.

В случае абсолютной синхронизации время излучения вычисляется по формуле:

$$T_{изл.} = \text{seconds_since_2000} + \text{subseconds} \cdot T_{sub} \quad (1.2)$$

Таким образом, пакет T2 Timestamp используется для передачи информации о требуемом времени излучения T2 кадров, чтобы формирователь каждой передающей станции, оценивая время получения штампа и время прихода импульса синхронизации от приёмника

GPS/ГЛОНАСС, излучал радиосигнал в одно и тоже физическое время, что и другие передатчики одночастотной сети вне зависимости от их удалённости относительно пункта формирования T2-MI [10].

1.2 Методы регионализации контента в DVB-T2

Регионализация контента подразумевает предоставление абонентам цифрового телесигнала телерадиопрограмм (сервисов) с местным (региональным) рекламно-информационным наполнением. Способов вставки локальной информации в федеральные телепрограммы существует несколько, каждый из них применяется в зависимости от используемого формата модифицируемого сигнала и задачи модификации. Задачи модификации могут быть различными:

- врезка информации рекламного характера в аналоговый видеосигнал или сигнал формата SDI (Synchronous Digital Interface – синхронный цифровой интерфейс). Применительно к телеканалам мультиплексов, утверждённых согласно [11], такой способ врезки может осуществляться только на головной станции пункта формирования федерального информационного потока, подлежащего распространению на регионы. Применительно к прочим телеканалам, в частности региональным, такой метод может использоваться с целью последующего распространения телесигнала абонентам кабельных сетей.

- врезка локальной информации в сигнал цифровой телепрограммы, транслируемой в сжатом, то есть закодированном виде.

- врезка локальной информации в сформированный цифровой сигнал, в частности формата T2-MI.

В зависимости от заданных целей, способы их реализации могут быть различны. Для удобства представления методы вставки локальной информации сведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Методы вставки локальной информации.

Задачи регионализации	Врезка в аналоговый или SDI сигнал	Врезка в закодированный сервис	Врезка в T2-MI
Способы регионализации			
1	2	3	4
Использование меток SCTE-35	+	+	+
Использование DTMF сигнала	+	-	-
Применение метода врезки по логотипу телеканала или последовательности видеок кадров	+	-	-

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4
Использование плейлиста (расписания)	+	+	+
Применение технологии синхронного сплайсинга	-	+	+
Применение технологии Local Content Insertion (Annex C [6])	-	-	+

Стоит отметить, что ввиду наличия на рынке телекоммуникационного оборудования разнообразных аппаратно-программных комплексов, позволяющих осуществлять врезку локальной информации, некоторые способы реализации могут совмещаться в один, например, врезка по сигнальным меткам SCTE-35 (Society of Cable Telecommunications Engineers – Сообщество инженеров кабельных телекоммуникаций) не отменяет возможности параллельной работы по плейлисту. Применение технологии синхронного сплайсинга подразумевает и работу непосредственно по меткам SCTE и врезку в закодированный сервис и в итоговый сформированный T2-MI поток. Исходя из классификации, приведённой в таблице 1.4, технология синхронного сплайсинга не является самостоятельным методом, но выведена в отдельный блок в связи с многофункциональностью данного способа.

Методы врезки регионального сигнала в модифицируемый информационный поток рассмотрены в работе [12].

Врезка сигналов местного наполнения в аналоговый видеосигнал телепрограммы на основе заранее определённой последовательности видеокадров являлась одним из первых способов автоматизированной врезки рекламы. Момент пропадания или появления логотипа программы, либо момент начала перебивки – трансляции одного и того же видеоряда в начале и в конце планируемого рекламного блока – являются командой для врезки регионального сигнала. В настоящее время данный метод пользуется всё меньшей популярностью в связи с адаптацией аппаратно-студийных комплексов вещателей к работе с использованием меток SCTE-35.

Использование меток DTMF (Dual Tone Multi-Frequency signaling – звуковые двухтональные метки), транслирующихся в звуковом канале телепрограммы, в качестве указателя момента врезки также является вариантом автоматизированного замещения и применяется преимущественно для модификации телепрограмм в аналоговом формате. Для автоматизированной врезки по DTMF необходимо наличие видеопроцессора, который является одновременно и хранилищем видеофайлов замещения и коммутатором, осуществляющим переключение источников (телепрограмма / файл замещения) в нужный момент времени. Недостатком такого способа является обязательное декодирование телепрограммы с целью выявления звуковых меток, а также наличие отдельного видеопроцессора для модификации

каждой телепрограммы. С. П. Куликов в своей работе [13] приводит сравнительный анализ существующих методов врезки рекламы в сигналы цифрового и аналогового телевидения, а также подробно демонстрирует процесс замещения с помощью графического материала.

В работе будут подробнее рассмотрены два способа: врезка информации путём сплайсинга и технология Local Content Insertion (Annex C [6]). Последний рассматривается более подробно, поскольку данный метод будет использоваться при проведении экспериментального исследования.

Вставка сигналов местного наполнения путём синхронного сплайсинга. Сплайсинг представляет собой процесс бесшовной врезки контента в сервисы цифрового транспортного потока с использованием сплайсера, который осуществляет вставку с помощью управляющих команд SCTE-35 либо по расписанию, определённому в плейлисте. SCTE-35 – американский национальный стандарт, регламентирующий передачу в составе транспортного потока специальных меток, команды в которых обозначают моменты начала и окончания врезки, а также прочие параметры, определённые в [14]. А. Ф. Перегудов в своей работе [15] подробно рассматривает структуру метки управления и объясняет предназначение каждого поля информации. Описанию данного способа врезки локальной информации также посвящены стандарты ANSI/SCTE-118-1 [16] и SCTE-118-3 [17].

На сплайсер подаётся транспортный поток в формате SPTS (Single Program Transport Stream – однопрограммный поток) или MPTS (Multiple Program Transport Stream – многопрограммный поток), содержащий один или более сервисов, сжатых, применительно к цифровому телевидению, в формате MPEG-2 или H264 (MPEG-4). Сплайсер взаимодействует по каналу управления с сервером хранения видеоданных, если он является отдельным устройством, и при поступлении метки SCTE-35, передающей информацию о начале врезки подменяет контент со следующего опорного I кадра видеоряда (если программа в формате MPEG-2) или кадра IDR (Instantaneous decoding refresh) - если программа закодирована в MPEG-4. Врезка с начала опорного кадра является обязательным условием бесшовной вставки, так как опорный кадр независим и не связан с предыдущими, поэтому в случае его замены артефактов на изображении наблюдаться не будет. Заменяемый файл должен иметь кадровую структуру GOP (Group of Picture) идентичную основному сервису, а также одинаковый битрейт для выполнения бесшовной врезки. Ближе к окончанию рекламного окна в потоке может передаваться метка SCTE-35, обозначающая завершение блока локальной информации. После получения метки сплайсер производит обратную процедуру замены регионального потока основным. Первоначальным источником меток управления является инжектор – устройство, обеспечивающее врезку в аналоговый или SDI сигнал меток SCTE-104 вручную или по

заданному расписанию и располагающийся на стороне вещателя при формировании программы в аппаратно-студийном комплексе. Метки SCTE-104, передаваемые в SDI сигнале, после сжатия контента преобразуются устройством кодирования в формат SCTE-35, пригодный для обработки сплайсером. В зависимости от аппаратно-программной реализации сплайсер может быть самостоятельным устройством, не совмещённым с сервером хранения локальной информации, а может быть и реализован в качестве сервера-сплайсера, объединяющего функции обработки, управления, врезки и хранения видеофайлов.

Подробное описание метода сплайсинга, условий бесшовной врезки, а также методов формирования и обработки меток SCTE-104/35 представлено в работе [18].

Вставка контента методом синхронного сплайсинга возможна не только при подаче на вход сплайсера транспортного потока, но и при поступлении сформированного потока T2-MI, предназначенного для цифрового передатчика DVB-T2. В этом случае сплайсер должен поддерживать возможность деинкапсуляции транспортного потока из T2-MI и возможность обратного его формирования, внося при этом минимально возможную задержку, чтобы не влиять на работу одночастотной сети. Условия бесшовной врезки также должны полностью выполняться при работе с потоком T2-MI. Описание такого способа врезки контента приведено на официальном сайте производителя сплайсеров, работающих с потоком T2-MI [19].

Методом синхронного сплайсинга может быть осуществлена врезка не только информации в виде записанных ранее файлов, но и вставка «живого» потокового видео, например, при трансляции прямого эфира.

Local Content Insertion. Техническими условиями [6] определён способ замещения локального контента, представляющий из себя врезку местных информационных сигналов T2-MI в общий региональный поток и формирование результирующего T2-MI, подаваемого либо на цифровой телевизионный передатчик, либо далее в сеть распространения. Устройство, обеспечивающим врезку локальной информации, является инсёртер T2-MI потока [20]. Данный способ модификации определён как Local Content Insertion и может быть осуществим при выполнении следующих условий:

1) замена либо вставка информации может быть осуществлена только посредством каналов физического уровня – Physical Layer Pipes. Исходный T2-MI должен быть сконфигурирован из нескольких PLP (режим Multiple PLP), где телевизионные сервисы транслируются в составе нескольких транспортных потоков независимых друг от друга. Замена одного сервиса из состава PLP при данном способе невозможна.

2) конфигурационные параметры заменяемых каналов физического уровня должны быть идентичны, за исключением идентификаторов сетей-вещателей. Это связано с тем, что при

замене/вставке PLP результирующий T2-MI несёт в себе конфигурационные пакеты L1 signaling, взятые из основного/федерального информационного потока T2-MI, а не сгенерированные, поскольку устройства вставки локального контента не являются источниками служебных пакетов T2. Основываясь на идентификаторе PLP, который указан в конфигурационном пакете, инсёртер локального контента определяет общий кадр (Baseband frame – BB кадр), соответствующий заменяемой PLP с помощью поля «PLPID» (PLP Identifier – идентификатор канала физического уровня), и меняет его на аналогичный Baseband кадр, соответствующий локальной PLP.

3) битрейт модифицируемых PLP также должен быть идентичен, его девиация возможна только в рамках заданного количества FEC-блоков, в противном случае, некорректная передача пакетов будет способствовать возникновению ошибок первого и второго приоритета согласно ETSI TR 101290.

При замене одной PLP другой, идентичной предыдущей по параметрам модуляции, возможно следующее:

- если скорости исходного и модифицируемого транспортных потоков идентичны, то заменяются все общие кадры;

- если скорость локального потока физически несколько меньше, чем разрешённая по количеству FEC блоков, то инсёртер либо заполняет пустой битрейт нуль пакетами, либо вставляет пустые BB кадры, осуществляя так называемый BB Padding [5].

Одним из требований, предъявляемых к устройству локальной врезки, является возможность его работы в одночастотных сетях [21]. Что касается информационного потока, то адаптация его к одночастотной сети осуществляется с помощью служебного пакета T2 – метки времени T2 Timestamp. В этом пакете передаётся информация о времени его генерации, относительно которого синхронизируются все передатчики одночастотной сети как в режиме относительной, так и абсолютной синхронизации. В связи с тем, что основной (национальный) T2-MI поток доставляется до каждой передающей станции за определённое время, отличное от времени доставки локального потока, то величина временной задержки в конечной точке будет различна. Общая временная задержка определяется, во-первых, величиной Network Delay (сетевой задержкой), выставленной на оборудовании, формирующем T2-MI поток, и, во-вторых, потерей времени на распространение сигнала на пути доставки его к передающим станциям. Задача устройства врезки локального контента в этом случае заключается в минимизации вносимой задержки при обработке цифрового потока. При условии работы инсёртера в режиме одночастотной сети, обязательным является синхронизация его

внутреннего опорного генератора с сигналом, полученным посредством GPS/ГЛОНАСС приёмника.

Так как, согласно документу ETSI TS 102773, реплейсер-мультиплексор не является генератором служебных пакетов T2, то, соответственно, не вносит никаких изменений в передачу пакетов, содержащих в качестве полезной нагрузки метки времени, а также конфигурационных пакетов сигнализации L1.

Одним из недостатков устройств локальной врезки является то, что битрейт информационного потока ограничен параметрами модуляции каждой из PLP, и при необходимости изменения скорости локального контента, её девиация возможна только в рамках заданного количества FEC блоков в основном потоке T2-MI (по материала [22]).

Общая схема организации вещания с использованием устройства врезки контента представлена на рисунке 1.2.

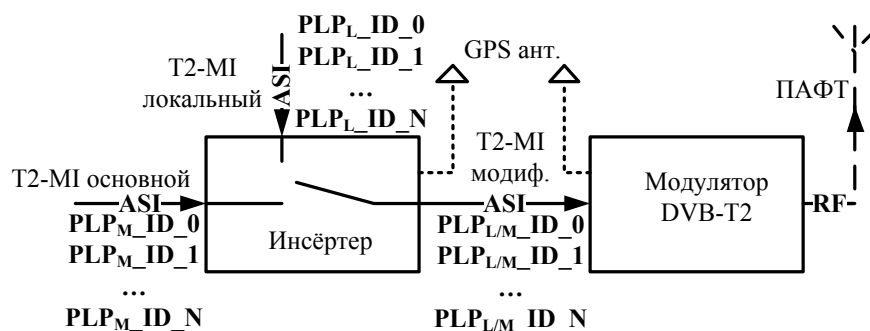


Рисунок 1.2 – Схема организации вещания с использованием инсёртера

Как видно из рисунка 1.2, инсёртер заменяет некоторое количество транспортных потоков, входящих в основной T2-MI, каналами физического уровня из состава локального T2-MI, формируя на выходе модифицированный поток, передаваемый на модулятор DVB-T2. Поскольку основной и региональный потоки сформированы различными источниками и принадлежат различным сетям-вещателям, то такая ситуация характеризуется следующим:

- кроме информационной составляющей локального или федерального характера, вещатель может передавать в составе конкретной PLP и прочую служебную информацию, например, данные электронной программы передач или оповещение о сети-вещателе с различным дополнительным описанием в таблице NIT (Network Information Table – таблица информации сети);

- идентификатор вещающей сети передаётся в частности в поле данных L1 Presignaling служебного кадра T2, соответственно, каждый поток несёт в этом поле индивидуальную информацию.

1.3 Организация сетей телевизионного вещания

Сетью телевизионного вещания называется совокупность технических средств телевизионных передающих станций или ретрансляторов, предназначенная для вещания одинакового количества сервисов на определённой территории с целью обеспечения возможности качественного приёма сигнала максимальным количеством абонентов. При проектировании сети каждому передающему устройству выделяется требуемый частотный канал в соответствии с правилами [23].

Сеть вещания может быть организована либо по многочастотному принципу построения (MFN – Multiple Frequency Network), либо по одночастотному принципу (SFN). В обоих случаях абонентская станция, находящаяся в зоне покрытия нескольких передатчиков, может принимать как прямые так и отражённые сигналы. Многолучевое распространение радиоволн непосредственно влияет на качество приёма цифрового теле- сигнала. Так, в зависимости от типа канала приёма рассчитывается либо измеряется отклонение огибающей спектра, согласно [24], и чем более данный параметр стремится к нулю децибел, тем более ровной является огибающая COFDM и тем выше коэффициент MER – математический параметр ошибок модуляции – основной показатель качества цифрового сигнала. Также при наличии на входе приёмного тракта отражённых сигналов, время поступления которых превышает границы допустимого защитного интервала, увеличивается количество битовых ошибок – Bit Error Ratio (BER), что выражается в наличии артефактов ТВ изображения на экране абонента.

Одночастотная сеть передающих станций (SFN) – такой способ построения наземной сети вещания, при которой группа передатчиков работает в одном частотном канале, транслирует абсолютно идентичный контент и имеет участки перекрытия зон обслуживания. Обязательным условием работы SFN является наличие в потоке T2-MI специального пакета метки времени T2 Timestamp, структура которого была рассмотрена выше. Кроме того, во временном штампе необходима передача данных об относительном или абсолютном режиме синхронизации, выбор которого определяется исходя из используемого в одночастотной сети оборудования, а также с учетом потери времени на распространение информационного сигнала до каждой телевизионной передающей станции.

Кроме введения временной метки в устройстве формирования устанавливается параметр величины сетевой задержки – Network Delay. Данный параметр выбирается также с учётом запаса по времени для компенсации его потери при распространении сигнала до РТПС. В зависимости от указанного выше типа используемой синхронизации величина Network Delay

может составлять одну секунду и более (в случае абсолютной синхронизации) и не более одной секунды (в случае относительной синхронизации). Если трасса распространения сигнала подразумевает, что сигнал достигнет самой дальней станции более чем через секунду, тогда целесообразным является использование абсолютного способа синхронизации с сетевой задержкой более секунды.

Также в информационном потоке могут передаваться, но не обязательны к трансляции пакеты индивидуальной адресации, несущие информацию отдельному передатчику сети.

Информационный поток для передатчиков одночастотной сети может быть сформирован только в режиме MultiPLP. Преимущества использования нескольких каналов физического уровня заключаются в следующем:

1) каждый из транспортных потоков (PLP), проходя через устройство формирования T2-MI, может быть настроен с различной степенью помехоустойчивости. Например, PLP с идентификатором 0 может иметь N FEC-блоков, при этом количество FEC задаётся с учётом битрейта данного транспортного потока, и глубину перемежения – M мс, передаваться с модуляцией 256QAM и скоростью кода 5/6. Транслирующаяся в этом же потоке PLP с идентификатором 1 может иметь A FEC-блоков и передаваться с модуляцией QPSK и скоростью кода 1/2, здесь $A < N$. Таким образом, изменением настроек модуляции каждого потока в отдельности можно добиться того, что данные в одном потоке будут передаваться с максимальной скоростью, но меньшей помехоустойчивостью, достаточной для обеспечения высокого качества сигнала при фиксированном способе приёма, а в другом потоке – с минимальной скоростью, но большей помехоустойчивостью, достаточной для приёма мобильным абонентским устройством.

2) При организации врезки локального контента с помощью инсёртера-мультиплексора необходимо использование только режима Multiple PLP, поскольку вставка регионального T2-MI в национальный осуществляется на уровне подмены BB кадров одной PLP BB кадрами заменяемой PLP, то есть использование устройства вставки возможно только в режиме System B.

3) Другие возможности стандарта второго поколения, например, режим работы T2 Lite и возможность композитного T2 сигнала могут использоваться только в режиме System B, поэтому актуальность применения такого способа вещания вполне объективна.

Поддержка работы в MultiPLP является базовой функцией современных модуляторов передатчиков всех производителей, поставляющих оборудование для вещания в стандарте второго поколения.

Требования к индивидуальной настройке цифровых ТВ передатчиков. При проектировании сети вещательных станций производится расчёт необходимой зоны покрытия, и, в случае построения одночастотной сети, наличие некоторой территории с перекрытием зон обслуживания нескольких передатчиков, практически всегда подразумевает настройку индивидуальной задержки формирователей ТВ сигнала. Данный параметр настраивается исходя из предварительно проведённых измерений величин задержек эхосигналов, присутствующих в конкретной точке расчётного перекрытия зон. Эхосигналами являются радиосигналы от соседних передатчиков сети, которые работают на одном частотном канале с наиболее близко расположенным к точке измерения передатчиком, уровень сигнала которого, соответственно, превышает уровни сигналов прочих передающих станций. К эхосигналам также относятся радиоволны основного и соседних ретрансляторов, отражённые от каких либо препятствий и попадающие на вход измерительной либо абонентской приёмной антенны. Для удобства представления схематично принцип построения SFN изображен на рисунке 1.3.

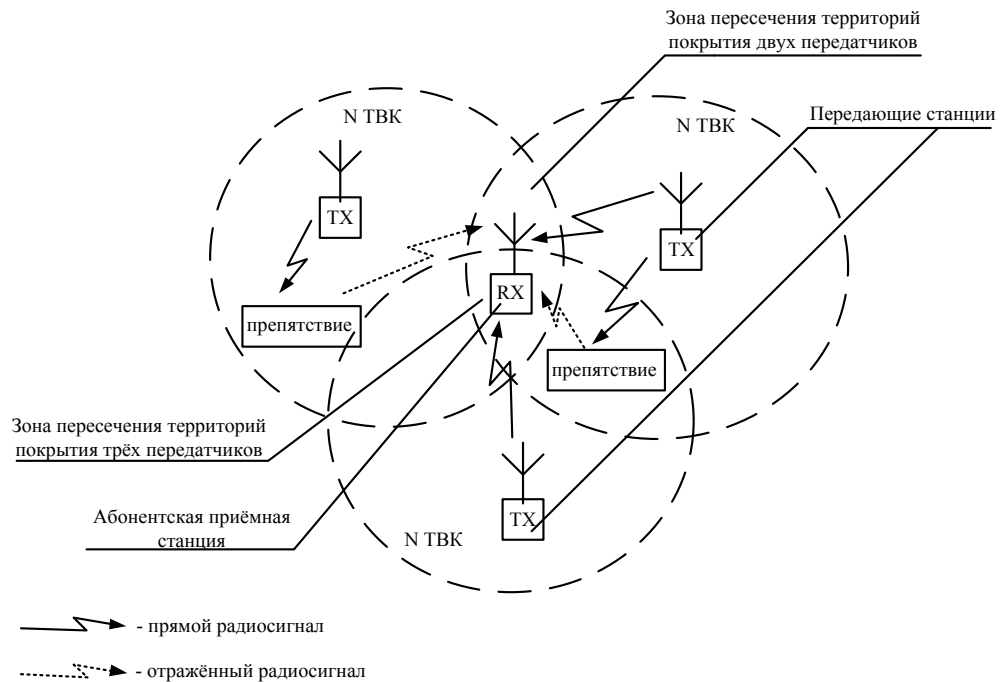


Рисунок 1.3 – Схема построения одночастотной сети

В зависимости от режима модуляции и типа распределённых пилот сигналов в COFDM определяется величина защитного интервала, во время длительности которого приёмное устройство временно отключается, то есть перестаёт демодулировать ВЧ сигнал до тех пор, пока не закончится GI. Затем процесс демодуляции возобновляется. Если в результате проведения ряда измерений эхосигналы от соседних передатчиков отстают по времени настолько, что время их прихода укладывается в длительность защитного интервала, то такие мешающие воздействия не оказывают никакого влияния на качество приёма цифрового сигнала. В случае если эхосигналы поступают на вход приёмной станции после окончания

передачи защитного интервала, то такие сигналы в зависимости от уровня могут препятствовать демодуляции сигнала. Это может привести к потере части несущих, провалам огибающей спектра и, следовательно, уменьшению величины коэффициента ошибок модуляции (MER) – основного показателя качества цифрового телесигнала [25], [26]. Исследование влияния интерференции в одночастотных сетях проводили в своих работах в частности Карякин В. Л. [27] и Школьный С. И. [28]. Школьный С. И. в [28], проводя обзор методов оптимизации построения одночастотных сетей, исследует влияние экосигналов и приводит ряд формул для оценки влияния каждой мешающей волны.

На рисунке 1.4 приведен снимок экрана спектроанализатора при воздействии на цифровой сигнал экосигнала [27].

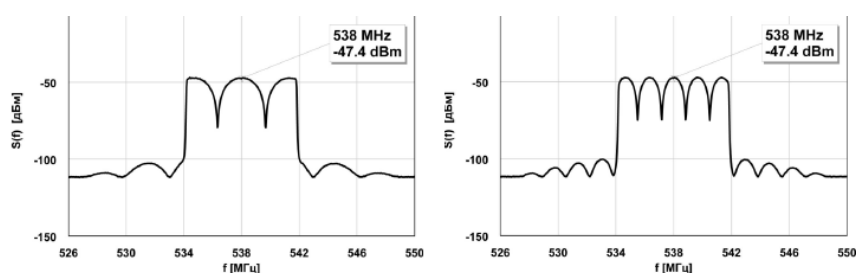


Рисунок 1.4 – Характер искажений огибающей спектра при воздействии экосигнала [27]

Таким образом, в зависимости от характера экосигналов на измеряемой территории, при необходимости вводится индивидуальная временная задержка излучения OFDM символа для каждого передатчика. Искусственное «торможение» момента начала излучения соответствует виртуальному разнесению передающих станций на определённое расстояние друг относительно друга.

В результате практических измерений опытным путём подбирается необходимая величина отстройки по времени каждого передатчика – local time offset (LO).

При условии работы сети станций в режиме SFN, обязательным является синхронизация внутренних опорных генераторов формирователей с высокостабильным сигналом, частотой 10 МГц, полученным с помощью встроенного либо внешнего GPS/ГЛОНАСС приёмника. Согласно требованиям [25], отклонение частоты в передатчиках в режиме SFN может составлять не более 1 Гц, поэтому вопрос синхронизации для таких сетей в течение всего времени работы является весьма актуальным. В связи с этим, все передающие станции должны излучать один и тот же T2 кадр в один и тот же момент времени, иначе в случае отсутствия синхронизации хотя бы одной передающей станции, приём цифрового телесигнала будет невозможен в зонах перекрытия её территории обслуживания с соседними передатчиками.

Кроме того, при наличии прочего оборудования, находящегося в тракте между источником информационного сигнала T2-MI и эфирным передатчиком, необходимо учитывать

возможность его работы в режиме одночастотной сети, то есть степень его влияния на величину сетевой задержки – Network Delay.

Сеть ТВ передатчиков способна транслировать информационный поток либо в режиме Single Input, Single Output (SISO) – «один вход, один выход» либо в режиме Multiple Input, Single Output (MISO) – «много входов, один выход».

В режиме SISO подразумевается, что каждая абонентская приёмная станция принимает сигнал только от одного ТВ передатчика, игнорируя прочие сигналы. Практически режим SISO представляет собой способ трансляции цифрового ТВ сигнала, при котором абонентская приёмная станция при любом типе приёма настраивается на демодулирование ВЧ сигнала наибольшего уровня, оценивая прочие сигналы как мешающие, при этом обычно используются направленные приёмные антенны для максимального подавления эхо- и отражённых сигналов. Таким образом, в режиме SISO приёмнику необходим всего один прямой сигнал от одной передающей станции, при этом не имеет значение возможное нахождение абонента в зоне перекрытия территорий обслуживания нескольких передатчиков одночастотной сети.

С точки зрения параметров модуляции используется стандартный набор пилот сигналов [29] при соответствующих количестве несущих и величине защитного интервала, то есть в режиме SISO обеспечивается большая пропускная способности канала, чем в MISO.

1.4 Аппаратно-программное обеспечение при организации вещания стандарта DVB-T2

Поскольку в данной работе при проведении исследований будет использоваться оборудование производства НПП «Триада ТВ», то необходимость краткого обзора технических характеристик производимых фирмой передатчиков очевидна.

Эфирные ТВ передатчики с модулятором ProTelevision. Входной транспортный или T2-MI поток через блок управления и контроля поступает на блок формирователя, формирующего высокочастотный цифровой сигнал на частоте телевизионного канала. Сигнал с выхода формирователя усиливается до необходимого уровня оконечными усилителями мощности. После сложения усиленного сигнала в сумматорах, ВЧ поступает в антенну или эквивалент, проходя через выходной полосовой фильтр. Передатчик контролируется системой дистанционного контроля через специальный блок. Формирователи, усилители, блоки балластов и другие устройства подключаются к блоку контроля напрямую или через IP коммутатор. Блок дистанционного контроля собирает информацию со всех блоков передатчика, включая систему жидкостного охлаждения, объединяет данные и передаёт их по запросу во

внешнюю сеть через сетевой шлюз. Уровни падающей и отражённой мощности измеряются детекторами, установленными на выходном рефлектометре передатчика, преобразуются в цифровую форму в блоке управления, а в блоке системы дистанционного контроля определяется величина коэффициента стоячей волны и выдаётся сигнал блокировки усилителей.

Один из блоков передатчика – модулятор DVB-T/T2 – предназначен для формирования высокочастотного телевизионного сигнала в диапазонах III, IV, V в соответствии с EN 300744 и EN302755. Практически все модуляторы современных цифровых передатчиков поддерживают оба стандарта ТВ вещания – первого и второго поколения, поэтому могут работать как с транспортным информационным потоком в иерархическом и в неиерархическом режимах в DVB-T, так и с T2-MI потоком. При работе с TS, формирователь позволяет также работать в System A с настройкой всех параметров модуляции и кодирования через собственный WEB-интерфейс.

Модулятор поддерживает несколько режимов работы: режим Base, Lite и Base-Lite. Первый из них, соответственно, позволяет работать с версиями 1.1.1, 1.2.1 и 1.3.1 в основном профиле; второй – с версией 1.3.1 в профиле Lite с ограниченными настройками кодирования и модуляции; третий – с версией 1.3.1 с сигналом композитного формата при трансляции нескольких логических потоков T2-MI или TS по одной физической линии. Реализация режима Base-Lite на практике затруднена в связи с ограниченными функциями формирующего оборудования.

Формирователь поддерживает режим работы как в MFN, так и в SFN, в связи с этим возможна внешняя синхронизация модулятора с помощью сигналов 10 МГц, 1PPS, а также с использованием встроенного GPS/ГЛОНАСС приёмника при подключении к нему антенны с малошумящим усилителем.

Обработка сигнала в формирователе в процессе модуляции COFDM требует больше или меньше времени в зависимости от типа используемого процессора. Такая ситуация может иметь несколько последствий:

- при работе сети передающих станций в режиме одночастотной сети и использовании различных марок передающего оборудования, необходимо добиваться синхронности излучения с учётом одинаковой сетевой задержки информационного потока, но разным необходимым временем на модуляцию сигнала. Это осуществляется путём корректировки индивидуальной временной задержки передатчика, которому требуется меньшее время на обработку, с целью «затормаживания» момента излучения и выравнивания его с передатчиком, которому требуется большее время на обработку информационного потока. Подобные настройки осуществляются

на местности при проведении ряда измерений напряжённости поля и вычисления зон перекрытий.

- различное время восстановления нормальной работы после ошибок в потоке, что может сказываться на качестве приёма цифрового сигнала абонентами также при работе сети передатчиков в SFN.

1.5 Выводы по главе

Глава посвящена краткому обзору стандарта DVB-T2, рассмотрены методы регионализации контента, а также расширения стандарта второго поколения. Проанализированы труды ведущих учёных по направлению исследования. Необходимо отметить, что:

- вопросы нарушения нормальной работы оборудования передающей станции DVB-T2, связанные с нестабильностью опорного сигнала синхронизации, а, следовательно, с неверной оценкой сетевой задержки потока T2-MI на входе передатчика, в настоящее время требуют подробного исследования, в том числе с использованием действующего телекоммуникационного оборудования для проведения практических измерений.

- вопросы допустимых диапазонов входной задержки потока для некоторых моделей передатчиков DVB-T2, в частности для модели ProTelevision PT-2000, применяемых в настоящее время для эфирной трансляции сигнала цифрового телевидения, также требуют подробного изучения, поскольку данная информация в общем доступе отсутствует.

- технические проблемы организации вещания с использованием устройств врезки локального контента по технологии Local Content Insertion (ETSI TS 102773), связанные с нестабильностью опорного сигнала синхронизации, нуждаются в более глубоком исследовании в связи с тем, что данное технологическое решение является новшеством, старт применения которого был дан в России лишь в 2015 году, в связи с чем детальная статистика работы оборудования врезки на данный момент отсутствует.

Поэтому в рамках настоящего исследования в качестве основных выступают следующие цели:

1) выявление и определение причин нарушения нормальной работы комплекса оборудования типовой эфирной передающей станции с целью обеспечения оперативной диагностики возникающих неисправностей;

2) анализ преимуществ и недостатков схемы вещания с использованием устройств вставки локального контента.

Для выполнения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

1) произвести теоретический анализ схемы вещания DVB-T2 с использованием устройств вставки локального контента;

2) определить параметры надёжности схем вещания при наличии устройства регионализации и без его применения и произвести сравнительный анализ обоих способов формирования сигнала с применением методов теории графов;

3) произвести экспериментальное исследование с использованием телекоммуникационного оборудования, включающее в себя несколько этапов:

3.1) измерение величины сетевой задержки T2-MI потока в точке приёма сигнала мультиплекса на передающей станции;

3.2) моделирование работы инсёртера в отсутствии сигнала синхронизации;

3.3) моделирование одночастотной сети, состоящей из двух передающих узлов, при различных настройках на устройствах регионализации.

4) сформировать информационно-справочный материал для студентов и инженеров в области телекоммуникаций.

Выбор и постановка таких целей и задач обусловлены следующими причинами:

- повсеместный переход на цифровое вещание стандарта DVB-T2 расширил возможности предоставления услуг эфирного телевидения, в том числе позволил транслировать местное рекламно-информационное наполнение контента без влияния на структуру федерального мультиплекса. В связи с этим дооснащение цифровых станций устройствами врезки сопровождается возникновением сбоев в работе, вызванных различными причинами. Выявление взаимосвязи и систематизация причин нарушения нормальной работы оборудования передающих станций является основной причиной постановки целей в данной исследовательской работе;

- одночастотный режим работы вещающих станций DVB-T2 является преимущественным способом построения сетей, однако, для его реализации необходимо выполнение множества требований в частности к синхронизации оборудования. При таком способе использование дополнительных устройств в тракте может вызвать нарушение функционирования участков сети, поэтому вопрос исследования корректности работы SFN при различных условиях также является причиной формирования целей в настоящей работе;

- раскрытие физического смысла процессов, происходящих при замещении контента, а также при формировании потока для DVB-T2, является немаловажной задачей, так как

способствует повышению уровня подготовки персонала, что, следовательно, влияет на оперативность устранения аварий и технических остановок [25].

В связи с завершением перехода на стандарт вещания DVB-T2 и повсеместным внедрением устройств, обеспечивающих врезку локальной информации, изложенные выше цели и задачи являются весьма актуальными на современном этапе развития эфирного телевидения. В последующих трёх главах настоящей работы предложены методы и способы решения поставленных задач.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Структура исследуемой системы вещания

На рисунке 2.1а представлена типовая схема системы организации вещания DVB-T2 на передающей станции без использования устройства врезки, а на рисунке 2.1б – с использованием оборудования модификации потока.

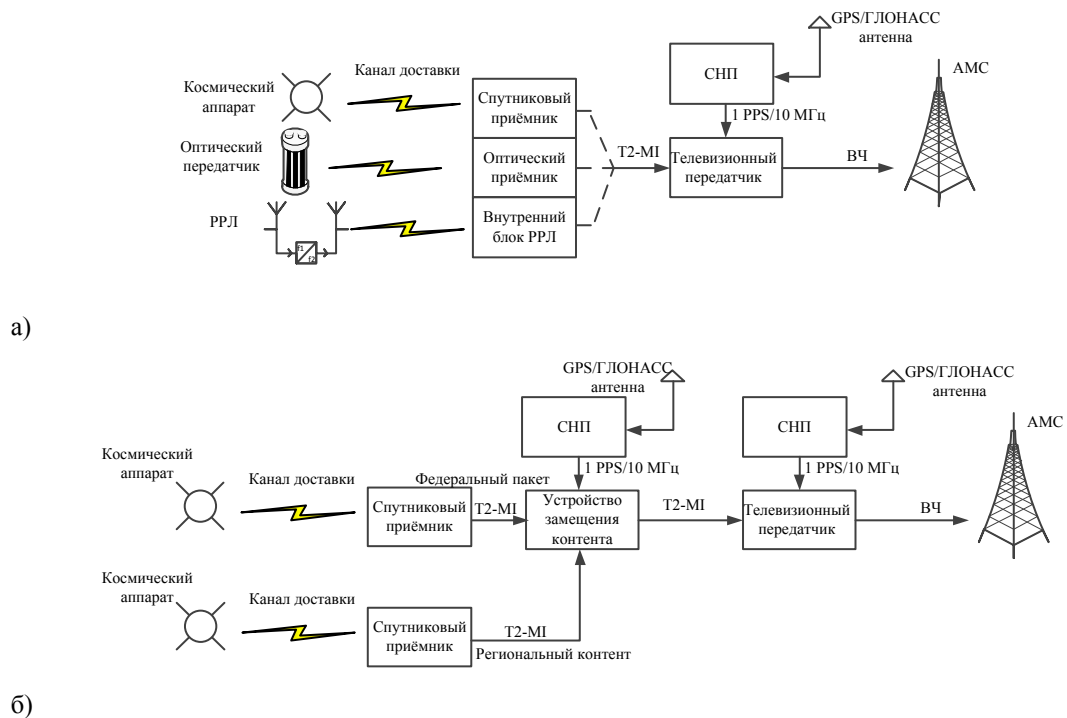


Рисунок 2.1 – Типовая схема организации вещания на передающей станции без использования устройства вставки регионального контента а) и с использованием устройства врезки б)

На рисунке: СНП – спутниковый навигационный приёмник систем GPS/ГЛОНАСС; ВЧ – сигнал частоты выходного телевизионного канала передатчика DVB-T2; АМС – антенно-мачтовое сооружение; 1 PPS/10 МГц – опорный сигнал синхронизации; РРЛ – радиорелейная линия связи.

Цифровой информационный поток в формате T2-MI, сформированный в территориально удалённом пункте с использованием T2-MI шлюза, распространяется на заданной территории вещания посредством спутниковых, оптических либо радиорелейных линий связи. Выбор способа доставки информации определяется с учётом удалённости станций, рельефа местности, а также имеющейся инфраструктуры. Немаловажную роль играет требуемая пропускная способность канала, поскольку в стандарте DVB-T2 полезный битрейт потока может достигать 50 Мбит/с [25], поэтому применение низкоскоростных каналов в данном случае не является

возможным. С учётом вышеизложенных факторов используется тот или иной способ доставки, однако, возможна и комбинация каналов связи, например, в случае наличия оптической линии между несколькими близкорасположенными станциями её использование вполне объективно, но для удалённых объектов целесообразнее работать со спутниковым каналом связи. При комбинации каналов распространения необходимо учитывать режим работы станций, использующих информационный поток: в случае работы в одночастотном режиме величина сетевой задержки (Network Delay) будет существенно различаться ввиду различных временных затрат на распространение сигнала. Для удобства представления, особенности выбора канала доставки при практической реализации сети приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики каналов связи для доставки информационного потока.

Канал доставки	Достоинства	Недостатки	Особенности
спутниковый	возможность приёма в самых труднодоступных пунктах вещания	высокая подверженность помехам	высокая сетевая задержка на распространение, один «скачок» –
	надёжность (возможность приёма сигнала со спутника может сохраниться даже при значительном ухудшении характеристик канала)	ограниченная ширина канала подверженность погодным условиям	передача/приём – задерживает сигнал на 250 мс [30]
оптоволоконный	практически полное отсутствие ошибок (ETSI TR 101290) в принятом потоке	отсутствие возможности доставки в труднодоступные пункты	низкая надёжность в случае ухудшения технических характеристик канала
	высокая пропускная способность низкие затраты на оборудование приёмной части	высокие капитальные затраты при строительстве линии связи	минимальная сетевая задержка на распространение
радиорелейный	высокая пропускная способность	высокие капитальные затраты при строительстве линии связи	целесообразность строительства линии связи напрямую зависит от рельефа местности
		подверженность погодным условиям	

Таким образом, целесообразность использования того или иного способа доставки определяется преимущественно особенностями местности региона вещания и степенью удалённости станций друг от друга.

Далее (рисунок 2.1), информационный поток принимается с помощью соответствующего приёмного оборудования, выходной интерфейс которого должен соответствовать

используемому входному интерфейсу передатчика. В настоящее время на приёмном и телевизионном передающем оборудовании широко используются интерфейсы Ethernet и ASI (Asynchronous interface – асинхронный интерфейс). Интерфейс Ethernet определён стандартом 802.3 и является технологией обмена информацией с коммутацией пакетов, позволяющей осуществлять дуплексные или полудуплексные соединения. Технические основы и структура кадров данной технологии подробно рассмотрены в [31].

С точки зрения практической реализации, эксплуатационные особенности интерфейса Ethernet заключаются в следующем:

- на физическом уровне приём/передача осуществляется с помощью кабеля UTP, применяемого при организации локальных сетей;

- обмен информацией может осуществляться с использованием различных поддерживаемых протоколов: TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей), UDP (User Datagram Protocol – протокол пользовательских дейтаграмм), RTP (Real Time Protocol – протокол реального времени).

- возможность работать как напрямую (с помощью физического соединения между приёмником и передатчиком), так и через дополнительные устройства, например, шлюз или Ethernet коммутатор;

- возможность раздачи потока с одного физического интерфейса многим потребителям одновременно;

- возможность дуплексной связи;

- надёжность канала снижается при включении в тракт дополнительных устройств (шлюза, коммутатора и других), либо при приближении битрейта к границе пропускной способности данной линии.

Особенности интерфейса ASI:

- на физическом уровне передача осуществляется с помощью коаксиального кабеля, непосредственно напрямую соединяющего приёмник и соответствующий вход телевизионного передатчика;

- высокая надёжность канала передачи.

Информационный поток T2-MI подаётся на вход передающего устройства инкапсулированным в пакеты транспортного потока с целью адаптации к интерфейсам оборудования, поскольку большинство современных устройств не поддерживает возможность работы с «чистым» T2-MI. Передатчик DVB-T2 в свою очередь, анализируя служебный пакет L1, определяет параметры модуляции и кодирования поступивших данных, режим работы, а также другие конфигурационные параметры, приведённые в п. 1.1. Для корректной работы

передающего устройства вне зависимости от того, работает оно в одночастотном режиме или нет, необходима синхронизация внутреннего опорного генератора от высокостабильного источника сигнала, в качестве которого используется приёмник спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС. Внешний опорный сигнал способствует сохранению стабильности выходной центральной частоты передатчика и нахождение её отклонения в рамках допустимых значений, согласно [25], в зависимости от режима работы. Если передающая станция входит в состав одночастотной зоны, то наличие высокостабильного опорного сигнала необходимо также для точного определения требуемого времени излучения каждого поступившего суперкадра потока.

На рисунке 2.16 представлена в общем виде схема организации вещания на типовой передающей станции с использованием устройства вставки локального контента. Поскольку основной целью практического применения устройств регионализации является возможность модификации потока на местах без влияния на структуру основного федерального контента, то в большинстве случаев их применение оправдано там, где в качестве канала доставки информационного потока до передающих станций используется спутниковый сегмент. Так как частотный ресурс вещательного космического аппарата крайне ограничен в связи с большой востребованностью и фиксированным частотным диапазоном работы, то эксплуатация канала, шириной порядка 20 МГц, для трансляции программ, модифицированных на региональной головной станции, с битрейтом около 35 Мбит/с (скорость потока программ первого мультиплекса – 2018) является экономически невыгодной. При модификации в региональном центре с последующим вторичным подъёмом на борт космического аппарата всего контента мультиплекса, включая и часть программ, не подлежащих регионализации вообще, аренда спутникового ресурса является финансово нецелесообразной. В этом случае трансляция на борт космического аппарата не всего контента, а лишь тех телевизионных сервисов, которые были модифицированы, является вариантом экономии частотного ресурса. Различные способы формирования и трансляции информационного потока рассмотрены В. Л. Карякиным в [32]. Поэтому на рисунке 2.16 представлены два спутниковых приёмника: один – для приёма пакета программ основного федерального мультиплекса, а второй – для приёма нескольких программ, модифицированных в региональном центре. При использовании в качестве основного канала доставки радиорелейной линии или оптического волокна регионализация с использованием устройств вставки регионального контента на каждой передающей станции не является целесообразной. Это связано с тем, что модификация потока может быть осуществлена лишь один раз на региональной головной станции и далее с помощью этих каналов связи региональный мультиплекс может быть доставлен до каждой эфирной станции региона.

Согласно рисунку 2.1б оба принятых информационных потока поступают на устройство вставки локального контента, которое и производит замещение указанного количества PLP. Инсёртер также подлежит обязательной синхронизации от высокостабильного источника опорного сигнала с целью обеспечения корректности замещения потоков. Выходной сигнал с инсёртера подаётся на формирователь DVB-T2, который, как и в предыдущей схеме, также подлежит обязательной синхронизации от 1PPS/10 МГц.

Рассмотренная структура исследуемой системы вещания может быть представлена на языке теории графов. Так, в работе [33] представлен способ описания и проектирования телекоммуникационных сетей с использованием портового графа $G(D,P,C)$, который содержит в себе множество вершин-устройств D , множество вершин портов P и множество рёбер/дуг C , являющихся линиями или каналами связи. В работе [33] также приводятся свойства данного математического объекта и способы отображения портового графа.

Применительно к рассматриваемой телекоммуникационной сети вещания портовой граф может иметь структуру, приведённую на рисунке 2.2.

С математической точки зрения данный граф $G(Y,P,C)$ состоит из множества вершин-устройств Y , вершин-портов P и рёбер и дуг-линий связи C . Граф является смешанным, поскольку содержит как рёбра так и дуги, особенность применения которых заключается в используемом способе передачи данных. Данный граф является математическим представлением типовой схемы организации вещания, приведённой на рисунке 2.1б.

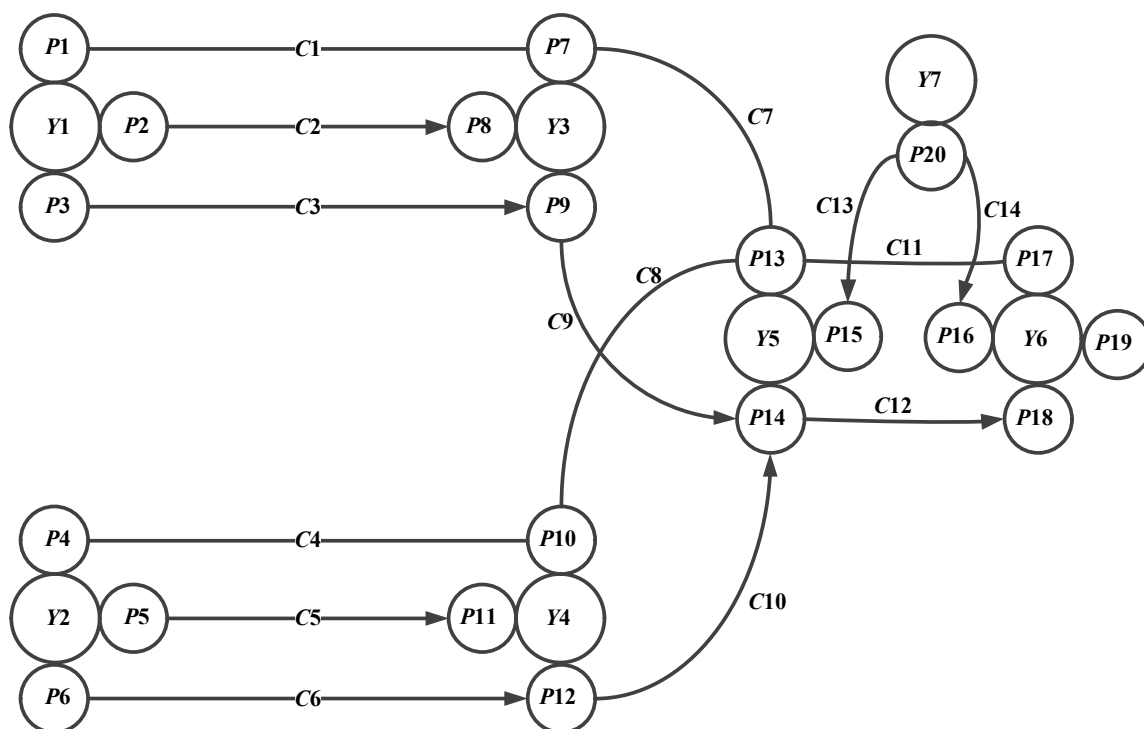


Рисунок 2.2. Портовой граф исследуемой системы вещания

Структура рассматриваемого графа, с точки зрения практической реализации, описана в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Описание портового графа.

Обоз-е вершины / ребра	Описание	Функции
1	2	3
Вершины-устройства		
Y1/Y2	источник основного и регионального сигналов	полное формирование сигналов T2-MI в удалённой точке (центре формирования)
Y3/Y4	приёмное оборудование основного и регионального сигналов соответственно	приём и демодуляция вещательного сигнала, прошедшего по каналу доставки
Y5	устройство замещения локального контента	врезка регионального сигнала
Y6	эфирный передатчик DVB-T2	вещание DVB-T2 сигнала в эфир
Y7	источник опорного сигнала	генерация опорного сигнала для оборудования, например, для устройства врезки или передатчика DVB-T2
Вершины-порты		
P1/P4	порты физического интерфейса Ethernet устройств формирования T2-MI	передача сигнала в формате MPEG-TS по Ethernet интерфейсу
P2/P5	порты физического интерфейса RF устройств формирования T2-MI или вспомогательного передающего оборудования	модуляция и передача по спутниковому каналу связи инкапсулированного MPEG-TS потока

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
<i>P3 / P6</i>	порты физического интерфейса ASI устройств формирования T2-MI	передача сигнала в формате MPEG-TS по ASI интерфейсу
<i>P7 / P10</i>	порты физического интерфейса Ethernet приёмников основного и регионального сигналов T2-MI	приём сигналов в формате MPEG-TS по Ethernet интерфейсу
<i>P8 / P11</i>	порты физического интерфейса RF приёмников основного и регионального сигналов T2-MI	приём и демодуляция сигнала, переданного по каналу связи (спутниковому)
<i>P9 / P12</i>	порты физического интерфейса ASI приёмников основного и регионального сигналов T2-MI	приём сигналов в формате MPEG-TS по ASI интерфейсу
<i>P13</i>	порт физического интерфейса Ethernet устройства врезки контента	приём сигналов основного и регионального потоков от обоих приёмников; передача сигнала на модулятор DVB-T2
<i>P14</i>	порт физического интерфейса ASI устройства врезки контента	приём сигналов основного и регионального потоков от обоих приёмников соответственно; передача модифицированного сигнала на модулятор DVB-T2
<i>P15</i>	порт физического интерфейса External Reference устройства врезки контента	приём опорного сигнала от источника 1PPS
<i>P16</i>	порт физического интерфейса External Reference передатчика DVB-T2	приём опорного сигнала от источника 1PPS
<i>P17</i>	порт физического интерфейса Ethernet передатчика DVB-T2	приём модифицированного сигнала от устройства врезки
<i>P18</i>	порт физического интерфейса ASI передатчика DVB-T2	приём модифицированного сигнала от устройства врезки
<i>P19</i>	порт физического интерфейса RF передатчика DVB-T2	излучение в эфир сигнала T2-MI путём формирования COFDM
<i>P20</i>	порт физического интерфейса External Reference источника опорного сигнала	передача опорного сигнала сторонним устройствам
<i>Дуги / рёбра-линии связи</i>		
<i>C1 / C4</i>	линия связи между источником T2-MI и приёмником на станции	тип связи: дуплексная
<i>C2 / C5</i>	линия связи между источником T2-MI и приёмником на станции	тип связи: симплексная
<i>C3 / C6</i>	линия связи между источником T2-MI и приёмником на станции	тип связи: симплексная
<i>C7 / C8</i>	линия связи между приёмником T2-MI и устройством врезки контента	тип связи: дуплексная
<i>C9 / C10</i>	линия связи между приёмником T2-MI и устройством врезки контента	тип связи: симплексная
<i>C11</i>	линия связи между устройством врезки контента и передатчиком DVB-T2	тип связи: дуплексная
<i>C12</i>	линия связи между устройством врезки контента и передатчиком DVB-T2	тип связи: симплексная

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
C13/C14	линия связи между источником опорного сигнала и потребителями	тип связи: симплексная

Из центра формирования T2-MI (источники $Y1/Y2$) сигналы могут быть переданы на приёмное оборудование, находящееся на удалённой станции с помощью различных интерфейсов, целесообразность использования которых обуславливается топологией сети. Так, сигналы могут передаваться непосредственно по асинхронному интерфейсу, если передающая станция находится поблизости от центра формирования (обычно не более двухсот метров). При значительном удалении сигналы, передаваемые посредством ASI, могут быть преобразованы в оптические и доставляться на станцию по ВОЛС. То же относится и к MPEG-TS сигналу, передаваемому посредством интерфейса Ethernet – T2-MI в этом случае также может быть преобразован в оптический сигнал с помощью медиаконверторов или оптических передатчиков. При использовании спутникового канала доставки инкапсулированный T2-MI может быть преобразован в высокочастотный сигнал стандарта DVB-S или DVB-S2 соответствующего диапазона с помощью спутникового передатчика. Необходимо отметить, что применение Ethernet интерфейса подразумевает дуплексную связь между приёмником и передатчиком сигнала, ASI интерфейса – симплексную.

Приёмники основного и регионального потоков $Y1/Y2$ принимают сигнал посредством соответствующего интерфейса и передают его в формате MPEG-TS на устройство врезки контента $Y5$. Далее модифицированный сигнал передаётся на передатчик DVB-T2 $Y6$ от устройства врезки по выбранному интерфейсу через соответствующие порты. Порт $P19$ передатчика $Y6$ является физическим выходом высокочастотного сигнала частоты выбранного эфирного телевизионного канала, посредством которого осуществляется излучение DVB-T2 сигнала в эфир.

Опорный сигнал синхронизации, необходимый для корректной работы в режиме одночастотной сети таких устройств как инсёртер-мультиплексор и эфирный телевизионный передатчик DVB-T2, может формироваться как внешним отдельным устройством, так и с помощью приёмника навигационных систем, встроенного в соответствующее устройство. На данном графе источник 1PPS/10 МГц представлен в качестве отдельного устройства с физическим интерфейсом $P20$, номинальным сопротивлением 50 Ом.

Представление схемы вещания с помощью портового графа расширяет её информативность, в сравнении с функциональной схемой на рисунке 2.1. Кроме того, схема, преобразованная в граф, является универсальным способом моделирования, так как не конкретизирует оборудование определённого производителя.

2.2 Общая классификация неисправностей на основе теории графов

Работы [34], [35], [36], [37] и [38] посвящены исследованию и поиску решения проблем, возникающих в процессе эксплуатации передающего оборудования стандарта DVB-T2. В частности в указанных работах рассмотрены следующие вопросы:

- синхронизации передатчиков нескольких передающих станций, работающих в режиме SFN;
- влияния эффекта интерференции на приём сигнала абонентом в точке перекрытия зон обслуживания передатчиков одночастотной сети;
- определения и методов оценки величины задержки сигнала непосредственно в модуляторах передающих устройств стандарта DVB-T2.

В работах [39] и [32] авторами рассмотрен принцип врезки контента в цифровой информационный поток и способы организации сетей вещания с модификацией сервисов.

Научные труды [13] и [15] описывают методы врезки рекламно-информационного контента в транспортный поток с использованием технологии синхронного сплайсинга и с помощью меток DTMF.

При конкретизации неисправностей в рамках одной передающей станции в целях удобства анализа целесообразно использовать методы теории графов. На рисунке 2.3 представлен граф возможных состояний комплекса оборудования телевизионной передающей станции. Описание состояний приведено в таблице 2.3.

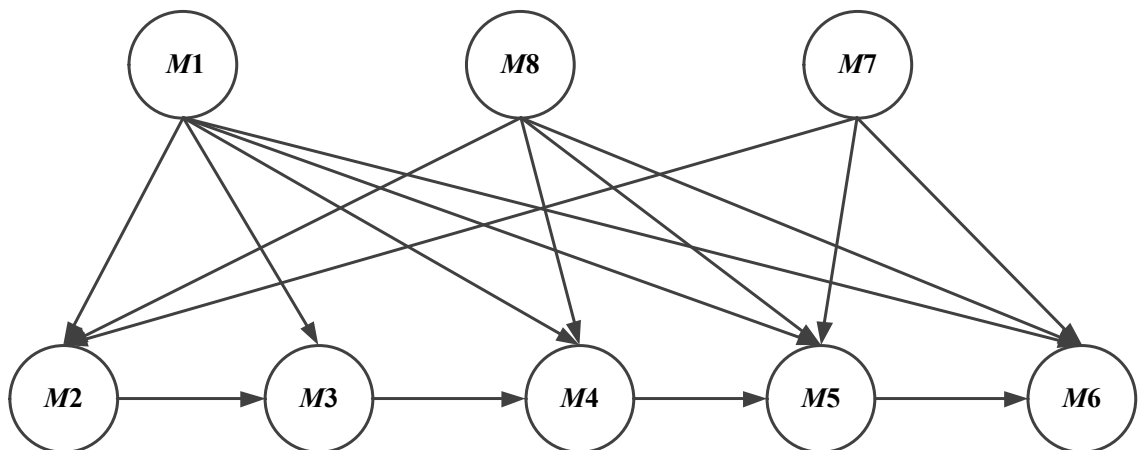


Рисунок 2.3 – Граф состояний оборудования телевизионной станции

Таблица 2.3 – Описание состояний графа.

Состояние	Описание
<i>M1</i>	состояние нормальной работы всего оборудования
<i>M2</i>	неисправности, возникающие в центре формирования и влияющие на корректную работу оборудования станции
<i>M3</i>	неисправности или ошибки, возникающие в канале связи
<i>M4</i>	неисправности приёмного оборудования
<i>M5</i>	неисправности устройства врезки контента
<i>M6</i>	неисправности передатчика DVB-T2
<i>M7</i>	нестабильность / отсутствие опорного сигнала синхронизации
<i>M8</i>	сбои в электропитании оборудования (аварии сети или неисправности ИБП)

Рассматриваемый граф является ориентированным, поскольку очевиден переход состояния комплекса оборудования из одного состояния в другое или влияние соответствующих состояний на другие. Так, из состояний полной работоспособности *M1* система (комплекс оборудования) может перейти:

- в состояние *M2*, при котором в удалённом центре формирования потока / потоков возникают неисправности, влияющие на корректную работу оборудования станции, например, ошибки первого приоритета в потоке или нестабильность временной метки;

- в состояние *M3*, которое характеризуется ошибками в потоке, возникающими при распространении по каналу связи при доставке сигнала до передающей станции. Причиной ошибок могут быть радиопомехи, погодные условия, а также физическая неисправность транзитных узлов;

- в состояние *M4*, при котором неисправность приёмного оборудования (аппаратная или программная) не позволяет осуществлять корректную трансляцию сигнала;

- в состояние *M5*, характеризующееся неисправностью оборудования врезки;

- в состояние *M6*, при котором происходит аппаратного или программного обеспечения передатчика DVB-T2.

Состояние *M7* характеризуется нестабильностью опорного сигнала синхронизации или его полным отсутствием, при этом необходимо отметить, что источник синхросигнала может быть как отдельным устройством так и быть встроенным в каждый требующий синхронизации блок. Так, например, некорректный опорный сигнал, поступающий на устройство формирования T2-MI в удалённом центре, может быть причиной генерации некорректной временной метки (пакет T2 Timestamp), что в свою очередь не позволит осуществить врезку контента и правильно определить величину сетевой задержки передающим устройством. Состояние *M7* также влияет на корректную работу устройства врезки контента и передатчика DVB-T2.

Состояние $M8$ включает в себя все возможные неисправности сети питания всего комплекса оборудования станции, влияющие, соответственно, на каждый блок оборудования, кроме непосредственно канала связи.

Для данного орграфа имеет смысл определить коэффициент кластеризации. В общем случае под кластеризацией графа понимается степень взаимодействия узлов, являющихся соседними по отношению к рассматриваемой вершине, или то, насколько сильно связаны между собой вершины, каждая из которых является соседней относительно рассматриваемой. Поскольку данный граф представляет связанные и непосредственно влияющие друг на друга состояний системы вещания на станции, то может определён коэффициент кластеризации по формуле [40]:

$$C_i = \frac{E_i}{k_i \cdot \frac{(k_i - 1)}{2}},$$

где E_i - реальное число связей между элементами, которые являются соседними относительно рассматриваемой вершины,

k_i - степень рассматриваемой вершины.

Степень вершины ориентированного графа определяется по формуле [41]:

$$k_i = \delta_i = \delta_i^+ + \delta_i^-,$$

где δ_i^+ - полустепень исхода вершины,

δ_i^- - полустепень захода вершины.

Общий коэффициент кластеризации графа определяется [40]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n C_i,$$

где n – количество вершин графа.

Результаты расчёта коэффициента приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Коэффициент кластеризации графа.

Вершина	$M1$	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M7$	$M8$
C_i	0,4	0,17	0,67	0,5	0,3	0,5	0,33	0,33
C	0,4							

Исходя из полученных значений, очевидно, что наибольший коэффициент кластеризации соответствует состоянию $M3$, то есть такому состоянию системы вещания, при котором возникают неисправности и ошибки в канале доставки транспортного потока до станции. Это связано прежде всего с тем, что на состояние $M3$ не оказывают непосредственно влияния состояния $M7$ (нестабильность/отсутствие опорного сигнала) и $M8$ (аварии по электропитанию),

так как канал связи является физической средой передачи данных, которая сохраняется и при отсутствии питания передающего или принимающего оборудования, а также не имеет отношения к качеству временных штампов синхронизации. Таким образом, группа узлов $M1 - M2 - M3 - M4$ связаны между собой сильнее, чем со всеми остальными вершинами графа.

Общий коэффициент кластеризации составил 0,4, что говорит о не слишком сильной связи всех вершин, принадлежащих данному графу, что может быть объяснено тем, что есть такие состояния системы, которые не имеют влияния друг на друга, например, $M1$, $M7$ и $M8$ не имеют взаимного влияния, а также группы узлов $M4 - M7$, $M3 - M7$, $M3 - M8$. С точки зрения анализа графа группы узлов $M2 - M4$, $M3 - M5$, $M4 - M6$ и их вариации не имеют непосредственной связи друг с другом, однако, они будут влиять друг на друга в соответствии с направлением дуг, поскольку неисправности одного узла передающей станции могут прямо или косвенно влиять на корректность работы других узлов. В этой ситуации степень влияния определяется конкретным типом возникшей неисправности.

2.3 Разработка методики определения параметров надёжности системы вещания на основе теории графов

Согласно [42], надёжностью является свойство оборудования сохранять в течение заданного времени в пределах установленных норм значения функциональных параметров при определённых условиях. Если рассматривать показатели надёжности отдельного блока оборудования, абстрагировав его относительно внешних условий работы, то основными факторами, влияющими на безотказность устройства, будут характеристики используемой элементной базы, с помощью которой реализовано устройство, особенности программного обеспечения, его безопасности и целесообразности, и прочие факторы, влияющие на стабильность работы устройства. Если рассматривать надёжность системы, состоящей из некоторого количества оборудования, взаимосвязанного между собой с помощью физико-логических интерфейсов, то основными факторами, влияющими на показатели надёжности, будут следующие:

- характеристики элементной базы каждого устройства в отдельности;
- характеристики интерфейсов обмена информацией;
- внешние условия, которые могут воздействовать на характеристики оборудования.

В качестве такой системы, включающей в себя ряд различных устройств, может быть рассмотрена система формирования сигнала DVB-T2 на типовой передающей станции. Дооснащение цифровых станций дополнительным оборудованием, например, устройствами врезки контента, влияет на показатели и характеристики надёжности работы всей схемы в целом. Тогда для того, чтобы определить степень влияния дооснащения станций на вероятность безотказной работы системы, необходимо выполнить следующую задачу:

- определить факторы, влияющие на характеристики системы;
- рассчитать показатели надёжности схемы вещания, как с применением устройства врезки, так и без него.

В [43] были опубликованы результаты предварительных расчётов параметров надёжности при условии использования абстрактных теоретических значений интенсивностей отказов и восстановления. В связи с тем, что дооснащение станций с целью предоставления абонентам регионального контента происходило в 2016 году на территории Хабаровского края, то информация об отказах оборудования в процессе эксплуатации за длительный период времени отсутствует, поэтому дальнейший расчёт параметров надёжности произведён на основании анализа возможных состояний оборудования, согласно техническому описанию.

На рисунке 2.1 представлена схема организации вещания на передающей станции, которая продублирована ниже и дополнена информацией, необходимой для определения надёжности.

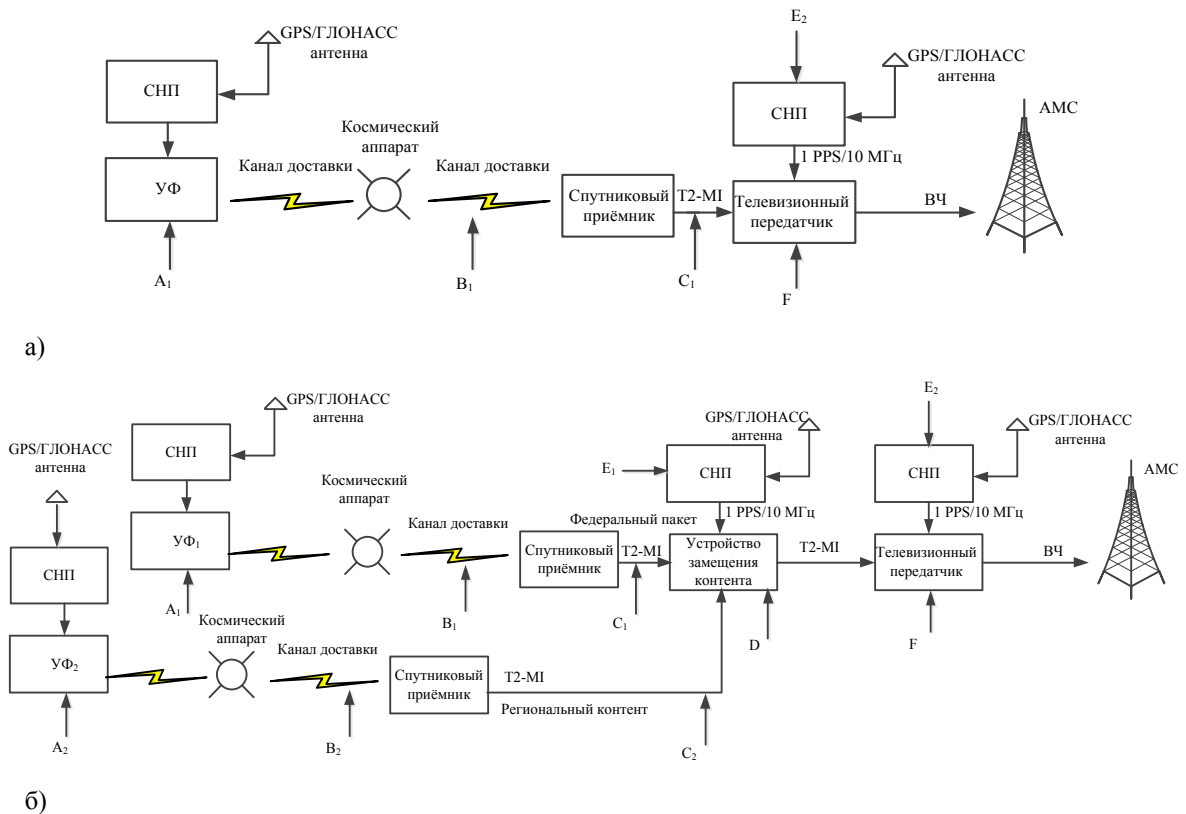


Рисунок 2.4 – Схема организации вещания без устройства вставки контента а) и с устройством вставки контента б)

На рисунке 2.4 обозначено:

УФ₁ и УФ₂ – устройства формирования федерального и локального потока Т2-МІ соответственно;

СНП – спутниковый навигационный приёмник;

буквенные обозначения А, В, С, D, E, F – факторы, влияющие на надёжность системы.

На рисунке видно, что практически на каждом этапе обработки информационного потока существуют причины снижения надёжности системы. В таблице 2.5 приведено описание влияющих факторов и источников их появления для обеих схем формирования сигнала.

Таблица 2.5 – Описание влияющих факторов.

Фактор	Тип возможной ошибки / неисправности	Точка возникновения	Причина возникновения
A ₁ / A ₂	ошибки в потоке Т2-МІ	УФ ₁ / УФ ₂	собственный отказ оборудования; нестабильность СС на УФ; ошибки во входных транспортных потоках на УФ.
B ₁ / B ₂	ошибки 1-го приоритета [26] в потоке Т2-МІ	линия доставки	влияние помех в процессе передачи сигнала по линии связи
С	ошибки 1-го приоритета [26] в потоке Т2-МІ	спутниковый приёмник	низкое качество сигнала на входе приёмника; собственный отказ оборудования
D	срыв синхронизации потоков; дефект замещения контента по др. причинам	LCI	нестабильность СС; собственный отказ оборудования.
E ₁ / E ₂	нестабильность опорного сигнала	GPS	собственный отказ оборудования
F	низкая величина сетевой задержки потока	DVB-T2 модулятор	нестабильность опорного сигнала; собственный отказ оборудования

Модель для схемы с устройством врезки контента. На основании указанных выше факторов снижения надёжности в целях универсализации, конкретизации и удобства анализа сформирован многослойный граф состояний системы организации вещания на передающей станции, представленный на рисунке 2.5.

Данный граф составлен на основе методики проектирования телекоммуникационных сетей с помощью многослойного графа, предложенной Д. В. Агеевым в работе [44]. Предложенный автором алгоритм переработан с учётом требований к графу состояний для определения надёжности системы.

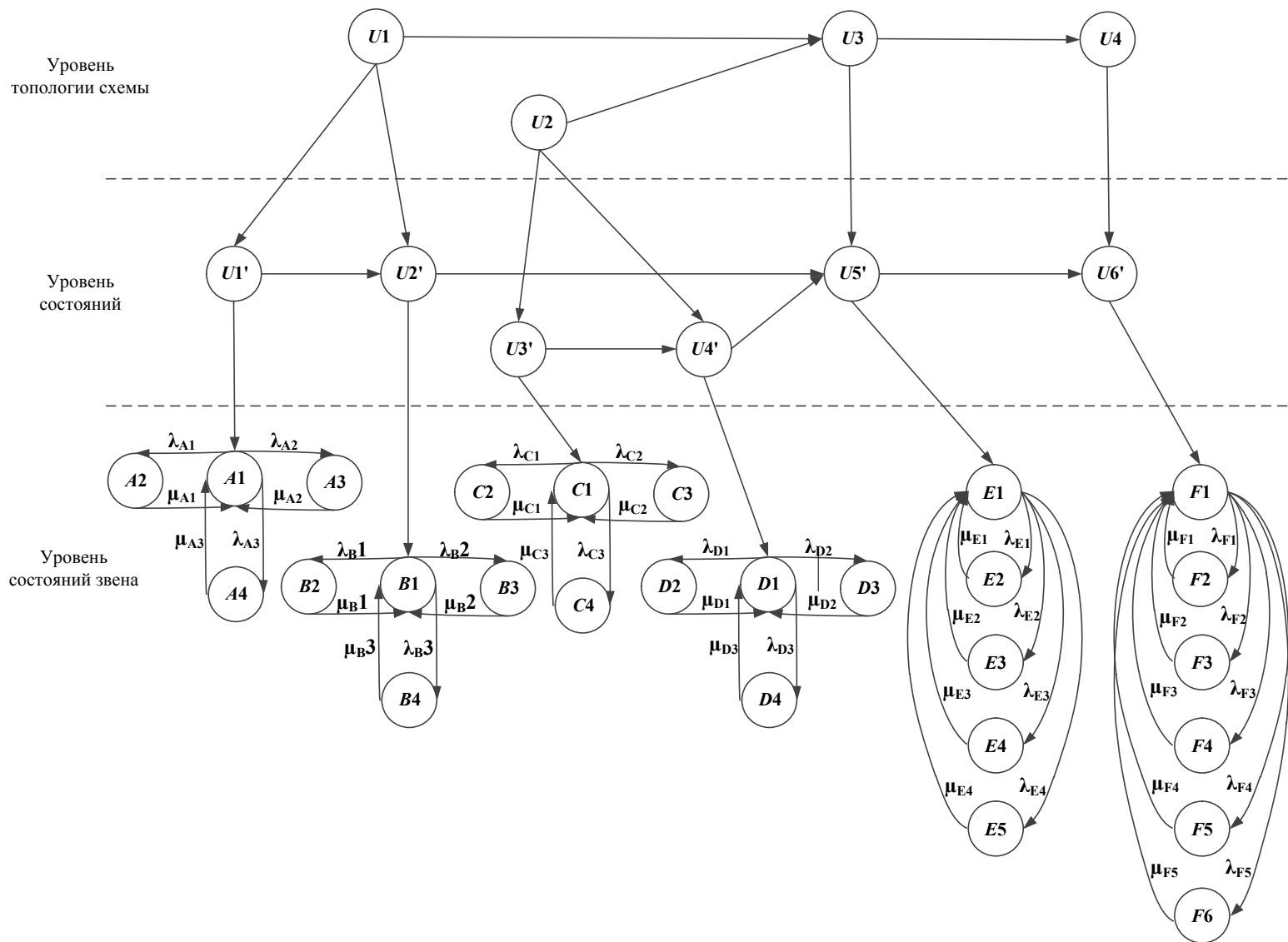


Рисунок 2.5 – Граф для расчёта надёжности схемы с врезкой контента

Многослойный граф, представленный на рисунке 2.5, включает в себя три уровня: уровень топологии схемы, уровень состояний относительно топологии схемы и уровень состояний каждого звена или блока оборудования. В таблице 2.6 приведено описание каждой вершины рассматриваемого графа.

Таблица 2.6 – Описание вершин графа.

Название узла	Описание	Название узла	Описание
U_1	приёмная часть основного потока	C_1	состояние «норма» канала доставки регионального потока
U_2	приёмная часть регионального потока	C_2	авария на передающей стороне
U_3	блок врезки контента	C_3	авария на транзитном участке
U_4	блок излучения в эфир (передатчик DVB-T2)	C_4	влияние помех / погодных условий
U_1'	состояние канала связи основного потока	D_1	состояние «норма» приёмника регионального потока
U_2'	состояние приёмной части основного потока на станции	D_2	сбой аппаратного обеспечения
U_3'	состояние канала связи регионального потока	D_3	сбой программного обеспечения
U_4'	состояние приёмной части регионального потока на станции	D_4	ошибки в сигнале
U_5'	состояние устройства врезки	E_1	состояние «норма» устройства врезки контента
U_6'	состояние передающего устройства	E_2	сбой аппаратно-программного обеспечения устройства
A_1	состояние «норма» канала доставки основного потока	E_3	ошибка врезки
A_2	авария на передающей стороне	E_4	ошибки во входном сигнале
A_3	авария на транзитном участке	E_5	сбой синхронизации оборудования
A_4	влияние помех / погодных условий	F_1	состояние «норма» передатчика DVB-T2
B_1	состояние «норма» приёмника основного потока	F_2	сбой аппаратного обеспечения
B_2	сбой аппаратного обеспечения	F_3	сбой программного обеспечения
B_3	сбой программного обеспечения	F_4	ошибки в сигнале
B_4	ошибки в сигнале	F_5	сбой синхронизации оборудования
		F_6	некорректно указанная величина сетевой задержки потока

На самом верхнем уровне представлена логическая схема организации вещания на станции с использованием устройства врезки контента, согласно рисунку 2.1б. У каждого элемента существует связь с вершиной графа более низкого уровня, которые соответствуют общим состояниям блоков, приведённых на уровне топологии схемы. Так, узлы $U1$ и $U2$ являются логическими блоками приёма сигнала на станции, а на уровне состояний к этим узлам будут относиться состояние канала доставки, с помощью которого осуществляется приём сигнала в заданной точке, и состояние самого приёмного оборудования.

На самом низшем уровне многослойного графа представлены возможные состояния каждого элемента при рассмотрении его как отдельной цельной системы. Так, например, состояние канала доставки основного потока $U1'$ может быть нормой (состояние $A1$), также на надёжность канала передачи могут влиять аварийные ситуации, возникающие на передающей и транзитной сторонах (состояния $A2$ и $A3$), а также воздействие помех различного характера (состояние $A4$), которые способствуют возникновению ошибок в потоке в процессе передачи.

Состояния других блоков описаны в таблице 2.6.

Граф нижнего уровня содержит обозначения интенсивностей отказов λ_{ij} и восстановления μ_{ij} ,

где i – буквенное обозначение элемента системы,

j – номер состояния элемента.

Система уравнений вероятности нахождения системы в каждом состоянии для блока состояния канала связи приведена ниже:

$$\begin{cases} P_{A1}(t) = -\lambda_{A1}P_{A1}(t) - \lambda_{A2}P_{A1}(t) - \lambda_{A3}P_{A1}(t) + \mu_{A1}P_{A2}(t) + \mu_{A2}P_{A3}(t) + \mu_{A3}P_{A4}(t), \\ P_{A2}(t) = \lambda_{A1}P_{A1}(t) - \mu_{A1}P_{A2}(t), \\ P_{A3}(t) = \lambda_{A2}P_{A1}(t) - \mu_{A2}P_{A3}(t), \\ P_{A4}(t) = \lambda_{A3}P_{A1}(t) - \mu_{A3}P_{A4}(t). \end{cases} \quad (2.1)$$

Согласно методики [45] вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии ($A1$) определяется по формуле:

$$P_{A1}(s) = \left[s + \lambda_{A1} + \lambda_{A2} + \lambda_{A3} - \frac{\mu_{A1}\lambda_{A1}}{s + \mu_{A1}} - \frac{\mu_{A2}\lambda_{A2}}{s + \mu_{A2}} - \frac{\mu_{A3}\lambda_{A3}}{s + \mu_{A3}} \right]^{-1} \quad (2.2)$$

При подстановке числовых значений интенсивностей отказов и восстановления и дальнейшего обратного преобразования Лапласа будет иметь место функция готовности системы на заданном временном отрезке. Коэффициент готовности является основной характеристикой надёжности восстанавливаемой телекоммуникационной системы и является равным вероятности нормальной работы оборудования на большом интервале времени:

$$K_{\Gamma i} = P_{i1}(\infty).$$

Поскольку подграфы нижнего уровня для таких элементов системы как канал доставки и приёмное оборудование состоят из четырёх вершин и шести рёбер, то есть графически являются одинаковыми, то справедливо будет полагать, что коэффициент готовности и вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии перечисленных блоков будут определяться по одинаковой формуле. Тогда:

$$P_{B1}(s) = \left[s + \lambda_{B1} + \lambda_{B2} + \lambda_{B3} - \frac{\mu_{B1}\lambda_{B1}}{s + \mu_{B1}} - \frac{\mu_{B2}\lambda_{B2}}{s + \mu_{B2}} - \frac{\mu_{B3}\lambda_{B3}}{s + \mu_{B3}} \right]^{-1}, \quad (2.3)$$

$$P_{C1}(s) = \left[s + \lambda_{C1} + \lambda_{C2} + \lambda_{C3} - \frac{\mu_{C1}\lambda_{C1}}{s + \mu_{C1}} - \frac{\mu_{C2}\lambda_{C2}}{s + \mu_{C2}} - \frac{\mu_{C3}\lambda_{C3}}{s + \mu_{C3}} \right]^{-1}, \quad (2.4)$$

$$P_{D1}(s) = \left[s + \lambda_{D1} + \lambda_{D2} + \lambda_{D3} - \frac{\mu_{D1}\lambda_{D1}}{s + \mu_{D1}} - \frac{\mu_{D2}\lambda_{D2}}{s + \mu_{D2}} - \frac{\mu_{D3}\lambda_{D3}}{s + \mu_{D3}} \right]^{-1}. \quad (2.5)$$

Для состояний устройства врезки контента система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} P_{E1}(t) = -\lambda_{E1}P_{E1}(t) - \lambda_{E2}P_{E1}(t) - \lambda_{E3}P_{E1}(t) - \lambda_{E4}P_{E1}(t) + \mu_{E1}P_{E2}(t) + \mu_{E2}P_{E3}(t) + \\ + \mu_{E3}P_{E4}(t) + \mu_{E4}P_{E5}(t), \\ P_{E2}(t) = \lambda_{E1}P_{E1}(t) - \mu_{E1}P_{E2}(t), \\ P_{E3}(t) = \lambda_{E2}P_{E1}(t) - \mu_{E2}P_{E3}(t), \\ P_{E4}(t) = \lambda_{E3}P_{E1}(t) - \mu_{E3}P_{E4}(t), \\ P_{E5}(t) = \lambda_{E4}P_{E1}(t) - \mu_{E4}P_{E5}(t). \end{cases}$$

Тогда:

$$P_{E1}(s) = \left[s + \lambda_{E1} + \lambda_{E2} + \lambda_{E3} + \lambda_{E4} - \frac{\mu_{E1}\lambda_{E1}}{s + \mu_{E1}} - \frac{\mu_{E2}\lambda_{E2}}{s + \mu_{E2}} - \frac{\mu_{E3}\lambda_{E3}}{s + \mu_{E3}} - \frac{\mu_{E4}\lambda_{E4}}{s + \mu_{E4}} \right]^{-1} \quad (2.6)$$

Для состояний передающего устройства система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} P_{F1}(t) = -\lambda_{F1}P_{F1}(t) - \lambda_{F2}P_{F1}(t) - \lambda_{F3}P_{F1}(t) - \lambda_{F4}P_{F1}(t) - \lambda_{F5}P_{F1}(t) + \mu_{F1}P_{F2}(t) + \\ + \mu_{F2}P_{F3}(t) + \mu_{F3}P_{F4}(t) + \mu_{F4}P_{F5}(t) + \mu_{F5}P_{F6}(t), \\ P_{F2}(t) = \lambda_{F1}P_{F1}(t) - \mu_{F1}P_{F2}(t), \\ P_{F3}(t) = \lambda_{F2}P_{F1}(t) - \mu_{F2}P_{F3}(t), \\ P_{F4}(t) = \lambda_{F3}P_{F1}(t) - \mu_{F3}P_{F4}(t), \\ P_{F5}(t) = \lambda_{F4}P_{F1}(t) - \mu_{F4}P_{F5}(t), \\ P_{F6}(t) = \lambda_{F5}P_{F1}(t) - \mu_{F5}P_{F6}(t). \end{cases}$$

Тогда:

$$P_{F1}(s) = \left[s + \lambda_{F1} + \lambda_{F2} + \lambda_{F3} + \lambda_{F4} + \lambda_{F5} - \frac{\mu_{F1}\lambda_{F1}}{s + \mu_{F1}} - \frac{\mu_{F2}\lambda_{F2}}{s + \mu_{F2}} - \frac{\mu_{F3}\lambda_{F3}}{s + \mu_{F3}} - \frac{\mu_{F4}\lambda_{F4}}{s + \mu_{F4}} - \frac{\mu_{F5}\lambda_{F5}}{s + \mu_{F5}} \right]^{-1} \quad (2.7)$$

После подстановки числовых значений и обратного преобразования Лапласа вероятностей каждого элемента системы возможно рассчитать общий коэффициент готовности всего комплекса оборудования станции. Необходимо рассматривать элементы U^1 и U^2 , а также U^3 и U^4 как простые последовательные системы, однако, пары элементов U^1/U^2 и U^3/U^4 являются параллельно включёнными относительно друг друга (рисунок 2.5). Последовательно-параллельная система элементов $U^1/U^2/U^3/U^4$ может рассматриваться как общий блок, включённый последовательно с элементами U^5 и U^6 .

Согласно [45], расчёт коэффициента готовности параллельной системы подразумевает горячее резервирование параллельно включённых элементов. В данном случае для вычисления параметров надёжности имеет смысл рассматривать приёмную часть основного и регионального потоков как элементы горячего резерва, поскольку при аварийном полном отсутствии регионального потока устройство врезки резервируется основным потоком, не осуществляя модификацию, согласно техническому руководству на оборудование [46]. При этом в режиме нормальной работы основной и региональный информационные потоки, принимаемые соответствующим оборудованием, не являются резервными относительно друг друга.

На основе правил расчёта вероятности безотказной работы последовательно-параллельных систем, приведённых в [45], получена следующая формула суммарной вероятности:

$$P_{\Sigma} = (PU^1(t) \cdot PU^2(t) + PU^3(t) \cdot PU^4(t) - PU^1(t) \cdot PU^2(t) \cdot PU^3(t) \cdot PU^4(t)) \times \\ \times PU^5(t) \cdot PU^6(t)$$

Также справедлива будет следующая формула суммарного коэффициента готовности:

$$K_{Г\Sigma} = (K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} + K_{ГC1} \cdot K_{ГD1} - K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \cdot K_{ГC1} \cdot K_{ГD1}) \cdot K_{ГE1} \cdot K_{ГF1}, \quad (2.8)$$

где $K_{ГA1}$ - коэффициент готовности канала доставки основного потока Т2-МІ; $K_{ГB1}$ - коэффициент готовности приёмника основного потока Т2-МІ; $K_{ГC1}$ - коэффициент готовности канала доставки модифицирующего потока; $K_{ГD1}$ - коэффициент готовности приёмника модифицирующего потока; $K_{ГE1}$ - коэффициент готовности устройства врезки контента; $K_{ГF1}$ - коэффициент готовности передатчика DVB-T2.

Модель для схемы без регионализации. Для сравнения показателей надёжности систем вещания с устройством регионализации контента и без его использования был составлен

многослойный граф для системы вещания без врезки по правилам, описанным выше, с сохранением буквенного обозначения (рисунок 2.6).

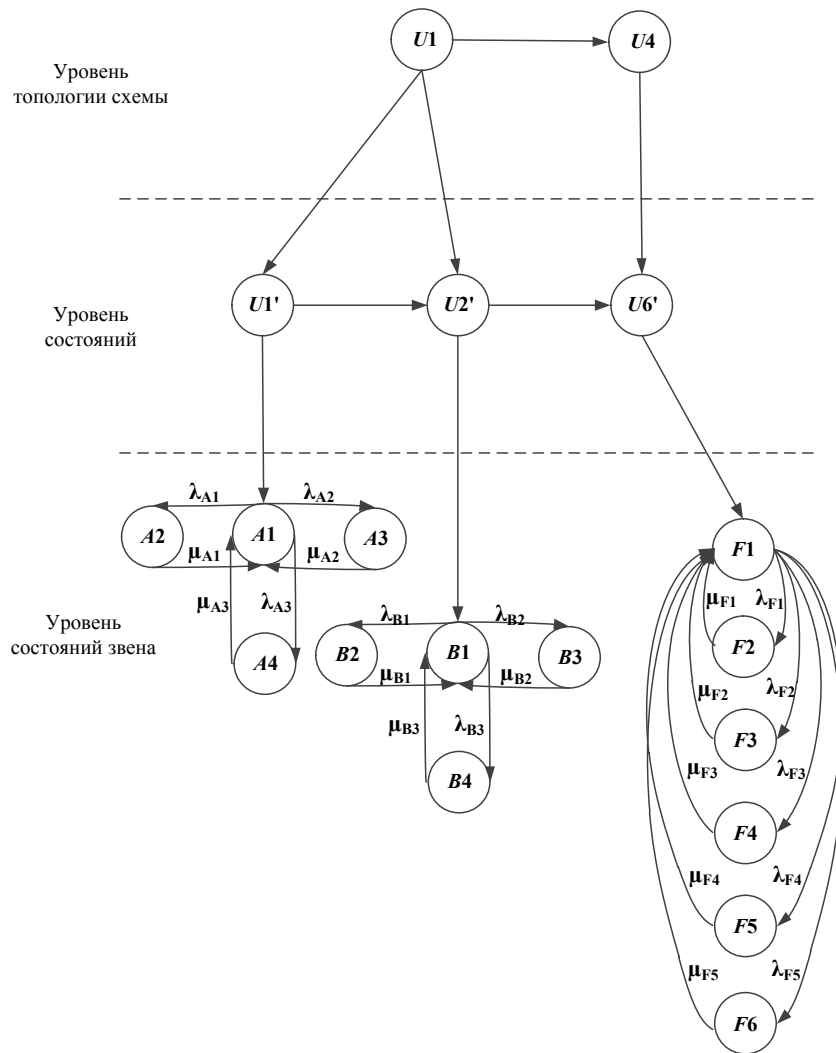


Рисунок 2.6 – Многослойный граф для схемы без регионализации

Как видно на рисунке 2.6, схема вещания без регионализации состоит из приёмного тракта и передающего оборудования стандарта DVB-T2. Поскольку интенсивности отказов и восстановления будут иметь одно и тоже значение относительно предыдущего графа, то вероятности нахождения каждой из систем в работоспособном состоянии будут одинаковы с соответствующими вероятностями из предыдущего случая. Тогда суммарная вероятность работоспособного состояния системы вещания без устройства регионализации определится:

$$P'_{\Sigma}(t) = P_{U'1}(t) \cdot P_{U'2}(t) \cdot P_{U'6}(t)$$

Или по следующей формуле:

$$P'_{\Sigma}(t) = P_{A1}(t) \cdot P_{B1}(t) \cdot P_{F1}(t) \tag{2.9}$$

При этом коэффициент готовности также равен суммарной вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии на большом интервале времени:

$$K_{Г'\Sigma} = K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \cdot K_{ГF1}$$

Модель для схемы с каскадной врезкой контента. Регионализация контента возможна не только с использованием устройств замены каналов физического уровня, но также и с помощью синхронного сплайсера. Для сравнения показателей надежности систем вещания без регионализации, только с устройством врезки локального контента и схемы с последовательным включением устройства врезки и сплайсера был составлен многослойный граф для системы вещания с двухступенчатой врезкой по правилам, описанным выше, с сохранением буквенного обозначения (рисунок 2.7).

Графы, представленные на рисунках 2.5 и 2.6, является подграфами графа на рисунке 2.7. Аналогичные обозначения вершин всех трёх графов представляют из себя одни и те же узлы системы вещания, описание которых дано в таблице 2.6. Описание вершин $U5$, $U6$, $U7'$, $U8'$, $U9'$, $G1 - G4$, $H1 - H4$ и $I1 - I4$ представлено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Описание вершин графа на рисунке 2.7

Название узла	Описание	Название узла	Описание
$U5$	приемная часть контента для сплайсинга	$H1$	состояние «норма» оборудования приема контента для сплайсера
$U6$	сплайсер	$H2$	аппаратный сбой оборудования приема контента для сплайсера
$U7'$	состояние канала доставки информационного потока до сплайсера	$H3$	программный сбой оборудования приема контента для сплайсера
$U8'$	состояние приемно-коммутационного оборудования	$H4$	ошибки в сигнале
$U9'$	состояние оборудования сплайсера	$I1$	состояние «норма» сплайсера
$G1$	состояние «норма» канала доставки контента для сплайсера	$I2$	сбой аппаратно-программного обеспечения сплайсера
$G2$	авария на передающей стороне	$I3$	ошибка вставки
$G3$	авария на транзитном участке	$I4$	ошибки во входном сигнале
$G4$	влияние помех / погодных условий	$I5$	сбой синхронизации сплайсера

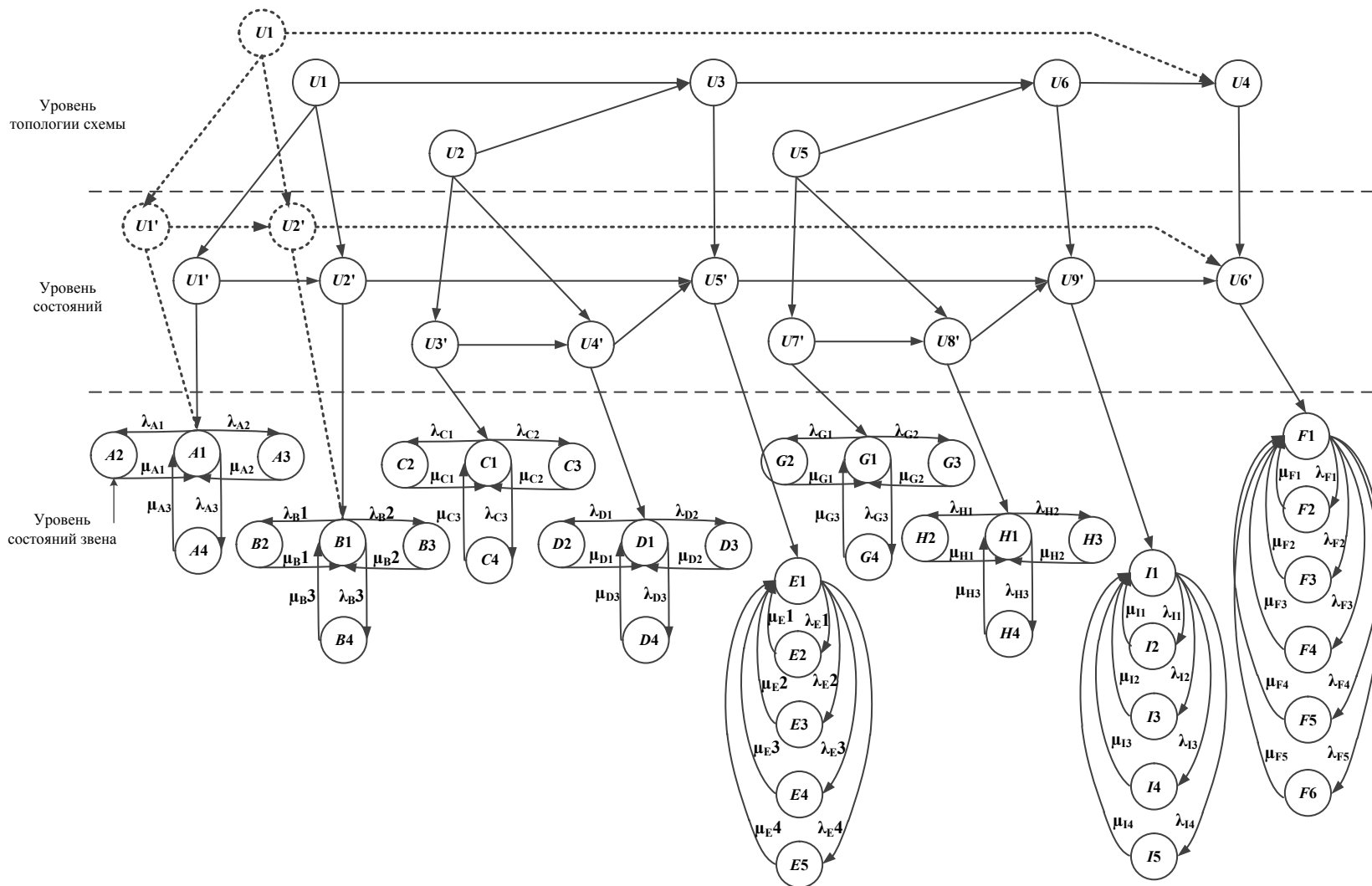


Рисунок 2.7 – Многослойный граф для схемы с регионализацией и сплайсингом

Поскольку вершины графа, относящиеся к приемной части потока T2-MI и к устройству врезки локального контента, одинаковы на двух из трёх графах, то выражения для определения вероятности безотказной работы этих блоков будут идентичны рассмотренным выше. Вероятность безотказной работы для канала доставки потока для сплайсера, приемной его части и самого сплайсера будут иметь следующий вид:

$$P_{G1}(s) = \left[s + \lambda_{G1} + \lambda_{G2} + \lambda_{G3} - \frac{\mu_{G1}\lambda_{G1}}{s+\mu_{G1}} - \frac{\mu_{G2}\lambda_{G2}}{s+\mu_{G2}} - \frac{\mu_{G3}\lambda_{G3}}{s+\mu_{G3}} \right]^{-1},$$

$$P_{H1}(s) = \left[s + \lambda_{H1} + \lambda_{H2} + \lambda_{H3} - \frac{\mu_{H1}\lambda_{H1}}{s+\mu_{H1}} - \frac{\mu_{H2}\lambda_{H2}}{s+\mu_{H2}} - \frac{\mu_{H3}\lambda_{H3}}{s+\mu_{H3}} \right]^{-1},$$

$$P_{I1}(s) = \left[s + \lambda_{I1} + \lambda_{I2} + \lambda_{I3} + \lambda_{I4} - \frac{\mu_{I1}\lambda_{I1}}{s+\mu_{I1}} - \frac{\mu_{I2}\lambda_{I2}}{s+\mu_{I2}} - \frac{\mu_{I3}\lambda_{I3}}{s+\mu_{I3}} - \frac{\mu_{I4}\lambda_{I4}}{s+\mu_{I4}} \right]^{-1}.$$

Тогда вероятность безотказной работы для блоков А – Е определяется как:

$$P_{A-E}(t) = (P_{U1'}(t)P_{U2'}(t) + P_{U3'}(t)P_{U4'}(t) - P_{U1'}(t)P_{U2'}(t)P_{U3'}(t)P_{U4'}(t))P_{U5'}(t)$$

Тогда суммарная вероятность нормального состояния всей схемы вещания определится:

$$P_{\Sigma} = (P_{A-E}(t) + P_{U7'}(t)P_{U8'}(t) - P_{A-E}(t)P_{U7'}(t)P_{U8'}(t))P_{U9'}(t)P_{U6'}(t).$$

Заменяя $P_{A-E}(t)$ и обозначения среднего слоя графа на обозначения нижнего, получим общую формулу коэффициента готовности для системы с последовательным включением устройств модификации:

$$K_{\Gamma}^{\Sigma} = \left[(K_{\Gamma A1} K_{\Gamma B1} + K_{\Gamma C1} K_{\Gamma D1} - K_{\Gamma D1} K_{\Gamma B1} K_{\Gamma C1} K_{\Gamma D1}) K_{\Gamma E1} + K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} - \right. \\ \left. - (K_{\Gamma A1} K_{\Gamma B1} + K_{\Gamma C1} K_{\Gamma D1} - K_{\Gamma A1} K_{\Gamma B1} K_{\Gamma B1} K_{\Gamma D1}) K_{\Gamma E1} K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} \right] K_{\Gamma I1} K_{\Gamma F1}$$

где $K_{\Gamma G1}$ - коэффициент готовности канала доставки контента для сплайсера; $K_{\Gamma H1}$ - коэффициент готовности оборудования приёма контента для сплайсера; $K_{\Gamma I1}$ - коэффициент готовности сплайсера.

Преобразование полученной формулы через коэффициент готовности, рассчитанный для многослойного графа схемы с локальной врезкой контента, позволяет получить следующее выражение:

$$K_{\Gamma}^{\Sigma} = \left(\frac{K_{\Gamma \Sigma}}{K_{\Gamma F1}} + K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} - \frac{K_{\Gamma \Sigma}}{K_{\Gamma F1}} K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} \right) K_{\Gamma I1} K_{\Gamma F1} = \\ = K_{\Gamma I1} K_{\Gamma \Sigma} + K_{\Gamma I1} K_{\Gamma F1} K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} - K_{\Gamma G1} K_{\Gamma H1} K_{\Gamma \Sigma} K_{\Gamma I1}$$

Таким образом, при сравнении коэффициентов готовности трёх схем вещания при наличии известных данных об интенсивностях отказов и восстановления можно сделать вывод

о степени влияния на надёжность системы дополнительного оборудования, то есть устройств модификации цифрового потока T2-MI.

2.4 Программа проведения экспериментального исследования

Цель организации эксперимента.

Целью организации настоящего эксперимента является исследование проблемных вопросов, возникающих при практической реализации одночастотных сетей телевизионного вещания стандарта DVB-T2, а также при использовании в тракте устройств вставки локального контента, необходимых для регионализации цифрового информационного потока и предоставления абонентам телерадиопрограмм с местным рекламно-информационным содержанием.

Задачи эксперимента.

1. Определение величины сетевой задержки Network Delay информационного потока T2-MI при стабильном и нестабильном опорном сигнале синхронизации 1PPS, степени её отклонения от исходного значения, а также последствий некорректного определения величины Network Delay.

2. Исследование работы устройства вставки локального контента в нормальном режиме и при отсутствии сигнала синхронизации от опорного генератора.

3. Исследование характера работы формирователя DVB-T2 в режиме одночастотной сети при различных значениях сетевой задержки информационного потока.

4. Определение возможности и качества приёма телевизионного сигнала при нахождении приёмника в зоне обслуживания двух передатчиков, работающих в одночастотном режиме, при различных вариантах конфигурации параметров замещения на инсёртерах.

Используемое оборудование и материалы.

Таблица 2.8 – Спецификация задействованного оборудования.

№	Наименование оборудования	Серийный номер	Версия ПО	Версия АО
1	2	3	4	5
1	Генератор специальных сигналов «АКИП-3413/3»	NDG050C3140027	-	-
2	Цифровой осциллограф RIGOL – DS4052	DS4B142200154	-	-
3	Анализатор транспортных и T2-MI потоков Nevion T-Vips TNS-546	TV0401.6650	2.10.4	-
4	Dektac DTA-2144	4245.088.804	-	-

Продолжение таблицы 2.8

1	2	3	4	5
5	GPS/ГЛОНАСС антенна МА-620G (3 штуки)	-	-	-
6	GPS/ГЛОНАСС приёмник Навис СН-4706	-	3.17	PLL v.1.1
7	Устройство вставки локального контента TTV-PLPSW-0401_1 TTV-PLPSW-0401_2	- -	S1116 S1116	H110 H110
8	Модулятор DVB-T2 PT-2000_1 PT-2000_1	- -	v1.08.116 v1.08.116	PL10 PL10

Используемые материалы: секундомер, USB FLASH накопитель, комплект кабелей и разъёмов для проведения измерений, телевизионный приёмник Samsung, пассивный сумматор SAH-306F.

Сроки и место проведения эксперимента.

Место проведения эксперимента: помещение аппаратного зала ЦТРВ г. Хабаровска

Сроки проведения эксперимента: «1» сентября 2017 - «1» сентября 2018 г.г.

Программа эксперимента.

1. Измерение величины сетевой задержки и её динамики при различных отклонениях синхронизирующего сигнала 1 PPS от номинального значения

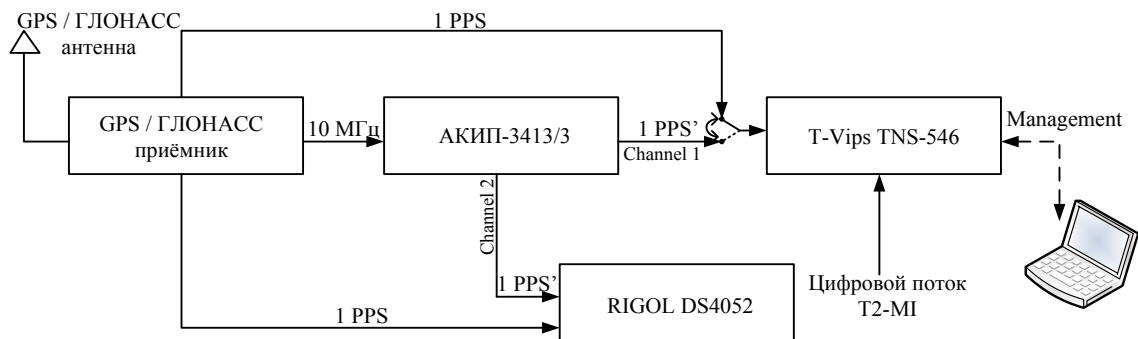


Рисунок 2.8 – Схема измерений

Где 1 PPS' – модифицируемый сигнал синхронизации;

1 PPS – истинный сигнал синхронизации, поступающий от GPS/ГЛОНАСС приёмника;

Management – сеть передачи данных / управление WEB интерфейсом устройств.

В таблице 2.10 обозначено: $TNDTX_{max}$ и $TNDTX_{min}$ - экстремальные значения величины сетевой задержки цифрового потока T2-MI (T2 Modulator Interface – интерфейс модулятора T2), полученные в результате измерения этого параметра за период времени, составляющий одну минуту.

Таблица 2.9 – Исходные настройки оборудования.

Наименование оборудования	Настройки			
АКИП-3413/3	Общие настройки			
	Опорный генератор		внешний 10 МГц	
	Channel 1		Channel 2	
	Тип сигнала	Импульсный	Тип сигнала	Импульсный
	Период сигнала	1 с	Период сигнала	1 с
	Смещение	0 В	Смещение	0 В
	Длительность импульса	100 мс	Длительность импульса	100 мс
	Время нарастания	6 нс	Время нарастания	6 нс
	Задержка	0 с	Задержка	0 с
	Выходное сопротивление	50 Ом	Выходное сопротивление	50 Ом
Nevion T-Vips TNS-546	Источник опорного сигнала		Внешний 1 PPS	

Таблица 2.10 – Результаты измерений.

Период сигнала 1 PPS с генератора АКИП-3413/3, T_{PPS} , с	1	...
Скомпенсированное смещение по частоте между внутренним и внешним источником опорного сигнала (current drift), Cd, ppm		
Скомпенсированное смещение по частоте между внутренним и внешним источником опорного сигнала относительно 27 МГц (current frequency offset), Cfo, Гц		
Динамика изменения сетевой задержки: $T_{NDTXmax} / T_{NDTXmin}$, мс за 1 минуту		
Наименование рисунка (снимка экрана компьютера)		

2. Исследование работы устройства замещения локального контента в условиях отсутствия сигнала синхронизации

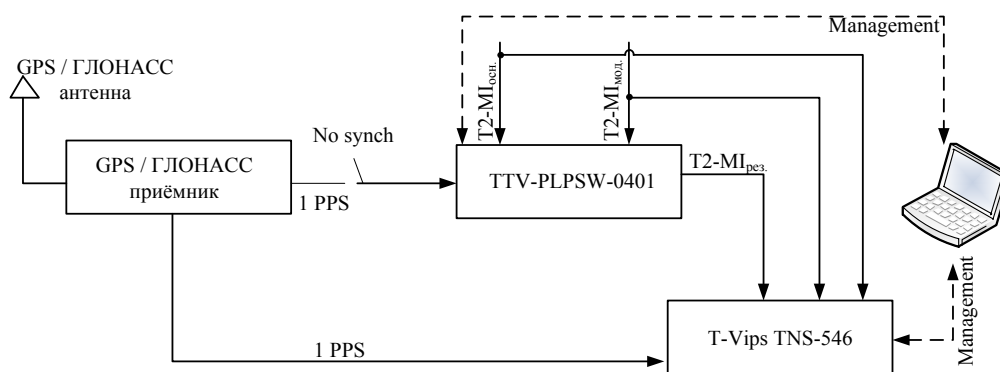


Рисунок 2.9 – Схема измерений

Здесь $T2-MI_{очн.}$ – основной цифровой информационный поток $T2-MI$, в который осуществляется врезка контента;

$T2-MI_{мод.}$ – контент для замещения в формате $T2-MI$;

T2-MI_{рез.} – результирующий модифицированный цифровой поток;

No synch – отсутствие входного опорного сигнала.

Таблица 2.11 – Основные параметры входных потоков T2-MI.

Параметры	T2-MI _{осн.}			T2-MI _{мод.}	
Версия	1.2.1				
Количество PLP	3			2	
Защитный интервал	1/16				
Количество несущих	32k				
Длительность суперкадра	487,872 мс				
Количество T2 кадров в суперкадре	2				
Режим	SISO				
Битрейт, Мбит/с	34,1			8,025	
Метка времени	Относительная				
Параметры PLP	PLP 0	PLP 1	PLP 2	PLP 1	PLP 2
Количество FEC блоков	118	18	17	18	17
Время перемежения	3	3	3	3	3
Режим модуляции	64QAM				

Таблица 2.12 – Исходные настройки оборудования.

Nevion T-Vips TNS-546	Источник опорного сигнала		Внешний 1 PPS	
	Режим мониторинга задержки одночастотной сети потоков T2-MI _{осн.} , T2-MI _{мод.} ; Режим логирования ошибок и предупреждений TR 101290 по потоку T2-MI _{рез.}			
TTV-PLPSW-0401	Общие настройки			
	Источник опорного сигнала 1 PPS		Внешний	
	Режим замещения контента 1 PPS		Замещение PLP_1 Замещение PLP_2	

Таблица 2.13 – Результаты измерений.

Период сигнала 1 PPS, T_{PPS} , с	1	...
Частота сбоя синхронизации потока T2-MI _{рез.} согласно журналу событий T-Vips TNS-546 за единицу времени		
Характер аварийных сообщений потока T2-MI _{рез.} согласно журналу событий T-Vips TNS-546		

3. Исследование характера работы формирователя DVB-T2 в одночастотном режиме

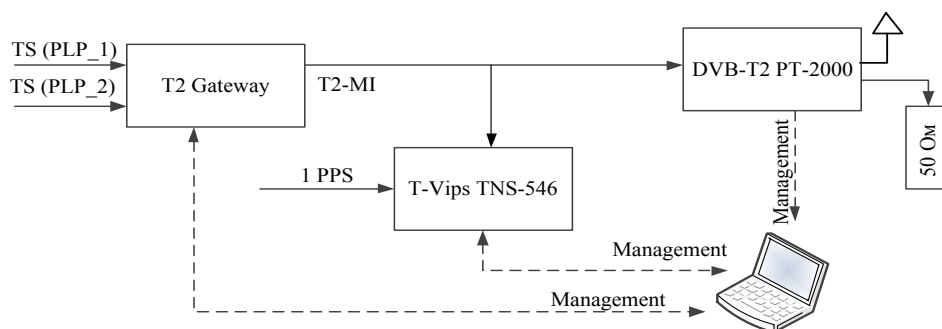


Рисунок 2.10 – Схема измерений

T2 Gateway – T2-MI шлюз - формирователь сигнала формата T2-MI;

50 Ом – эквивалентная нагрузка.

Таблица 2.14 – Настройки оборудования.

Наименование оборудования	Настройки	
DVB-T2 PT-2000	Общие настройки	
	Источник опорного сигнала 1 PPS	Собственный GPS / ГЛОНАСС приёмник
	Режим работы	SFN / System B
	№ частотного канала (21 - 69), ТВК	40
	Величина локальной отстройки по времени	0 мс
Nevion T-Vips TNS-546	Источник опорного сигнала	Внешний 1 PPS

Таблица 2.15 – Результаты измерений.

Величина Network Delay, мс	50	100	...	999
Возможность работы модулятора (относительная синхронизация)				
Возможность работы модулятора (абсолютная синхронизация)				
Характер сообщений формирователя сигнала (относительная синхронизация)				
Характер сообщений формирователя сигнала (абсолютная синхронизация)				
Примечания				

4. Исследование работы одночастотной системы вещания DVB-T2 с использованием устройств замещения локального контента

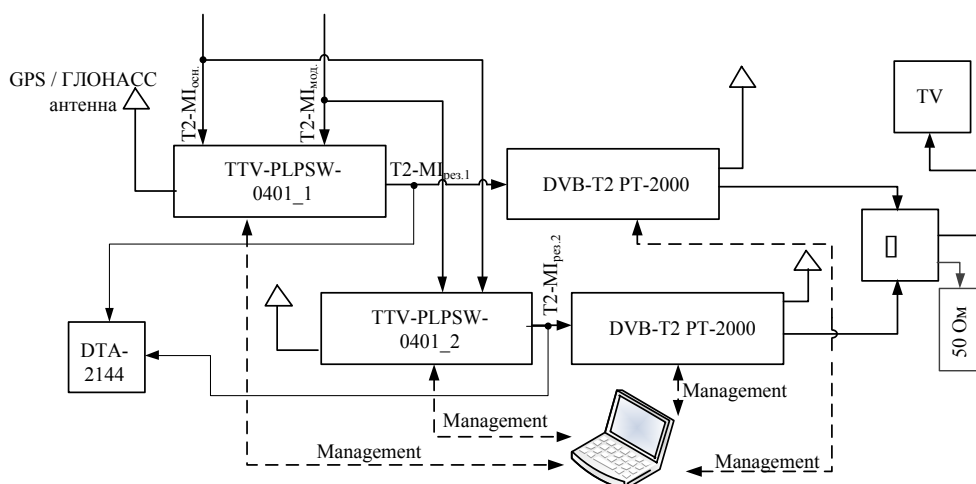


Рисунок 2.11 – Схема измерений

Параметры входных потоков T2-MI полностью соответствуют данным, указанным в таблице 2.10.

Таблица 2.16 – Исходные настройки оборудования.

Наименование оборудования	Настройки	
TTV-PLPSW-0401_1	Общие настройки	
	Источник опорного сигнала 1 PPS	Собственный GPS / ГЛОНАСС приёмник
	Режим замещения контента	Замещение PLP_1 Замещение PLP_2
TTV-PLPSW-0401_2	Общие настройки	
	Источник опорного сигнала 1 PPS	Собственный GPS / ГЛОНАСС приёмник
	Режим замещения контента	Замещение PLP_1 / замещение PLP_2 / режим замещения выключен
DVB-T2 PT-2000_1 DVB-T2 PT-2000_2	Общие настройки	
	Источник опорного сигнала 1 PPS	Собственный GPS / ГЛОНАСС приёмник
	Режим работы	SFN / System B
	№ частотного канала	44

Таблица 2.17 – Результаты измерений.

TTV-PLPSW-0401_2	Замещение PLP_1 и PLP_2	Замещение PLP_1	Замещение PLP_2	Режим замещения выключен
Возможность приёма сигнала и демодуляции отдельных PLP телевизионным приёмником				
Показания таблицы состояния ТВ приёмника (PLP_1)				
Показания таблицы состояния ТВ приёмника (PLP_2)				

2.5 Предварительный расчет и моделирование этапов эксперимента

2.5.1 Расчёт величины задержки информационного потока в точке приёма на передающей станции

Информация о величине сетевой задержки информационного потока необходима формирователю DVB-T2 при условии его работы в режиме одночастотной сети. На устройстве формирования T2-MI потока устанавливается фиксированная величина сетевой задержки (Network Delay), необходимая для компенсации потери времени на распространение сигнала

через канал доставки до каждой передающей станции. Эта величина выбирается исходя из двух основных условий:

- если режим синхронизации относительный, то величина Network Delay устанавливается не более 999 мс, если же абсолютный – то величина задержки может быть как менее, так и более одной секунды;

- если есть априорная информация о временных потерях в канале распространения, то значение Network Delay устанавливается наиболее оптимальным образом для корректной работы передающих устройств требуемого региона вещания, если же такой информации нет, то задержка обычно соответствует максимально допустимому значению.

На рисунке 2.12 представлена схема распространения цифрового потока от источника до передающей станции DVB-T2.

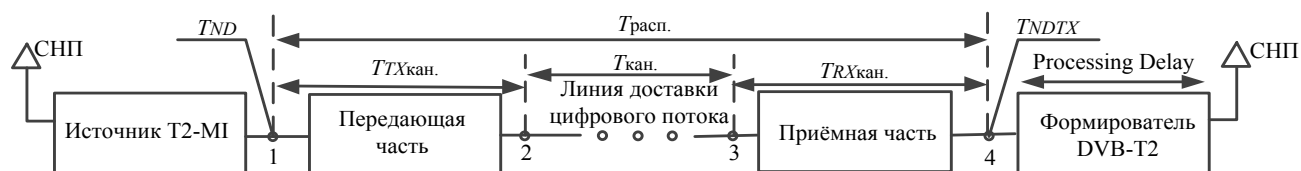


Рисунок 2.12 – Схема распространения цифрового потока

На рисунке: 1 – выход формирователя T2-MI / шлюза, где величина сетевой задержки TND цифрового потока соответствует установленной оператором в настройках источника. Точка 2 – выход оборудования, которое является передающей частью канала доставки потока, например, выход спутникового или оптического передатчика. Точка 3 – точка приёма сигнала с канала связи перед демодуляцией его в приёмной части. 4 – выход приёмного оборудования, где передаётся демодулированный T2-MI на вход цифрового передатчика.

Сигнал с установленной задержкой TND , проходя через канал доставки, претерпевает временные потери $T_{расп.}$, то есть задерживается в линии связи на некоторое статическое время. Время задерживания постоянно, так как характеристики каналов доставки, оказывающие на него влияние, статичны и не меняются с течением времени. Указанные временные потери в общем случае состоят из потерь в передающей $T_{TXкан.}$ и приёмной $T_{RXкан.}$ частях оборудования канала доставки, а также из затрат на распространение по самому каналу связи $T_{кан.}$. Если в качестве канала доставки используется спутниковый ресурс, то временные задержки $T_{TXкан.}$ и $T_{RXкан.}$ в приемном и передающем оборудовании крайне малы по сравнению с $T_{кан.}$. Если же используется, например, оптическая линия, то $T_{кан.}$ напрямую зависит от расстояния и наличия промежуточного оборудования.

При установке величины задержки излучения суперкадров потока на устройстве формирования T2-MI необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$TND > T_{расп.}$$

На рисунке 2.12 параметр T_{NDTX} - величина сетевой задержки информационного потока, принимаемого на удалённой телевизионной передающей станции, определяемая как:

$$T_{NDTX} = T_{ND} - T_{расп.}$$

или

$$T_{NDTX} = T_{ND} - (T_{кан.} + T_{RXкан.} + T_{TXкан.})$$

Таким образом, в каждой конкретной точке приёма T2-MI, величина Network Delay будет различна, и варьироваться в зависимости от временных потерь в транспортной линии доставки цифрового потока.

Поскольку $T_{ND} > T_{расп.}$, то $T_{ND} = T_{расп.} + \Delta$, где Δ - величина временного запаса, необходимая для компенсации времени обработки сигнала процессором формирователя DVB-T2 и излучения заданного блока информации в эфир. Согласно [38], задержка при обработке (Processing Delay) – время обработки цифрового сигнала в модуляторе передатчика, зависящее от технической реализации модулятора и от параметров передаваемого информационного потока. Таким образом, величина сетевой задержки, устанавливаемая на устройстве формирования T2-MI, должна компенсировать потери времени на распространение потока по линиям доставки и обеспечивать некоторый временной запас, необходимый для обработки сигнала формирователем COFDM и излучения его в эфир, согласно [47].

Поскольку сетевая задержка – параметр, который устройство, принимающее цифровой поток, может корректно оценить только относительно опорного сигнала синхронизации, то необходимо наличие высокостабильного сигнала 1PPS/10 МГц на входе формирователя DVB-T2. На рисунках 2.1а и 2.1б изображён блок СНП – спутникового навигационного приемника, который является источником опорного сигнала и при этом может быть в качестве встроенного в корпус оборудования, а также и в качестве отдельного внешнего блока.

В связи с тем, что в качестве переносчика информационных данных используется цифровой поток T2-MI, состоящий из суперкадров, в состав которых в свою очередь входит некоторое количество кадров T2, то устройство формирования (шлюз) задаёт конкретное время излучения каждого суперкадра с учётом их длительности, а также требуемой задержки на излучение [48]. Согласно стандарту [5], в состав одного суперкадра T2-MI могут входить от 2 до 255 T2 кадров, каждый из которых может иметь максимальную длительность до 250 мс, тогда длительность суперкадра может составлять более 63 секунд, в зависимости от требуемой конфигурации потока. При этом все кадры T2, входящие в состав одного и того же суперкадра, будут иметь идентичную информацию о времени излучения в пакете метки времени Timestamp.

Для средств цифрового вещательного телевидения стандарта DVB-T2 при трансляции первого и второго эфирных мультиплексов в настоящее время в России принята следующая наиболее оптимальная конфигурация потока:

Таблица 2.18 – Конфигурация потока T2-MI (общие настройки).

Режим несущих	32k
Способ передачи	SISO
Защитный интервал	1/16
Схема пилот-сигналов	PP4
PARP	не используется
Количество кадров в суперкадре	2
Версия T2	1.2.1
Расширение спектра	отсутствует
Модуляция L1	QPSK

Таблица 2.19 – Конфигурация потока T2-MI (настройки PLP).

Количество PLP	3	Поворот созвездия	включён
Скорость кода	4/5	Количество FEC блоков	PLP_0 – 118 PLP_1 – 18 PLP_2 – 17
Модуляция	64-QAM	Время перемежения	PLP_0 – 3 PLP_1 – 3 PLP_2 – 3

Данные в таблицах 2.18 и 2.19 получены в результате анализа записанного файла T2-MI потока первого мультиплекса с помощью программного обеспечения «4T2 Content Analyser» [49]. Запись файла производилась с помощью оборудования Dektec DTA-2144 с соответствующим программным обеспечением в мае 2018 г. Таблица 2.18 содержит информацию о некоторых общих параметрах передачи потока, которые транслируются в части Pre-Signaling пакета L1 (L1-Pre), а таблица 2.19 – о параметрах передачи каналов физического уровня, которые содержатся в части Post-Signaling (L1-Post). На рисунке 2.13 представлен снимок экрана компьютера с интерфейсом программы «4T2 Content Analyser» в режиме пакетного анализа потока.

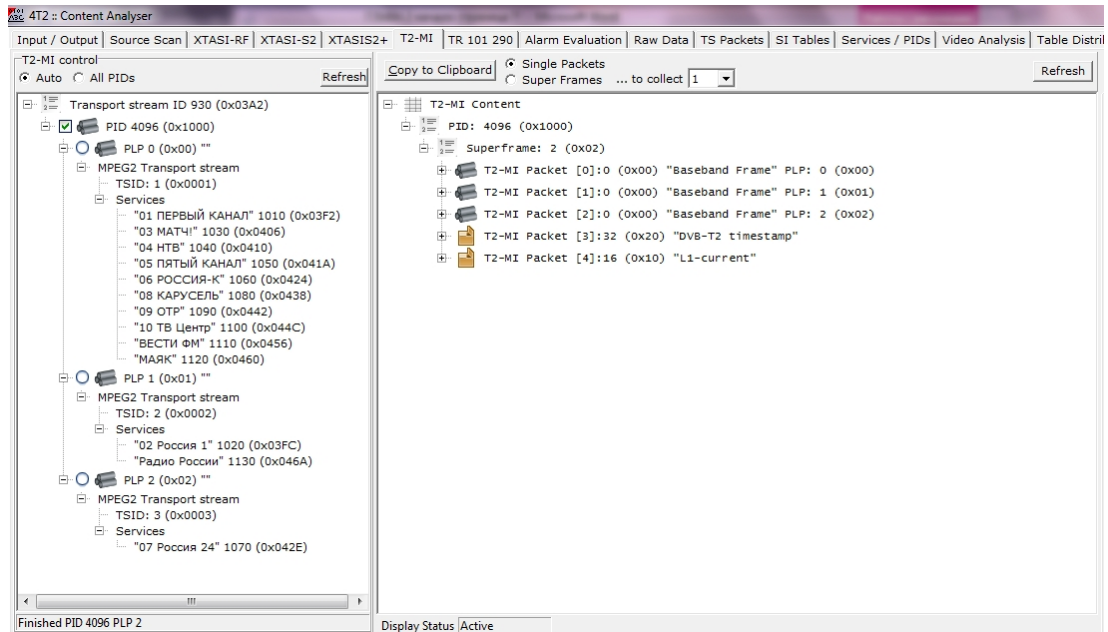


Рисунок 2.13 – Интерфейс программного анализатора.

Для удобства дальнейшей работы требуется произвести расчёт длительности кадра и суперкадра T2. Длительность кадра определяется по формуле [5]:

$$TF = LF \cdot TS + TP1$$

где LF - количество OFDM символов в T2 кадре, за исключением преамбулы P1, мс;

TS - общая длительность символа OFDM, мс;

$TP1$ - длительность преамбулы P1, мс.

Количество OFDM символов определяется исходя из данных таблицы 46 в [5] и в связи с известными исходными данными составляет 64 мс. В свою очередь общая длительность символа определяется [5]:

$$TS = TU + TGI$$

где TU - длительность активной части OFDM символа, мс;

TGI - длительность защитного интервала, мс.

Длительность активной части символа для режима 32k составляет 3,584 мс согласно данным таблицы 46 [5], а длительность защитного интервала определяется по формуле:

$$TGI = 2048 \cdot T$$

где T - элементарный период, который для ширины полосы канала 8 МГц составляет 7/64 мкс, согласно данным таблицы 65 [5]. Тогда

$$TGI = 2048 \cdot T = 2048 \cdot 7 / 64 = 224 \text{ мкс.}$$

Длительность преамбулы P1 определяется в данном случае по сходной формуле:

$$TP1 = 2048 \cdot T = 2048 \cdot 7 / 64 = 224 \text{ мкс.}$$

Тогда

$$TS = TU + TGI = 3,584 + 0,224 = 3,808 \text{ мс};$$

$$TF = LF \cdot TS + TP1 = 64 \cdot 3,808 + 0,224 = 243,936 \text{ мс}.$$

Длительность суперкадра составит [5]:

$$TSF = NF \cdot TF$$

где NF - количество кадров T2 в суперкадре. Согласно таблице 2.2 это значение соответствует двум. Тогда

$$TSF = NF \cdot TF = 2 \cdot 243,936 = 487,872 \text{ мс}.$$

Таким образом, длина одного суперкадра потока первого мультиплекса составляет менее половины секунды. Для удобства представления на рисунке 2.14 приведена временная диаграмма следования суперкадров T2-MI.

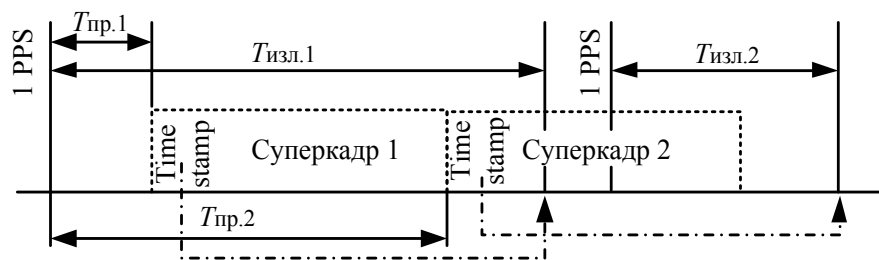


Рисунок 2.14 – Пример временной диаграммы следования суперкадров цифрового потока

Время излучения $T_{изл.}$ является фиксированной величиной и после пересчёта в реальное физическое время, согласно формулам (1.1) и (1.2), при использовании относительного режима синхронизации определяется с учетом очередного импульса 1 PPS, то есть отсчитывается относительно его поступления в блок формирователя COFDM. $T_{пр.}$ - время приёма формирователем DVB-T2 очередного суперкадра цифрового информационного потока, измеренное относительно поступления импульса опорного сигнала. Так как время излучения $T_{изл.}$ и время поступления $T_{пр.}$ изменяются в зависимости от длительности суперкадра, то принимая поступление очередного импульса 1 PPS за условный нулевой отсчёт, $T_{изл.}$ и $T_{пр.}$ будут переходить в следующую секунду, то есть превышать нулевой отсчёт, и, таким образом, оказываться в следующей временной секунде. С математической точки зрения, при осуществлении расчётов в следующей секунде, целая часть, получаемая в результате прибавления длительности очередного суперкадра, отсутствует, что необходимо учитывать при работе с относительной меткой времени.

В связи с тем, что длительность суперкадра рассматриваемой конфигурации потока составляет менее половины секунды, то за длительность одной секунды транслируются полностью два суперкадра. В дальнейшем при проведении экспериментального исследования будет использоваться оборудование мониторинга величины сетевой задержки Nevion TNS-546,

производящее оценку этого параметра относительно начала очередного суперкадра и относительно поступления импульса 1PPS, то есть один раз за длительность одной секунды. Учитывая эту особенность, последующие расчёты параметра сетевой задержки будут производиться для каждого второго последующего суперкадра, что не влияет на корректность вычислений.

Исходя из рисунка 2.14, время поступления суперкадра в принимающее устройство (модулятор DVB-T2) составляет некоторое время $T_{пр.1}$, при этом $T_{пр.1} < T_{изл.1}$, к тому же время излучения первого суперкадра находится в той же самой секунде, что и время приёма. Время поступления второго суперкадра также находится в первой секунде, а время его излучения, указанное в поле subseconds временного штампа, - уже в следующей относительно очередного импульса 1PPS, тогда очевидно, что $T_{пр.2} > T_{изл.2}$.

Таким образом, время поступления следующего через одного суперкадра составит:

$$T_{пр.N} = T_{пр.(N-2)} + 2 \cdot TSF, \text{ с}$$

где N – нумерация каждого второго суперкадра.

Тогда время излучения каждого второго последующего суперкадра составит:

$$T_{изл.N} = T_{изл.(N-2)} + 2 \cdot TSF, \text{ с.}$$

Формирователь передающей станции не имеет информации о выставленной на устройстве генерации потока в территориально удалённой точке 1 исходной величине сетевой задержки T_{ND} , поскольку в пакете Timestamp передаётся информация только о требуемом времени излучения каждого суперкадра T2. Тогда T_{NDTX} при относительной синхронизации будет рассчитываться по формуле [50]:

$$T_{NDTX} = \begin{cases} T_{изл.} - T_{пр.}, & \text{если } T_{пр.} < T_{изл.} \\ 1 - (T_{пр.} - T_{изл.}), & \text{если } T_{пр.} > T_{изл.} \end{cases} \quad (2.10)$$

Нестабильность в работе одночастотной сети передающих станций может быть вызвана, в том числе наличием некорректного сигнала синхронизации 1PPS, поступающим на формирователь с задержкой, в результате чего период синхросигнала T_{PPS} отличается от величины в одну секунду, то есть $T_{PPS} - \Delta PPS < T_{PPS} < T_{PPS} + \Delta PPS$, где ΔPPS - величина отклонения некорректного периода 1PPS от номинального. Тогда время поступления очередного суперкадра будет оцениваться устройством, принимающим цифровой информационный поток, как

$$T_{пр.N} = T_{пр.(N-2)} + 2 \cdot TSF + \Delta PPS \quad .$$

При этом погрешность сигнала синхронизации крайне мала, то есть

$$\lim_{\Delta PPS \rightarrow 0} (T_{PPS} + \Delta PPS) = T_{PPS} \quad .$$

При условии неизменности времени излучения каждого суперкадра, в связи с фиксацией этих данных в пакете временной метки, величина сетевой задержки ($TNDTX$) с учётом погрешности также будет определяться по формуле (2.10).

Отклонение величины сигнала синхронизации на определённую статическую величину приводит к тому, что отклонение сетевой задержки также имеет линейный характер, поскольку время приёма каждого суперкадра имеет постоянное смещение на ΔPPS . Подобное постоянное смещение, безусловно, невозможно на практике, однако, такой расчёт необходим для последующего анализа результатов и сравнения теоретических и эмпирических значений. В таблице 2.20 приведён расчёт времени приёма и излучения суперкадров, а также величины сетевой задержки за интервал времени, равный одной минуте, при различных отклонениях периода сигнала синхронизации. В качестве исходных данных принято, что время приёма первого суперкадра составляет 200 мс от начала импульса PPS, а требуемое время его излучения – 692,306 мс. Такие исходные данные взяты лишь для удобства расчётов и могут иметь любые другие значения в интервале от 1 до 999 мс.

Таблица 2.20 – Результаты расчёта величины сетевой задержки.

№	$\Delta PPS = 0 \text{ мкс}$			$TNDTX$, мс					
	$TPPS$, с		1	0,999999	0,999998	0,999997	0,999996	0,999995	0,999994
	$T_{изл.}$, с	$T_{пр.}$, с	$TNDTX$, мс	$\Delta PPS = 1 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 2 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 3 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 4 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 5 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 6 \text{ мкс}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,692306	0,2	492,3	492,3	492,3	492,3	492,3	492,3	492,3
2	0,66805	0,175744	492,3	492,305	492,304	492,303	492,302	492,301	492,3
3	0,643794	0,151488	492,3	492,304	492,302	492,3	492,298	492,296	492,294
4	0,619538	0,127232	492,3	492,303	492,3	492,297	492,294	492,291	492,288
5	0,595282	0,102976	492,3	492,302	492,298	492,294	492,29	492,286	492,282
6	0,571026	0,07872	492,3	492,301	492,296	492,291	492,286	492,281	492,276
7	0,54677	0,054464	492,3	492,3	492,294	492,288	492,282	492,276	492,27
8	0,522514	0,030208	492,3	492,299	492,292	492,285	492,278	492,271	492,264
9	0,498258	0,005952	492,3	492,298	492,29	492,282	492,274	492,266	492,258
10	0,474002	0,981696	492,3	492,297	492,288	492,279	492,27	492,261	492,252
11	0,449746	0,95744	492,3	492,296	492,286	492,276	492,266	492,256	492,246
12	0,42549	0,933184	492,3	492,295	492,284	492,273	492,262	492,251	492,24
13	0,401234	0,908928	492,3	492,294	492,282	492,27	492,258	492,246	492,234
14	0,376978	0,884672	492,3	492,293	492,28	492,267	492,254	492,241	492,228
15	0,352722	0,860416	492,3	492,292	492,278	492,264	492,25	492,236	492,222
16	0,328466	0,83616	492,3	492,291	492,276	492,261	492,246	492,231	492,216
17	0,30421	0,811904	492,3	492,29	492,274	492,258	492,242	492,226	492,21
18	0,279954	0,787648	492,3	492,289	492,272	492,255	492,238	492,221	492,204
19	0,255698	0,763392	492,3	492,288	492,27	492,252	492,234	492,216	492,198
20	0,231442	0,739136	492,3	492,287	492,268	492,249	492,23	492,211	492,192
21	0,207186	0,71488	492,3	492,286	492,266	492,246	492,226	492,206	492,186
22	0,18293	0,690624	492,3	492,285	492,264	492,243	492,222	492,201	492,18
23	0,158674	0,666368	492,3	492,284	492,262	492,24	492,218	492,196	492,174

Продолжение таблицы 2.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	0,134418	0,642112	492,3	492,283	492,26	492,237	492,214	492,191	492,168
25	0,110162	0,617856	492,3	492,282	492,258	492,234	492,21	492,186	492,162
26	0,085906	0,5936	492,3	492,281	492,256	492,231	492,206	492,181	492,156
27	0,06165	0,569344	492,3	492,28	492,254	492,228	492,202	492,176	492,15
28	0,037394	0,545088	492,3	492,279	492,252	492,225	492,198	492,171	492,144
29	0,013138	0,520832	492,3	492,278	492,25	492,222	492,194	492,166	492,138
30	0,988882	0,496576	492,3	492,277	492,248	492,219	492,19	492,161	492,132
31	0,964626	0,47232	492,3	492,276	492,246	492,216	492,186	492,156	492,126
32	0,94037	0,448064	492,3	492,275	492,244	492,213	492,182	492,151	492,12
33	0,916114	0,423808	492,3	492,274	492,242	492,21	492,178	492,146	492,114
34	0,891858	0,399552	492,3	492,273	492,24	492,207	492,174	492,141	492,108
35	0,867602	0,375296	492,3	492,272	492,238	492,204	492,17	492,136	492,102
36	0,843346	0,35104	492,3	492,271	492,236	492,201	492,166	492,131	492,096
37	0,81909	0,326784	492,3	492,27	492,234	492,198	492,162	492,126	492,09
38	0,794834	0,302528	492,3	492,269	492,232	492,195	492,158	492,121	492,084
39	0,770578	0,278272	492,3	492,268	492,23	492,192	492,154	492,116	492,078
40	0,746322	0,254016	492,3	492,267	492,228	492,189	492,15	492,111	492,072
41	0,722066	0,22976	492,3	492,266	492,226	492,186	492,146	492,106	492,066
42	0,69781	0,205504	492,3	492,265	492,224	492,183	492,142	492,101	492,06
43	0,673554	0,181248	492,3	492,264	492,222	492,18	492,138	492,096	492,054
44	0,649298	0,156992	492,3	492,263	492,22	492,177	492,134	492,091	492,048
45	0,625042	0,132736	492,3	492,262	492,218	492,174	492,13	492,086	492,042
46	0,600786	0,10848	492,3	492,261	492,216	492,171	492,126	492,081	492,036
47	0,57653	0,084224	492,3	492,26	492,214	492,168	492,122	492,076	492,03
48	0,552274	0,059968	492,3	492,259	492,212	492,165	492,118	492,071	492,024
49	0,528018	0,035712	492,3	492,258	492,21	492,162	492,114	492,066	492,018
50	0,503762	0,011456	492,3	492,257	492,208	492,159	492,11	492,061	492,012
51	0,479506	0,9872	492,3	492,256	492,206	492,156	492,106	492,056	492,006
52	0,45525	0,962944	492,3	492,255	492,204	492,153	492,102	492,051	492,0
53	0,430994	0,938688	492,3	492,254	492,202	492,15	492,098	492,046	491,994
54	0,406738	0,914432	492,3	492,253	492,2	492,147	492,094	492,041	491,988
55	0,382482	0,890176	492,3	492,252	492,198	492,144	492,09	492,036	491,982
56	0,358226	0,86592	492,3	492,251	492,196	492,141	492,086	492,031	491,976
57	0,33397	0,841664	492,3	492,25	492,194	492,138	492,082	492,026	491,97
58	0,309714	0,817408	492,3	492,249	492,192	492,135	492,078	492,021	491,964
59	0,285458	0,793152	492,3	492,248	492,19	492,132	492,074	492,016	491,958
60	0,261202	0,768896	492,3	492,247	492,188	492,129	492,07	492,011	491,952

При статической величине вносимой нестабильности в период опорного сигнала динамика отклонения параметров будет иметь линейный характер, но с практической стороны такая ситуация не реализуема, поэтому в эмпирических данных отклонение и разброс параметров характеризуется тем или иным законом распределения плотности вероятности попадания случайной величины в заданный интервал. При работе оборудования в штатном режиме, то есть при использовании опорного сигнала синхронизации от корректно

работающего GPS / ГЛОНАСС приёмника, отклонение сигнала синхронизации находится в рамках допустимого [4], поэтому измерить его невозможно в связи с тем, что измеряющее устройство не может быть синхронизировано точнее, чем от приёмника доступных навигационных систем. Следовательно, при проведении экспериментального исследования отклонение PPS задаётся принудительно на заранее определённую величину. В связи с этим, по результатам исследования необходимо определить статистические параметры динамического изменения величины сетевой задержки потока в зависимости от величины вносимой нестабильности:

- среднее квадратическое отклонение:

$$S_{\text{кв.}} = \sqrt{D} = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum_{i=1}^n (TNDTX_i - \overline{TNDTX})^2} \quad (2.11)$$

где D - дисперсия по выборке,

\overline{TNDTX} - среднее значение сетевой задержки за 60 секунд,

$TNDTX_i$ - i -тое рассчитанное значение величины сетевой задержки,

n - объём выборки, в данном случае для интервала времени, равном одной минуте $n = 60$.

- ошибка средней арифметической:

$$TNDTX_m = \frac{S_{\text{кв.}}}{\sqrt{n}} \quad (2.12)$$

- коэффициент вариации:

$$V = \frac{S_{\text{кв.}}}{\overline{TNDTX}} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

2.5.2 Расчёт вероятности ошибки при приёме сигнала в одночастотной зоне

Вероятность ошибки при приёме сигнала DVB-T2 определяется [51]:

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{\log_2 M} \cdot \left[1 - \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3 \log_2(M) \cdot E_b}{2(M-1) \cdot N_0}} \right] \right) \right] \quad (2.14)$$

где M – количество местоположений вектора при квадратурно-амплитудной модуляции, в частности, для модуляции 64-QAM параметр $M = 64$,

$\operatorname{erf}(x)$ - интеграл вероятности, который может быть представлен путём разложения в ряд Тейлора,

E_b / N_0 - отношение энергии бита передаваемой информации к спектральной плотности мощности шума, то есть защитное отношение энергии полезного сигнала к энергии шума, дБ.

В качестве типа канала распространения принят канал Гаусса, поскольку распространение сигнала по согласованной кабельной линии не подразумевает наличие различного рода отражений, то, согласно [52], пороговое значение отношения сигнал/шум $C / N_{\text{порог}}$ для удовлетворительного приема составляет 18,3 дБ при данных параметрах трансляции. Тогда требуемое отношение несущая/шум, согласно [53], с учётом поправок, определяется как:

$$C / N_{\text{треб}} = C / N_{\text{порог}} + 10 \log(B / \Delta f_{\text{ш}}) + \Delta p_1 + \Delta p_2, \text{ дБ}$$

где B – информационная скорость транспортного потока, бит/с,

$\Delta f_{\text{ш}}$ - шумовая полоса приёмного устройства, составляющая 7,61 МГц для стандартного спектра, согласно [52],

Δp_1 и Δp_2 - поправки, зависящие от порядка модуляции - $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 2 \log(\log_2 M)$, ед.

Следовательно, требуемое (минимальное) отношение несущая/шум для приёма в отдельности сигнала PLP 0, 1 и 2 вычисляется соответственно:

$$\begin{aligned} C / N_{\text{требPLP0}} &= C / N_{\text{порог}} + 10 \log \frac{B}{\Delta f_{\text{ш}}} + \Delta p_1 + \Delta p_2 = 18,3 + 10 \log \frac{24,5 \cdot 1024^2}{7,61 \cdot 10^6} + 4 \log(\log_2 64) = \\ &= 26,69, \text{ дБ} \end{aligned}$$

$$C / N_{\text{требPLP1}} = 18,235, \text{ дБ},$$

$$C / N_{\text{требPLP2}} = 17,565, \text{ дБ}.$$

Требуемое отношение несущая/шум при приёме полноценного сигнала T2-MI первого мультиплекса с общим битрейтом 33,4 Мбит/с составит:

$$C / N_{T2-MI} = 28,04, \text{ дБ}.$$

В данном случае, пренебрегая коэффициентом скругления спектра, можно определить, что требуемое отношение несущая/шум будет примерно соответствовать отношению сигнал/шум:

$S / N \approx C / N_{\text{треб}}$, дБ, тогда отношение энергии полезного сигнала к энергии шума составит:

$$E_b / N_0 = 10 \log \left(\frac{S / N}{\log_2(M) \cdot R} \right), \text{ дБ}$$

где R – кодовая скорость, равная 4/5, согласно таблице 2.3. Тогда

$$E_b / N_{0PLP0} = 10 \log \left(\frac{S / N, \text{ ед.}}{\log_2(M) \cdot R} \right) = 10 \log \left(\frac{466,66}{\log_2(64) \cdot 4/5} \right) = 19,87, \text{ дБ}$$

$E_b / N_{0PLP1} = 11,42, \text{дБ}$ и $E_b / N_{0PLP2} = 10,75, \text{дБ}$.

Вероятность ошибки в этом случае, согласно (2.13), составит:

$$P_{\text{ош}PLP0} = \frac{1}{\log_2 M} \cdot \left[1 - \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot \left[1 - \text{erf} \sqrt{\frac{3 \log_2(M) \cdot E_b}{2(M-1) \cdot N_0}} \right] \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{\log_2 64} \cdot \left[1 - \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{64}} \right) \cdot \left[1 - \text{erf} \sqrt{\frac{3 \log_2(64) \cdot 97,05}{2(64-1)}} \right] \right) \right] = 2,036 \cdot 10^{-8}$$

$P_{\text{ош}PLP1} = 6,78 \cdot 10^{-3}$ и $P_{\text{ош}PLP2} = 9,54 \cdot 10^{-3}$ - для каждой PLP соответственно.

Как видно из расчётов, чем меньше используемая информационная скорость, тем ниже минимальное требуемое отношение сигнал/шум, то есть такая величина запаса, при которой приём конкретного сигнала теоретически еще возможен. Чем выше информационная скорость, тем большая величина отношения E_b / N_0 требуется для демодуляции сигнала. Однако, величина вероятности ошибки напрямую связана с отношением энергии бита передаваемой информации к спектральной плотности мощности шума, поэтому при низких значениях отношения сигнал/шум вероятность ошибочного приёма настолько велика, что практически принять сигнал при $P_{\text{ош}PLP2} = 9,54 \cdot 10^{-3}$ будет невозможно. Но, во-первых, рассчитанные величины являются граничными параметрами, при которых приём теоретически возможен, а, во-вторых, поскольку комплексный сигнал T2-MI в данном случае состоит из трёх каналов физического уровня, то за максимальное значение вероятности ошибки необходимо принимать $P_{\text{ош}PLP0} = 2,036 \cdot 10^{-8}$ и за минимально допустимое отношение несущая/шум $C / N_{\text{треб}PLP0} = 26,69, \text{дБ}$, потому что с худшими параметрами приём, в частности PLP0, будет невозможен вовсе.

При работе двух передающих станций в режиме одночастотной сети с идентичным содержанием PLP_0 и PLP_1, но с различным содержанием контента в PLP_2, например, при осуществлении замещения сервисов на одной станции и отсутствии врезки контента на другой, сигнал PLP_2 одного передатчика будет являться помехой сигналу другого передатчика SFN. Следовательно, можно предположить, что отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума PLP_2 в этом случае составит $E_b / N_{0PLP2\text{модиф.}} = 0, \text{ед.}$ Тогда вероятность ошибки при приёме сигнала, модифицированного только на одной передающей станции будет равна: $P_{\text{ош}PLP2\text{модиф.}} = 145,8 \cdot 10^{-3}$, что на порядок выше, чем $P_{\text{ош}PLP2}$ при минимально допустимом отношении сигнал/шум для конкретной PLP. При рассчитанной вероятности

ошибки приём сервисов, относящихся к PLP 2, будет невозможен, что подтвердилось в результате проведённого эксперимента в работе [22].

2.6 Выводы по главе

В настоящей главе был произведён анализ исследуемой сети, представлена структурная схема организации вещания на передающей станции, а также продемонстрирована математическая схема рассматриваемой сети в виде портового графа. Удобство использования портовых графов заключается в том, что существуют две группы вершин: вершины-устройства и вершины-порты, с помощью которых могут быть отображены все возможные физические связи между устройствами.

Общая классификация неисправностей, которые могут возникать в процессе эксплуатации сети вещания, также представлена с использованием теории графов: приведён ориентированный граф, состоящий из восьми вершин, каждая из которых подразумевает нахождение системы вещания на станции в том или ином состоянии. Одно из них является состоянием нормальной работы, остальные – это состояния, при которых возникает неисправность на определённом участке формирования и передачи потока. Рассчитан коэффициент кластеризации, который показал, что наибольшая связь соседних вершин между собой относится к вершине состояния канала доставки потока.

В данной главе также использован метод построения многослойных графов для целей расчёта параметров надёжности системы, в частности коэффициента готовности. Многослойный граф включает в себя уровень топологии схемы, уровень состояний и уровень состояний звена, где каждое звено является отдельным блоком или объектом системы вещания. В формулах (2.2) – (2.7) представлены выражения для вычисления вероятности нахождения каждого рассматриваемого блока схемы в работоспособном состоянии после прямого преобразования Лапласа. В формулах (2.8) и (2.9) приведены выражения результирующего коэффициента готовности для простой системы вещания и системы с модификацией контента. Отдельно представлено выражение для вычисления коэффициента готовности системы с каскадной врезкой контента. В п. 2.4 представлена программа экспериментального исследования, приведены схемы подключения оборудования для выполнения измерений. В настоящей главе уточнена формула определения величины сетевой задержки цифрового информационного потока T2-MI, определено её математическое выражение в формуле (2.10 для относительного режима синхронизации).

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Измерение сетевой задержки потока в точке приёма

Схема проведения измерений приведена на рисунке 2.8 п. 2.4. На аппаратный анализатор транспортных потоков T-Vips TNS-546 поступает сигнал в формате T2-MI, инкапсулированный в пакеты MPEG-2 TS. На вход внешнего опорного сигнала анализатора подан сигнал 1 PPS от приёмника навигационных систем ГЛОНАСС/GPS. На этот же вход с помощью ручной коммутации подаётся модифицированный сигнал 1 PPS от генератора специальных сигналов АКПП-3413/3 с принудительно изменённой длительностью, согласно таблице измерений 2.10. Сам генератор синхронизирован с помощью сигнала 10 МГц от указанного выше навигационного приёмника, при этом выход с изменённым импульсным сигналом дублирован с целью анализа на цифровом осциллографе RIGOL DS4052. На цифровой осциллограф также подан и истинный сигнал PPS для сравнения его с модифицированным. Настройки генератора приведены в таблице 2.9.

Измерения величины сетевой задержки произведены на основе временной диаграммы, формируемой анализатором, параметры cd – current drift и Cfo – current frequency offset определены устройством при каждом изменении параметров сигнала синхронизации. В таблице 3.1 сведены результаты проведённых измерений.

Таблица 3.1 – Результаты измерений.

$TPPS$, с	0,999999	0,999998	0,999997	0,999996	0,999995	0,999994
Cd , ppm	0,813	1,724	2,65	3,5	4,282	4,616
Cfo , Гц	21,954	45,9	70,5	92,88	115,5	127,0
$TNDTX_{max} / TNDTX_{min}$ мс	9,615 / 9,32	8,69 / 8,47	7,75 / 7,47	6,93 / 6,625	6,01 / 5,65	4,85 / 4,175
Наименование рисунка (снимка экрана компьютера)	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7
$TPPS$, с	1 (GPS)	1,000001	1,000002	1,000003	1,000005	1,00001
Cd , ppm	-0,176	-1,954	-2,882	-3,864	-5,619	-6,0
Cfo , Гц	-4,741	-52,983	-77,9	-102,7	-151,7	-162,0
$TNDTX_{max} / TNDTX_{min}$ мс	997,78 / 997,625	4,975 / 4,575	5,56 / 5,29	6,125 / 5,74	7,05 / 6,6	19,61 / 18,92
Наименование рисунка (снимка экрана компьютера)	Б1а, Б1б	Б8	Б9	Б10	Б11	Б12

Величина текущего дрефта (cd) показывает значение скомпенсированного частотного сдвига между внешним и внутренним источником опорного сигнала, а параметр текущего сдвига частоты (cfo) – значение скомпенсированного частотного сдвига между внешним и внутренним опорным сигналом относительно 27 МГц.

Временные диаграммы величины сетевой задержки для интервала времени, равном одной минуте, приведены в Приложении Б в виде снимков экрана компьютера управления с WEB интерфейсом анализатора TNS-546. Значения сетевой задержки табулированы и приведены в таблице 3.2 ниже.

$TNDTX_{max}$ и $TNDTX_{min}$ определены как максимальное и минимальное значения величины сетевой задержки согласно временным диаграммам, представленным на рисунках Б.1 – Б.12 приложения Б.

Таблица 3.2 – Табулированные значения сетевой задержки для $TPPS \leq 1$.

$TPPS$, с	$TNDTX$, мс						
	1 (GPS)	0,999999	0,999998	0,999997	0,999996	0,999995	0,999994
ΔPPS , мкс	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	997,63	9,615	8,625	7,675	6,91	5,99	4,74
2	997,725	9,386	8,69	7,75	6,875	5,975	4,61
3	997,78	9,54	8,56	7,625	6,84	5,94	4,67
4	997,65	9,615	8,625	7,68	6,925	6,01	4,725
5	997,725	9,486	8,69	7,75	6,81	5,975	4,6
6	997,695	9,55	8,565	7,625	6,875	5,93	4,66
7	997,67	9,52	8,625	7,68	6,93	6	4,72
8	997,73	9,49	8,69	7,75	6,809	5,875	4,59
9	997,71	9,5505	8,57	7,625	6,87	5,93	4,655
10	997,75	9,525	8,63	7,68	6,925	5,99	4,625
11	997,73	9,495	8,6	7,64	6,805	5,87	4,58
12	997,715	9,56	8,57	7,651	6,865	5,925	4,65
13	997,68	9,525	8,63	7,72	6,92	5,98	4,62
14	997,749	9,5	8,605	7,585	6,8	5,86	4,575
15	997,72	9,56125	8,575	7,651	6,86	5,92	4,64
16	997,685	9,52	8,635	7,72	6,83	5,979	4,6
17	997,76	9,53	8,605	7,585	6,8	5,859	4,57
18	997,65	9,32	8,575	7,651	6,86	5,92	4,625
19	997,725	9,475	8,65	7,72	6,825	5,88	4,6
20	997,705	9,53	8,545	7,59	6,79	5,85	4,575
21	997,67	9,51	8,605	7,65	6,858	5,925	4,65
22	997,735	9,48	8,579	7,62	6,825	5,82	4,525
23	997,71	9,549	8,549	7,59	6,785	5,875	4,579
24	997,68	9,52	8,61	7,652	6,87	5,935	4,55
25	997,745	9,48	8,58	7,625	6,76	5,81	4,51
26	997,715	9,55	8,55	7,59	6,825	5,87	4,575
27	997,685	9,52	8,615	7,65	6,785	5,925	4,548
28	997,755	9,485	8,582	7,625	6,76	5,805	4,505

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
29	997,63	9,551	8,55	7,59	6,82	5,86	4,56
30	997,69	9,525	8,615	7,65	6,78	5,925	4,525
31	997,76	9,5	8,582	7,605	6,755	5,795	4,5
32	997,64	9,5515	8,55	7,62	6,82	5,86	4,555
33	997,705	9,435	8,619	7,58	6,78	5,825	4,525
34	997,77	9,5	8,49	7,56	6,75	5,79	4,49
35	997,645	9,56	8,558	7,62	6,82	5,85	4,55
36	997,72	9,46	8,62	7,58	6,78	5,82	4,42
37	997,775	9,535	8,498	7,56	6,849	5,78	4,475
38	997,67	9,51	8,559	7,625	6,815	5,85	4,549
39	997,75	9,48	8,62	7,58	6,68	5,815	4,41
40	997,625	9,54	8,51	7,56	6,74	5,779	4,49
41	997,685	9,515	8,59	7,62	6,81	5,86	4,46
42	997,76	9,485	8,56	7,57	6,68	5,74	4,34
43	997,635	9,55	8,53	7,555	6,74	5,805	4,5
44	997,7	9,425	8,59	7,62	6,76	5,76	4,46
45	997,76	9,49	8,564	7,49	6,71	5,74	4,43
46	997,649	9,555	8,535	7,56	6,765	5,8	4,85
47	997,71	9,43	8,598	7,62	6,74	5,76	4,36
48	997,765	9,495	8,47	7,48	6,71	5,73	4,425
49	997,65	9,516	8,538	7,56	6,77	5,79	4,475
50	997,718	9,438	8,6	7,62	6,73	5,76	4,35
51	997,775	9,5	8,478	7,51	6,7	5,725	4,41
52	997,659	9,56	8,538	7,58	6,77	5,78	4,46
53	997,7248	9,44	8,6	7,56	6,63	5,76	4,345
54	997,7695	9,505	8,479	7,52	6,7	5,72	4,4
55	997,665	9,47	8,54	7,58	6,76	5,78	4,46
56	997,729	9,46	8,605	7,56	6,625	5,66	4,34
57	997,705	9,54	8,48	7,52	6,69	5,715	4,4
58	997,685	9,42	8,54	7,58	6,76	5,775	4,175
59	997,775	9,48	8,51	7,47	6,635	5,65	4,325
60	997,65	9,545	8,495	7,52	6,69	5,72	4,375

Таблица 3.3 – Табулированные значения сетевой задержки для $TPPS > 1$.

$TPPS$, с	$TNDTX$, мс				
	1,000001	1,000002	1,000003	1,000005	1,00001
ΔPPS , мкс	1	2	3	5	10
1	2	3	4	5	6
1	4,875	5,41	5,81	6,7	18,975
2	4,575	5,29	5,885	6,775	18,95
3	4,825	5,35	5,879	6,66	19,04
4	4,88	5,42	5,86	6,725	18,92
5	4,77	5,3	5,925	6,8	19
6	4,83	5,37	5,905	6,675	19,08
7	4,9	5,439	5,875	6,65	18,96

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
8	4,775	5,318	5,95	6,725	19,05
9	4,85	5,385	5,825	6,7	19,05
10	4,825	5,45	5,9	6,775	19,04
11	4,79	5,33	5,96	6,75	19,11
12	4,875	5,4	5,84	6,725	19,1
13	4,775	5,37	5,91	6,8	19,08
14	4,84	5,349	5,98	6,755	19,15
15	4,91	5,43	5,86	6,75	19,04
16	4,78	5,33	5,74	6,825	19,12
17	4,85	5,398	6	6,8	19,195
18	4,92	5,462	5,875	6,785	19,06
19	4,8	5,342	5,95	6,875	19,15
20	4,87	5,41	6,01	6,76	19,2
21	4,93	5,48	5,9	6,825	19,11
22	4,81	5,358	5,96	6,81	19,19
23	4,875	5,425	5,925	6,6	19,27
24	4,85	5,4	5,95	6,85	19,15
25	4,825	5,378	6,025	6,83	19,23
26	4,89	5,445	5,9	6,81	19,305
27	4,86	5,418	5,96	6,875	19,2
28	4,83	5,39	6,03	6,85	19,29
29	4,9	5,458	5,92	6,825	19,2
30	4,875	5,43	5,98	6,9	19,27
31	4,85	5,405	6,06	6,875	19,34
32	4,93	5,47	5,93	6,85	19,24
33	4,825	5,445	6,01	6,925	19,305
34	4,89	5,42	5,975	6,81	19,39
35	4,86	5,505	5,95	6,875	19,28
36	4,83	5,4	6,025	6,95	19,35
37	4,91	5,47	6	6,83	19,42
38	4,875	5,442	5,975	6,92	19,31
39	4,85	5,418	6,04	6,915	19,39
40	4,925	5,485	6,02	6,88	19,36
41	4,89	5,46	5,98	6,955	19,35
42	4,865	5,43	6,06	6,925	19,42
43	4,93	5,5	6,025	6,91	19,4
44	4,91	5,47	6,04	6,975	19,38
45	4,875	5,445	6,02	6,86	19,46
46	4,945	5,517	5,985	6,925	19,44
47	4,825	5,49	6,06	7	19,42
48	4,885	5,46	6,03	6,875	19,5
49	4,96	5,53	6,01	6,955	19,46
50	4,84	5,41	6,075	7,025	19,5
51	4,91	5,48	6,05	6,91	19,48
52	4,925	5,545	6,025	6,975	19,46
53	4,88	5,428	6,09	7,05	19,54
54	4,95	5,495	6,075	6,925	19,52
55	4,925	5,515	6,04	7	19,5

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
56	4,89	5,47	6,12	6,975	19,58
57	4,965	5,54	5,98	6,95	19,56
58	4,84	5,515	6,06	7,05	19,54
59	4,91	5,49	6,125	6,94	19,61
60	4,975	5,56	6,015	7,03	19,6

Анализ полученных результатов измерения произведён далее в главе 4.

3.2 Исследование режима работы устройства замещения локального контента

Устройство замещения каналов физического уровня в нормальном режиме работы имеет синхронизацию внутреннего опорного генератора относительно сигнала 1 PPS от внешнего либо встроенного приёмника спутниковых навигационных систем. К навигационному приёмнику подключается приёмная GPS антенна, которая обычно выносится за пределы помещения, где установлено оборудование, и располагается на максимально открытом пространстве. На практике известны случаи выхода из строя таких антенн, связанные, например, с погодными условиями или механическим воздействием. Выход из строя антенны влечёт за собой невозможность поиска доступных космических аппаратов, а, следовательно, невозможность синхронизации относительно высокоточного времени аппаратуры борта спутника. В связи с этим стабильность опорного сигнала, выдаваемого с приёмника ГЛОНАСС/GPS, может быть нарушена, что также может привести к нарушениям работы телекоммуникационного оборудования, в частности устройства вставки локального контента. С целью исследования изложенной ситуации был проведён эксперимент, описанный в п. 2.4.

На рисунке 2.9 программы эксперимента (п. 2.4) представлена схема проведения исследования. На устройство замещения поданы основной и модифицирующий потоки T2-MI, параметры конфигурации которых приведены в таблице 2.11 программы исследования, а также в разделе 2.5.1. На инсёртер также поступает сигнал синхронизации 1 PPS от спутникового навигационного приёмника. Устройство врезки настроено на замещение двух каналов физического уровня (PLP_1 и PLP_2), а выходной результирующий T2-MI поток (T2-MI_{рез}) подан на аппаратный анализатор. Характер сообщений, выдаваемых анализатором при мониторинге результирующего T2-MI, фиксируются в журнале событий анализатора. Результат измерения приведён в таблице 2.13.

Далее инсёртер настраивается на приём опорного сигнала синхронизации от внешнего источника, при этом внешний источник отсутствует (рисунок 2.9). В этом случае анализатором Nevion также осуществляется мониторинг и фиксация событий в выходном результирующем потоке T2-MI_{рез}.

Таблица 3.4 – Результаты исследования.

Период сигнала 1 PPS, T_{PPS} , с	1 (GPS)	1 (отсутствие внешнего опорного сигнала)
Частота сбоя синхронизации потока T2-MI _{рез} согласно журналу событий T-Vips TNS-546 за единицу времени	сбои отсутствуют	сбои с периодом 11-12 секунд (рисунок В.1 Приложения В)
Характер аварийных сообщений потока T2-MI _{рез} согласно журналу событий T-Vips TNS-546	аварии отсутствуют	аварии первого приоритета TS_synch_loss

3.3 Исследование характера работы формирователя DVB-T2 в режиме одночастотной сети

Согласно Программе эксперимента, в исследовании используется передающее оборудование производства «НПП Триада ТВ» с модулятором ProTelevision, поскольку в настоящее время формирователи такой модели являются одними из самых широко применяемых при организации эфирного телевидения на территории России. Задача настоящего эксперимента состоит в определении допустимых временных рабочих диапазонов формирователя, при работе его в режиме одночастотной сети с нулевой локальной отстройкой по времени.

На рисунке 2.10 приведена схема исследования, где на формирователь PT-2000 поступает цифровой информационный поток T2-MI от T2 шлюза, который также дублирует выходной поток на анализатор цифровых сигналов TNS-546. Модулятор DVB-T2 настроен на работу в режиме System B, а также синхронизирован относительно опорного сигнала от встроенного GPS/ГЛОНАСС приёмника. Выход модулятора подключён к согласованной нагрузке-эквиваленту, сопротивлением 50 Ом.

Экспериментальные исследования выполнены в следующей последовательности:

- на устройстве формирования T2-MI устанавливается относительный режим синхронизации, а величина максимальной сетевой задержки (Network Delay) варьируется от 50 до 999 мс с шагом 50 мс, согласно таблице 2.14 программы;
- на устройстве формирования T2-MI устанавливается абсолютный режим синхронизации, величина сетевой задержки варьируется в тех же пределах.

При каждом изменении Network Delay отслеживается статус работы формирователя, а также характер аварийных сообщений при их наличии. Одновременно отслеживается с помощью анализатора TNS-546 величина фактической сетевой задержки потока.

Результаты исследования приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Результаты исследования работы формирователя.

Величина Network Delay, мс	1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	999
Возможность работы модулятора (относительная синхронизация)	H	H	H	H	H	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Возможность работы модулятора (абсолютная синхронизация)	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Характер сообщений формирователя сигнала (относительная синхронизация)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)
Характер сообщений формирователя сигнала (абсолютная синхронизация)	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	SFN Delay too low	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)	Ok (No alarms)
Примечания																					

В таблице 3.5 используются следующие условные обозначения:

H / Ok (No alarms) – нормальная работа передатчика;

НВЗ / SFN Delay too low – низкая величина задержки.

Обсуждение полученных результатов приведено далее в главе 4.

3.4 Исследование режима работы SFN с устройством регионализации

На рисунке 2.11 представлена схема подключения двух передатчиков DVB-T2, настроенных на работу в режиме одночастотной сети. Оба модулятора настроены на один и тот же частотный канал и имеют одинаковые уровни выходной мощности (-10 дБм). В тракт между спутниковым приёмником (источником T2-MI) и формирователем COFDM включены устройства вставки локального контента, которые получают сигнал синхронизации от встроенных приёмников навигационных систем. Параметры входных потоков T2-MI полностью соответствуют данным, указанным в таблице 2.11. Поскольку в используемом цифровом потоке передаются три канала физического уровня в основном и два канала – в замещающем (согласно также таблице 2.11), то замещению могут подлежать только PLP с идентификаторами 1 и 2, так как параметры их передачи абсолютно идентичны, что является обязательным условием осуществления замены контента. Тогда на инсёртере TTV-PLPSW-0401_1 замещению подлежат оба канала (PLP_1 и PLP_2), а на инсёртере TTV-PLPSW-0401_2 настройки врезки меняются в соответствии с таблицей 2.16. Телевизионный приёмник, настроенный на частоту используемого ТВ канала, является индикатором возможности приёма и демодуляции сигнала DVB-T2, в частности сводная таблица состояния сигнала, отображаемая на экране телевизора, позволяет оценить относительное качество демодуляции.

Результаты эксперимента, а также показания телевизионной таблицы состояния сигнала при настройке ТВ приёмника на декодирование сервисов PLP_1 и PLP_2 приведены в таблице 3.6. Анализ полученных результатов приведён в главе 4.

Таблица 3.6 – Результаты измерений.

TTV-PLPSW-0401_2	Замещение PLP_1 и PLP_2	Замещение PLP_2	Замещение PLP_1	Режим замещения выключен
Возможность приёма сигнала и демодуляции отдельных PLP телевизионным приёмником	PLP_1: приём устойчивый PLP_2: приём устойчивый	PLP_1: декодирование сигнала невозможно PLP_2: приём устойчивый	PLP_1: приём устойчивый PLP_2: декодирование сигнала невозможно	PLP_1: декодирование сигнала невозможно PLP_2: декодирование сигнала невозможно
	PLP_0: приём устойчивый			
Показания таблицы состояния ТВ приёмника (PLP_1)	УБО: 0 УС: 100 КС: 100	УБО: 2000 УС: 0 КС: 0	УБО: 0 УС: 100 КС: 100	УБО: 2000 УС: 0 КС: 0
Показания таблицы состояния ТВ приёмника (PLP_2)	УБО: 0 УС: 100 КС: 100	УБО: 0 УС: 100 КС: 100	УБО: 2000 УС: 0 КС: 0	УБО: 2000 УС: 0 КС: 0

В таблице использованы следующие условные обозначения:

УБО – уровень битовой ошибки – показатель телевизионной таблицы качества сигнала в относительных единицах;

УС – уровень сигнала в относительных единицах;

КС – качество сигнала в относительных единицах.

3.5 Выводы по главе

В настоящей главе приведён алгоритм проведения экспериментального исследования, а также зафиксированы следующие полученные результаты:

- измерения величины сетевой задержки потока в табличной форме,
- работы устройства регионализации без опорного сигнала синхронизации;
- работы передающего устройства РТ-2000 в различных диапазонах входной сетевой задержки;
- определения возможности приёма сигнала в одночастотной зоне при различных вариантах конфигурации замещения на станциях.

Сбор и фиксация результатов эксперимента позволяет в дальнейшем произвести полный анализ полученных данных.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

4.1 Обработка результатов измерения сетевой задержки потока

Согласно схеме рисунка 2.7, сетевая задержка потока $TNDTX$ на входе модулятора COFDM является не фиксированной величиной и определяется как разница между установленной на устройстве формировании задержкой и временными затратами на распространение сигнала по каналу связи. Величина $TNDTX$ должна быть больше, чем время, необходимое передатчику DVB-T2 на излучение сигнала в эфир, то есть Processing Delay. Каждый суперкадр потока, содержащий в своём составе метку времени T2 Timestamp, должен быть излучён в момент времени, указанный в поле subseconds через длительность TND , установленную на устройстве формирования. Цель применения задержки потока T2-MI заключается в том, чтобы время излучения очередного блока данных (суперкадра) передатчиками DVB-T2 было фиксировано и едино для всех станций вне зависимости от территориальной удалённости и характеристик канала доставки. Такая цель актуальна только в случае работы станций в режиме одночастотной сети, который нашёл наибольшее применение в связи со значительной экономией частотного ресурса. Физический смысл задержки состоит в предоставлении временного запаса за счёт установки на устройстве формирования номинальной величины TND , компенсирующей затраты на доставку сигнала по каналам связи, чем обеспечивается принудительное задерживание времени излучения очередного блока данных.

4.1.1 Отсев грубых погрешностей измерения

Полученные в результате экспериментального исследования значения сетевой задержки, представленные в таблицах 3.2 и 3.3, необходимо предварительно обработать на предмет наличия грубых погрешностей, что связано с преобразованием графических данных в табличный вид. Поскольку общее количество измерений равно шестидесяти, то использовать в качестве инструмента для отсева погрешностей критерий Смирнова или критерий Диксона не является целесообразным, поэтому в настоящей работе принято использовать критерий Стьюдента.

Для отсева погрешностей необходимо рассчитать наибольшее отклонение максимального и минимального значения от среднего для каждого варианта измерения:

$$d_{max} = T_{NDTXmax} - \overline{T_{NDTX}},$$

$$d_{min} = \overline{T_{NDTX}} - T_{NDTXmin},$$

где $\overline{T_{NDTX}}$ - среднее арифметическое значение задержки на интервале измерения для каждого варианта отклонения периода опорного сигнала от номинального значения.

Далее необходимо вычислить отношение d_{max} и d_{min} к среднеквадратическому отклонению рассматриваемой выборки по соответствующим формулам:

$$\tau_{max} = \frac{d_{max}}{S_{КВ.}} \text{ и } \tau_{min} = \frac{d_{min}}{S_{КВ.}}.$$

Вычисление критических точек для вероятностей 0,05 и 0,01 и количества измерений, равных шестидесяти, производится по соответствующим формулам:

$$\tau_{(0,05;60)крит} = \frac{t_{(0,05;60-2)} \cdot \sqrt{60-1}}{\sqrt{(60-2) + [t_{(0,05;60-2)}]^2}} \text{ и}$$

$$\tau_{(0,01;60)крит} = \frac{t_{(0,01;60-2)} \cdot \sqrt{60-1}}{\sqrt{(60-2) + [t_{(0,01;60-2)}]^2}},$$

где $t_{(0,05;60-2)}$ и $t_{(0,01;60-2)}$ - значения t-распределения Стьюдента для вероятностей 0,05 и 0,01 соответственно.

Значения t-распределения могут быть получены либо с помощью таблиц распределения Стьюдента в справочниках по математической статистике, либо с помощью функции «=СТЮДРАСПОБР(вероятность; количество измерений)» программных средств MS Excel.

Рассчитанное отношение $\tau_{max(min)}$ необходимо сравнить с критическими точками:

- если $\tau_{min(max)} < \tau_{(0,05;60)крит}$, то измерение не подлежит отсеиванию;
- если $\tau_{(0,05;60)крит} < \tau_{min(max)} < \tau_{(0,01;60)крит}$, то измерение также не отсеивается;
- если $\tau_{min(max)} > \tau_{(0,01;60)крит}$, то измерение отсеивается.

Все рассчитанные параметры сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчёта параметров для отсева погрешностей.

Период 1PPS, с	Кол- во изм., <i>n</i>	$\overline{T_{NDTX}}$, мс	$S_{КВ.}$, мс	$T_{NDTXmax}$, мс	$T_{NDTXmin}$, мс	d_{max}	d_{min}	τ_{max}	τ_{min}
Итерация 1									
0,999994	60	4,524	0,121	4,85	4,175	0,326	0,349	2,689	2,884
0,999995	60	5,843	0,090	6,01	5,65	0,167	0,193	1,856	2,154
0,999996	60	6,789	0,074	6,93	6,625	0,141	0,164	1,908	2,227
0,999997	60	7,610	0,064	7,75	7,47	0,140	0,140	2,181	2,171
0,999998	60	8,576	0,052	8,69	8,47	0,114	0,106	2,198	2,032
0,999999	60	9,506	0,051	9,615	9,32	0,109	0,186	2,129	3,628
1,0	60	997,707	0,044	997,78	997,625	0,073	0,082	1,646	1,855
1,000001	60	4,867	0,063	4,975	4,575	0,108	0,292	1,728	4,653
1,000002	60	5,432	0,062	5,56	5,29	0,128	0,142	2,045	2,282
1,000003	60	5,972	0,080	6,125	5,74	0,153	0,232	1,911	2,908
1,000005	60	6,854	0,106	7,05	6,6	0,196	0,254	1,858	2,402
1,00001	60	19,277	0,190	19,61	18,92	0,334	0,356	1,754	1,875
$t_{(0,05;58)}$	2,0017			$\tau_{(0,05;60)крит}$	1,9526				
$t_{(0,01;58)}$	2,6633			$\tau_{(0,01;60)крит}$	2,5356				
Период 1PPS, с	Кол- во изм., <i>n</i>	$\overline{T_{NDTX}}$, мс	$S_{КВ.}$, мс	$T_{NDTXmax}$, мс	$T_{NDTXmin}$, мс	d_{max}	d_{min}	τ_{max}	τ_{min}
Итерация 2									
0,999994	59	4,530	0,113	4,85	4,325	0,320	0,205	2,828	1,816
0,999999	59	9,509	0,045	9,615	9,386	0,106	0,123	2,332	2,708
1,000001	59	4,872	0,050	4,975	4,77	0,103	0,102	2,066	2,03
1,000003	59	5,976	0,074	6,125	5,81	0,149	0,166	1,997	2,233
$t_{(0,05;57)}$	2,00247			$\tau_{(0,05;59)крит}$	1,9524				
$t_{(0,01;57)}$	2,66487			$\tau_{(0,01;59)крит}$	2,5349				
Период 1PPS, с	Кол- во изм., <i>n</i>	$\overline{T_{NDTX}}$, мс	$S_{КВ.}$, мс	$T_{NDTXmax}$, мс	$T_{NDTXmin}$, мс	d_{max}	d_{min}	τ_{max}	τ_{min}
Итерация 3									
0,999994	58	4,525	0,106	4,74	4,325	0,215	0,1998	2,036	1,889
0,999999	58	9,511	0,043	9,615	9,42	0,104	0,0912	2,427	2,131
$t_{(0,05;56)}$	2,0032			$\tau_{(0,05;58)крит}$	1,9523				
$t_{(0,01;56)}$	2,667			$\tau_{(0,01;58)крит}$	2,5341				

Исходя из данных таблицы 4.1, объём выборки для первой итерации составляет 60 значений для каждого варианта измерений. Рассчитанное значение τ_{max} для случая отклонения

периода опорного сигнала на -6 мкс превышает критическое значение для вероятности $0,01$, следовательно, максимальную величину задержки $T_{NDTXmax} = 4,85$ мс необходимо отсеивать. Рассчитанные значения τ_{min} для $\Delta PPS = -6; -1; +1; +3$ мкс, также превышают критическое значение для вероятности $0,01$, поэтому также подлежат фильтрации.

Для второй итерации отсева грубых погрешностей необходимо пересчитать среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонение для рядов измерений с отфильтрованными значениями и повторить расчёт для выборки объёмом $n-1$ для четырёх указанных случаев. Результаты расчёта второй итерации также представлены в таблице 4.1.

Как видно из таблицы, τ_{max} для случая $\Delta PPS = -6$ мкс и τ_{min} для $\Delta PPS = -1$ мкс превышают критические значения, поэтому их максимальное и минимальное значения подлежат отсеиванию соответственно. Следовательно, для третьей итерации необходимо снова пересчитать \overline{TNDTX} и $S_{кв.}$ для выборки объёмом $n-2$. По результатам расчёта параметров третьей итерации можно сделать вывод о том что дальнейший отсев грубых погрешностей не целесообразен, поскольку более ни одно из расчётных параметров τ не превышает соответствующего критического значения.

Благодаря использованию критерия Стьюдента отсортированы грубые погрешности измерений значения сетевой задержки, поэтому в дальнейшем при анализе результатов эксперимента необходимо учитывать, что для случаев $\Delta PPS = -6; -1$ мкс объём выборки составляет 58 значений, для случаев $\Delta PPS = +1; +3$ мкс – 59 значений, для всех остальных вариантов измерения – 60 значений.

4.1.2 Проверка адекватности модели аппроксимации

В главе 2 был произведён расчёт величины сетевой задержки в идеальном случае при отклонении сигнала синхронизации на 1; 2; 3; 4; 5; 6; 10 мкс относительно номинального значения. На рисунке 4.1 представлены графики зависимости теоретически рассчитанной величины сетевой задержки потока для всех случаев отклонения сигнала синхронизации и приведены уравнения аппроксимирующих прямых. Поскольку расчёт был произведён для идеального случая, то все зависимости имеют строго линейный характер.

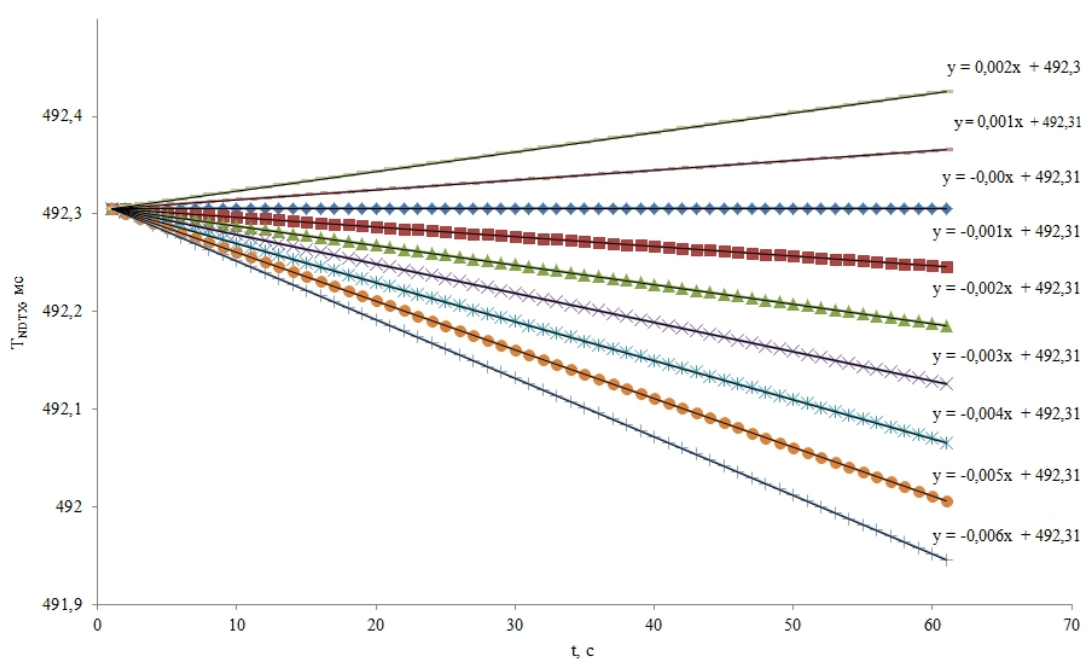


Рисунок 4.1 – Графики зависимости теоретически рассчитанной величины сетевой задержки от времени
Из рисунка 4.1 видно, что линия тренда может быть описана типовым уравнением линейной зависимости:

$$y = k \cdot x + b, \quad (4.1)$$

где k - угловой коэффициент, характеризующий наклон прямой к оси абсцисс;

b - параметр смещения прямой относительно начала координат.

В данном случае $k = -0,0057$, а $b = 4,6931$.

Геометрически аппроксимирующие прямые могут быть представлены согласно чертежу рисунка 4.2.

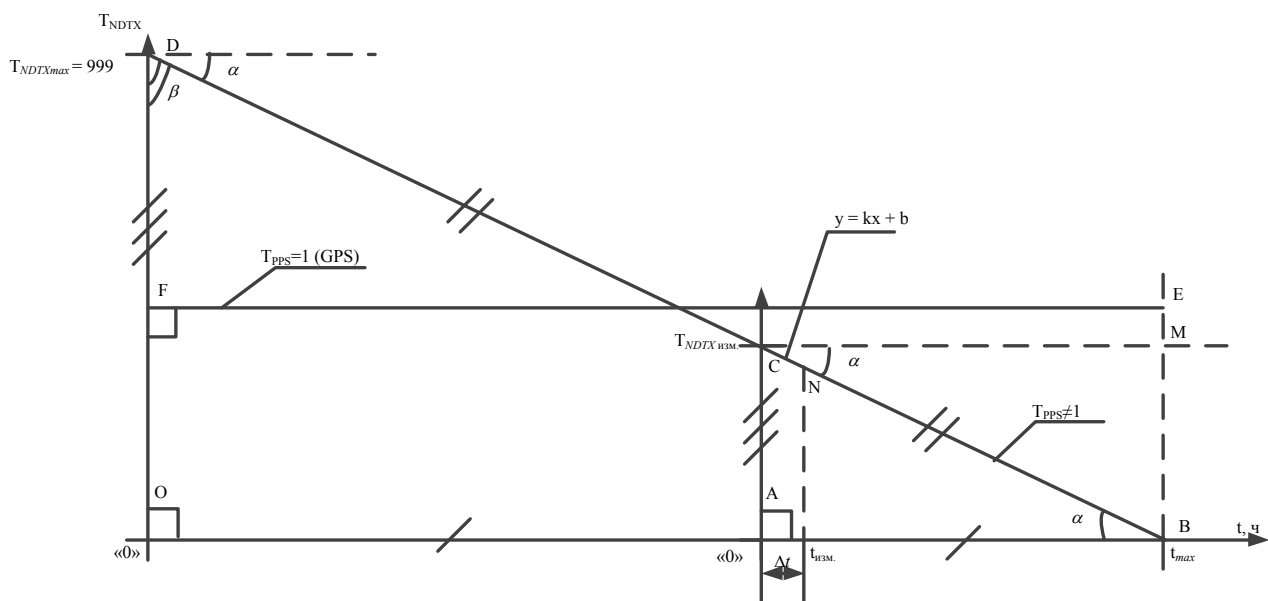


Рисунок 4.2 – Геометрическое представление аппроксимирующих прямых

На рисунке 4.2 в виде отрезка FE представлена прямая, аппроксимирующая график сетевой задержки потока при нормальной работе с опорным сигналом от высокостабильного источника. В этом случае $T_{PPS} = 1\text{ с}$ и график задержки представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс (на рисунке 4.1 уравнение « $y = -0,0 \cdot x + 492,31$ »). При отклонении периода сигнала синхронизации от номинального значения аппроксимирующие прямые будут иметь наклон к оси времени, что также представлено на рисунке 4.1 и на рисунке 4.3, где в качестве наглядного примера использованы результаты измерений задержки при $T_{PPS} = 0,999994\text{ с}$. На рисунке 4.2 отрезок CN прямой DB является аппроксимацией значений сетевой задержки, полученных в результате измерения на временном отрезке Δt , равном одной минуте (рисунки Б.1 – Б.12 Приложения Б). Именно участок CN может быть описан классическим уравнением согласно формуле (4.1), а $T_{NDTX_{\text{изм.}}}$ является максимальным или минимальным значением, в зависимости от угла наклона аппроксимирующей прямой, то есть $T_{NDTX_{\text{изм.}}} = y(x = 0) = b$. Параметр $t_{\text{изм.}}$ является граничным значением интервала измерения Δt но поскольку измерения производились в течение одной минуты, то $t_{\text{изм.}} = 1\text{ мин}$, при этом в качестве условного нуля принят момент начала измерений, что не является абсолютным нулевым значением времени. Поэтому на рисунке 4.2 ноль обозначен с использованием кавычек с целью определения относительности данного временного порога. Угол наклона прямой к оси времени в данном случае является отрицательным и на рассматриваемом рисунке обозначен α , при этом угол

$$\alpha = \angle MCB = \angle CBA,$$

где CM – прямая, параллельная оси абсцисс;

NB – отрезок, соединяющий прямую, аппроксимирующую участок CN и ось времени. Точка B является моментом обращения величины сетевой задержки в нуль, то есть $T_{NDTX} = y = 0$, что происходит через некоторое время t_{max} .

Отрезок DC является продолжением CN и соединяет прямую участка измерения с осью ординат, то есть со шкалой сетевой задержки. Точка D является точкой пересечения аппроксимирующей прямой и оси ординат, при этом пересечение происходит в максимальном значении $T_{NDTX_{\text{max}}} = 999\text{ мс}$. Поскольку угол наклона прямой DB является абсолютно идентичным углу наклона отрезка CN, то угол $\beta = 90 - \alpha$, град, согласно правилам вычисления углов треугольников, а также $\beta = \angle ACB$.

Тогда, при рассмотрении двух прямоугольных треугольника ODB и ACB, может быть определено следующее:

$$- \angle DBO = \angle CBA = \angle \alpha;$$

$$- \angle ODB = \angle ACB = \angle \beta;$$

- углы $\angle DOB$ и $\angle CAB$ являются прямыми и равны соответственно 90 градусов.

В этом случае треугольники ODB и ACB являются подобными, а, значит, имеют некоторый коэффициент подобия соответствующих сторон. Указанный коэффициент определится следующим образом:

$$K_p = \frac{DB}{CB} = \frac{OD}{AC} = \frac{OB}{AB}.$$

Согласно рисунку 4.2, длительность временного отрезка Δt известна и составляет одну минуту. Тогда необходимо рассчитать длительность временного отрезка AB , являющегося временем спада величины сетевой задержки от максимально измеренного её значения $T_{NDTX_{изм.}}$ до нулевого значения в точке t_{max} , а также общий временной интервал спада от $T_{NDTX_{max}}$ до нуля. Угол наклона определяется как:

$$tg(\alpha) = tg(\angle CBA) = \frac{AC}{AB} = k$$

где k - угловой коэффициент, определённый в результате формирования линий тренда.

Поскольку $AC = T_{NDTX_{изм.}}$, то

$$AB = \frac{AC}{k} = \frac{T_{NDTX_{изм.}}}{k \cdot 3600}, \text{ ч.} \quad (4.2)$$

Необходимо отметить, что ситуации, когда угол наклона аппроксимирующей прямой к оси времени является положительным, то необходимо рассчитывать время нарастания, то есть время от значения $T_{NDTX_{изм.}}$ до достижения задержкой максимальной величины 999 мс. Тогда временной отрезок AB для положительного угла определяется:

$$AB = \frac{AC}{k} = \frac{999 - T_{NDTX_{изм.}}}{k \cdot 3600}, \text{ ч.} \quad (4.3)$$

Временной интервал цикла спада / нарастания OB определится из выражения:

$$\frac{OD}{AC} = \frac{OB}{AB} \Rightarrow OB = \frac{OD \cdot AB}{AC} \text{ или} \\ OB = \frac{999 \cdot AB}{T_{NDTX_{изм.}}} = \frac{999 \cdot T_{NDTX_{изм.}}}{T_{NDTX_{изм.}} \cdot k} = \frac{999}{k \cdot 3600}, \text{ ч.} \quad (4.4)$$

Результаты расчётов времени спада / нарастания по формулам (4.2), (4.3) и (4.4) приведены в сводной таблице результатов анализа 4.3.

Результаты измерения величины сетевой задержки T_{NDTX} приведены в таблицах 3.2 и 3.3, в Приложении Б представлены снимки экрана компьютера с интерфейсом аппаратного анализатора транспортных и T2-MI потоков T-VIPS TNS-546 в режиме измерения сетевой задержки исследуемого потока. Графики сетевой задержки, представленные на рисунках Б.1 – Б.12, представляют собой ломанные кривые, имеющие предположительно линейную зависимость. Для обработки полученных данных выполнена аппроксимация зависимостей и

подобрана линия тренда с помощью программных средств MS Excel. Также определено уравнение прямой, аппроксимирующей конкретный рассматриваемый график (рисунок 4.1). Аппроксимация с помощью построения линий тренда в MS Excel является графической интерпретацией аппроксимации по методу наименьших квадратов.

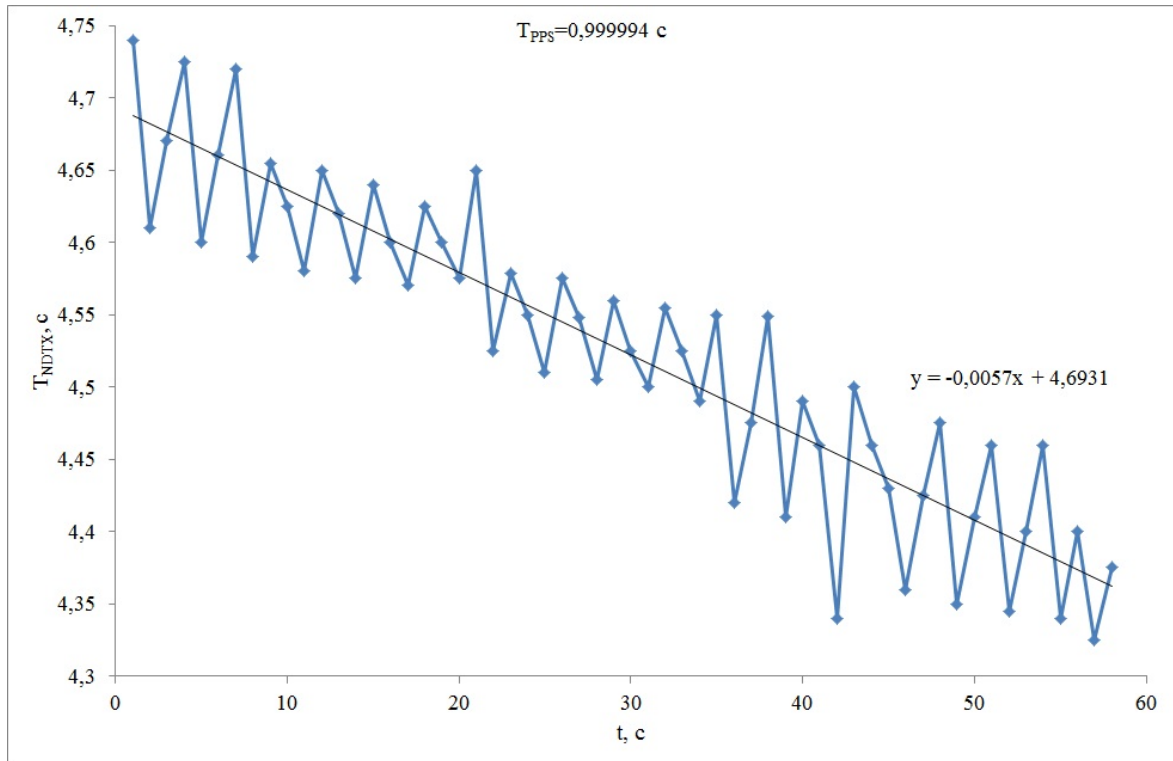


Рисунок 4.3 – График сетевой задержки и линия тренда при отклонении периода сигнала синхронизации на 6 мкс относительно номинального значения

На рисунке 4.3 представлен график для $\Delta PPS = -6$ мкс, однако, для других случаев линия тренда определяется аналогичным способом, и, в связи с этим, соответствующие графики не представлены.

В связи с предположением о наличии линейного характера графика задержки, можно сформулировать нулевую гипотезу H_0 о том, что выбранное уравнение регрессии адекватно. Тогда альтернативная гипотеза H_1 – «уравнение регрессии неадекватно». Для проверки выдвинутых гипотез необходимо использовать F-критерий Фишера.

Для этого необходимо рассчитать дисперсию D сетевой задержки для каждого варианта измерения по формуле (2.11), затем рассчитать остаточную дисперсию $D_{ост}$ по следующей формуле [54]:

$$D_{ост} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{NDTXi} - y_i)^2}{n - 1},$$

где y_i - соответствующие расчётные значения уравнений аппроксимирующей прямой для рассматриваемого случая;

l - число членов аппроксимирующего полинома, для линейной зависимости $l = 2$.

Расчёт экспериментального значения F-критерия производится по формуле:

$$F_{\text{эксп}} = \frac{D}{D_{\text{ост}}}.$$

Значение критерия Фишера возможно рассчитать с помощью встроенной функции MS Excel «=F.ОБР.ПХ($\alpha, m1, m2$)», где α - вероятность, $m1$ - степень свободы 1, $m2$ - степень свободы 2.

Принято, что вероятность $\alpha = 0,05$, степени свободы $m1 = n - 1$, $m2 = n - l$. Результаты расчётов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчётов F-критерия.

Период 1PPS, с	Дисперсия, D	Уравнение аппроксимирующей прямой	Остаточная дисперсия, $D_{\text{ост}}$	Значение критерия $F_{\text{эксп}}$	Значение критерия $F_{(\alpha, m1, m2)}$
0,999994	0,01118145	$y = -0,0057i + 4,6931$	0,001924	5,811853	1,555625
0,999995	0,00805844	$y = -0,0046 i + 5,9833$	0,001671	4,822555	1,543583
0,999996	0,00544125	$y = -0,0035 i + 6,8949$	0,001813	3,00186	1,543583
0,999997	0,00413856	$y = -0,0028 i + 7,6963$	0,001711	2,41894	1,543583
0,999998	0,00270568	$y = -0,0018 i + 8,6319$	0,001699	1,5925022	1,5435835
0,999999	0,00183038	$y = -0,0011 i + 9,5428$	0,00153	1,196322	1,555625
1,0	0,00195993	$y = 10^{-5} i + 997,71$	0,002004	0,977988	1,543583
1,000001	0,00250469	$y = 0,0016 i + 4,823$	0,001761	1,422558	1,549512
1,000002	0,0038933	$y = 0,0027 i + 5,3492$	0,001649	2,360406	1,543583
1,000003	0,00554523	$y = 0,0036 i + 5,8696$	0,001853	2,993354	1,549512
1,000005	0,01115816	$y = 0,0053 i + 6,6921$	0,0026737	4,1732829	1,5435835
1,00001	0,0361672	$y = 0,0106 i + 18,953$	0,001779	20,32779	1,543583

Как видно из таблицы 4.2, в большинстве случаев экспериментальное значение F-критерия превышает критическое значение, то есть $F_{\text{эксп}} > F_{(\alpha, m1, m2)}$. Это свидетельствует о том, что выбранное уравнение для моделирования графика сетевой задержки адекватно, и гипотеза H_0 принимается. Однако, в случаях, когда $TPPS = 0,999999; 1,0; 1,000001$ значение $F_{\text{эксп}} < F_{(\alpha, m1, m2)}$, что означает отвержение гипотезы H_0 и принятие H_1 . При первичном рассмотрении получается, что при синхронизации устройства приёма цифрового потока T2-MI от опорного сигнала, полученного от приёмника спутниковых навигационных систем, предположение о линейности сетевой задержки не соответствует действительности. При подборе аппроксимирующих прямых был вычислен коэффициент достоверности аппроксимации R^2 для каждого случая с помощью программных средств MS Excel, результаты вычисления представлены в таблице 4.3. Видно, что минимальный коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,00003$ также соответствует случаю синхронизации оборудования от

высокостабильного опорного сигнала. Необходимо отметить, что, согласно снимку экрана компьютера с интерфейсом анализатора Nevion TNS-546, представленному на рисунке Б.1б (приложение Б), график сетевой задержки при нулевом смещении опорного сигнала на длительном интервале наблюдения (1 час) представляет собой линейную зависимость. Тогда ситуация с несоответствием подобранной модели для случаев $TPPS = 0,999999; 1,0; 1,000001$ с может быть объяснена следующим образом:

- во-первых, разброс значений, то есть разница между максимальным и минимальным значением задержки на интервале измерения, тем больше, чем выше отклонение периода опорного сигнала от номинального значения Δ_{PPS} . С ростом отклонения как в положительную так и в отрицательную стороны зависимость приобретает очевидно линейный характер. Для того, чтобы подтвердить такую взаимосвязь был рассчитан коэффициент корреляции $r_{\text{кда}}$ между величиной разброса значений и коэффициентом достоверности аппроксимации для каждого случая. Результаты расчётов представлены в таблице 4.3. Как видно из таблицы, $r_{\text{кда}}$ стремится к единице как на участке отрицательного, так и на участке положительного смещения периода опорного сигнала, следовательно, имеет место прямая взаимосвязь;

- во-вторых, с точки зрения практической эксплуатации, зависимость сетевой задержки от времени в идеальном случае – есть прямая линия, что говорит о стабильности величины задержки именно в конкретной точке приёма потока T2-MI, что подтверждается графиком на рисунке Б.1б приложения Б.

Таким образом, можно полагать, что при проверке адекватности модели согласно условиям критерия Фишера, случаи при $TPPS = 0,999999; 1,0; 1,000001$ с являются случаями с минимальным разбросом значений, то есть рассматриваются «в области больших времён» относительно прочих вариантов измерения, поэтому возникает конфликт математического описания и практического смысла. Следовательно, утверждать, что аппроксимация графика задержки при нулевом и малом отклонении периода опорного сигнала не носит линейный характер неправильно с точки зрения практической эксплуатации.

В таблице 4.3 для всех рассматриваемых случаев отклонения периода сигнала синхронизации от номинального значения приведены угловые коэффициенты и углы наклона аппроксимирующих прямых к оси времени, а также углы наклона прямых, полученных в результате теоретических расчётов. Кроме того, представлено расчётное время спада/нарастания t_{max} относительно рассчитанных углов.

Таблица 4.3 – Сводная таблица результатов анализа.

Период 1PPS, с	Коэф-т дост-ти аппрок-ции, R ²	Разброс значений $T_{NDTXmax}$ – $T_{NDTXmin}$	Угловой коэффициент $tg(\alpha)$		Угол наклона прямой к оси абсцисс α , град		Время спада/нарастания t_{max} , ч		
			изм.	теор.	изм.	теор.	$y_{max} = T_{NDTXизм.}$ $y_{min} = 0$ $y_{max} = 999$ $y_{min} = b$ } $\alpha < 0$	$y_{max} = 999$ $y_{min} = 0$ изм.	$y_{max} = 999$ $y_{min} = 0$ теор.
0,999994	0,831	0,415	-0,0057	-0,006	-0,3268	-0,3311	0,23	48,68	46,25
0,999995	0,7962	0,36	-0,0046	-0,005	-0,2637	-0,279	0,36	60,33	55,5
0,999996	0,6728	0,305	-0,0035	-0,004	-0,2006	-0,2253	0,55	79,29	69,375
0,999997	0,5941	0,28	-0,0028	-0,003	-0,1605	-0,1702	0,76	99,11	92,5
0,999998	0,3836	0,22	-0,0018	-0,002	-0,1032	-0,1141	1,33	154,17	138,75
0,999999	0,1793	0,195	-0,0011	-0,001	-0,0631	-0,0572	2,43	252,27	277,5
1,0	0,00003	0,155	10 ⁻⁵	0	0,0006	0	27711,94	27750	∞
1,000001	0,3094	0,205	0,0016	0,001	0,0917	0,0572	172,59	173,44	277,5
1,000002	0,5838	0,27	0,0027	0,002	0,1548	0,1141	102,22	102,78	138,75
1,000003	0,6721	0,315	0,0036	0,003	0,2064	0,1702	76,64	77,08	92,5
1,000005	0,7677	0,45	0,0053	0,005	0,3038	0,279	52,01	52,36	55,5
1,00001	0,9516	0,69	0,0106	0,01	0,6076	0,5203	25,68	26,18	27,75
Коэффициент корреляции $r_{кда}$									
$\Delta PPS = -1, -2... -6$ мкс		0,9516							
$\Delta PPS = 1, 2... 10$ мкс		0,9148							
$\Delta PPS = -6, -5... 10$ мкс		0,8431							

На рисунке 4.4 представлен график зависимости времени спада, то есть достижения условного нуля прямой, аппроксимирующей график сетевой задержки, от угла наклона этой прямой к оси времени.

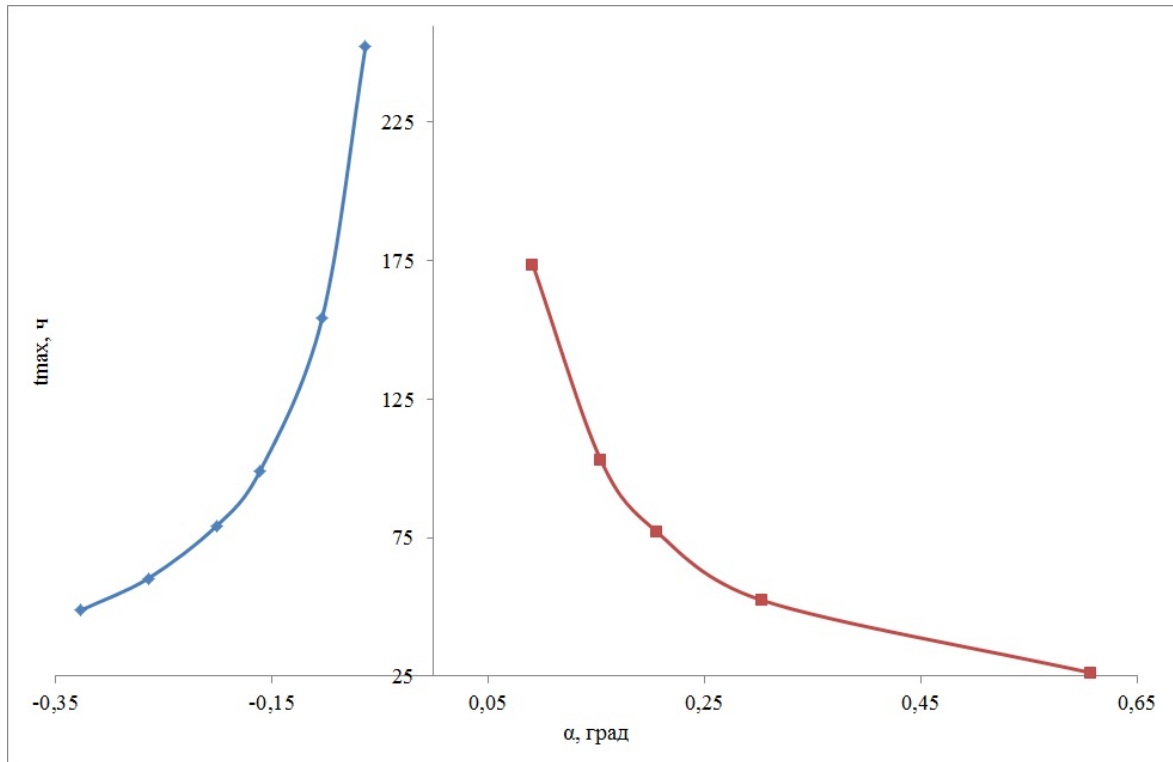


Рисунок 4.4 – График зависимости времени спада от угла наклона аппроксимирующих прямых

Поскольку значение времени спада, в случае расположения аппроксимирующей прямой параллельно оси абсцисс, на порядок превосходит остальные значения, согласно таблице 4.3, то на графике рисунка 4.4 это время не указано, так как при наличии стабильного опорного сигнала синхронизации время спада при нулевом угле наклона прямой является бесконечно большой величиной. Из рисунка видно, что чем меньшую величину по модулю составляет угол наклона прямой к оси абсцисс, тем больше становится время спада / нарастания, тем реже происходят срывы синхронизации оборудования. Схематично график зависимости сетевой задержки за длительный период времени представлен на рисунке 4.5.

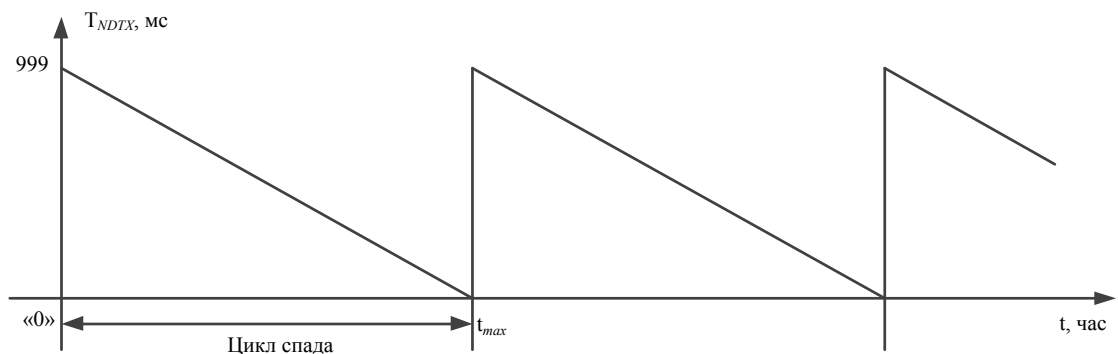


Рисунок 4.5 – Пилообразный характер графика сетевой задержки в течение длительного периода наблюдения

На рисунке 4.5 представлен график сетевой задержки потока при её оценке относительно опорного сигнала PPS, период которого меньше номинального значения в одну секунду. В качестве условного нуля на рисунке обозначен момент времени, при котором значение сетевой задержки имеет максимум, то есть когда $y_{max} = 999$ мс для относительного режима синхронизации. Через интервал времени t_{max} после достижения максимума величины сетевой задержки, её значение достигнет минимума $y_{min} = 0$, затем снова резко вернётся в максимум. Поскольку отрицательного значения сетевой задержки не существует, так как её величина есть разность между требуемым временем излучения и временем приёма текущего суперкадра передающим или анализирующим устройством (раздел 2.5.1), то переход через условный нуль с физической точки зрения означает перенос момента излучения в следующую секунду. Так как точкой отсчёта в любом случае является момент поступления очередного импульса 1 PPS, то при смещении опорного сигнала по времени смещается и время получения очередного суперкадра потока. Следовательно, величина сетевой задержки также имеет смещение. Формула вычисления $TNDTX$ (2.10) приведена также в разделе 2.5.1. В результате переноса момента излучения в следующую секунду образуется резкий скачок от минимума к максимуму величины сетевой задержки, поэтому в течение длительного периода наблюдения зависимость $TNDTX$ от времени носит выраженный пилообразный характер. Циклом спада в данном случае является интервал времени, за который величина сетевой задержки из точки максимума достигнет точки минимума.

На основании данных таблицы 4.3 может быть рассчитан коэффициент корреляции между значением периода опорного сигнала синхронизации и временем спада/нарастания t_{max} с целью определения степени взаимосвязи этих величин. Целесообразно определить коэффициент корреляции для интервалов $\Delta PPS = [-0,000006; -0,000001]$ и $\Delta PPS = [0,000001; 0,000001]$ в отдельности, при этом, не включая значение $\Delta PPS = 0$ в целях корректности оценки взаимосвязи. В таблице 4.4 представлены исходные данные для вычисления коэффициента корреляции r_t и результат его расчёта с помощью программных средств MS Excel.

Таблица 4.4 – Результаты расчёта.

T_{PPS} , с	0,999994	0,999995	0,999996	0,999997	0,999998	0,999999
t_{max} , ч	48,68	60,33	79,29	99,11	154,17	252,27
r_t	0,921					
T_{PPS} , с	1,000001	1,000002	1,000003	1,000005	1,00001	
t_{max} , ч	173,44	102,78	77,08	52,36	26,18	
r_t	-0,846					

Из таблицы 4.4 видно, что при отрицательном смещении опорного сигнала $r_f = 0,921$, то есть имеет место положительная прямая взаимосвязь рассматриваемых значений, а при положительном смещении – отрицательная обратная взаимосвязь. В этом случае можно утверждать, что величина нестабильности периода опорного сигнала непосредственно связана с длительностью цикла спада (см. рисунок 4.5) так как значение коэффициента корреляции стремится к единице.

На рисунке 4.6 представлены зависимости измеренных и теоретически рассчитанных углов наклона прямых, аппроксимирующих графики сетевых задержек, к оси абсцисс от величины периода сигнала синхронизации.

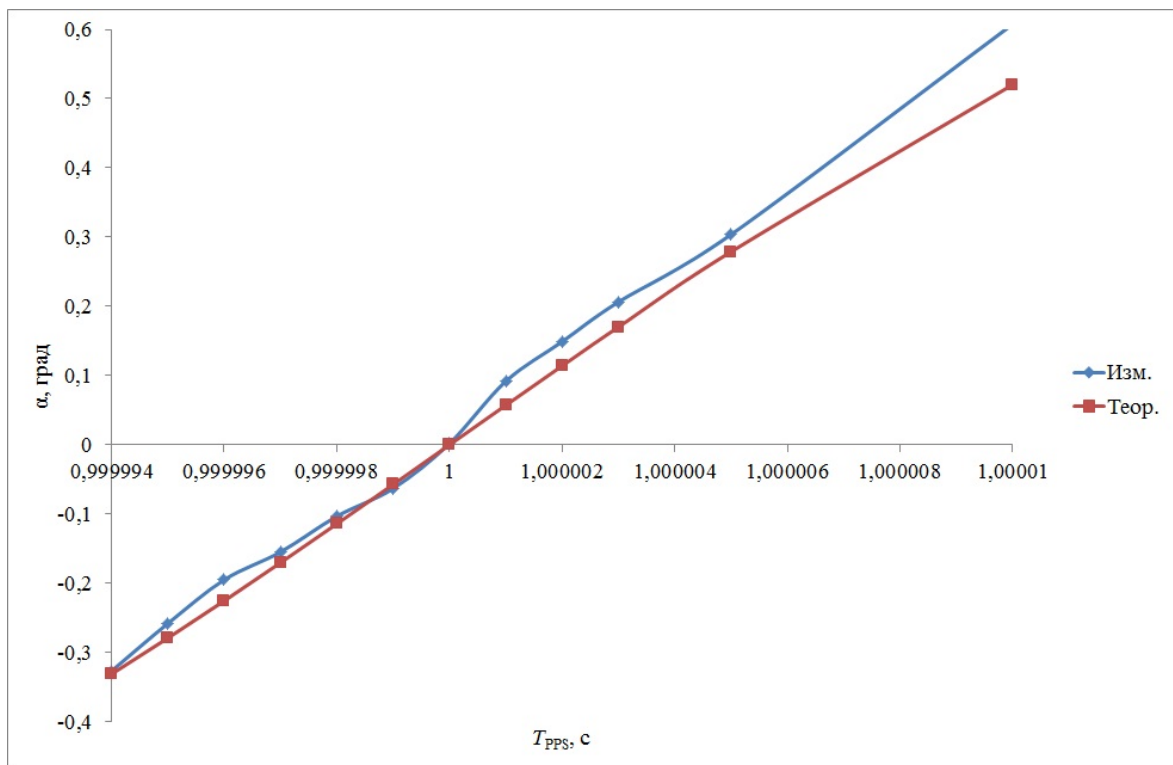


Рисунок 4.6 – Зависимости углов наклона прямых от величины периода сигнала синхронизации

Как видно из рисунка, график расчётных значений углов имеет линейный характер относительно номинального периода сигнала синхронизации. Это связано с тем, что расчёт произведён для идеального случая без учёта характеристик реального оборудования и влияний внешних факторов. Однако, на графике, полученном в результате обработки эмпирических данных, видно, что в отрицательной области углы наклона прямой к оси будут несколько меньше (по модулю), по сравнению с рассчитанными. В положительной области наоборот: теоретически рассчитанные углы будут несколько меньше, чем полученные эмпирически. Это возможно объяснить особенностями приёмного оборудования (аппаратного анализатора), который имеет ограничения на максимальные значения частотных отклонений CD и CFO.

4.1.3 Проверка гипотезы о типе распределения задержки

По полученным табулированным значениям сетевой задержки потока при различных отклонениях периода сигнала синхронизации был произведён расчёт статистических параметров по формулам (2.11, 2.12 и 2.13). Результаты расчёта сведены в таблицу 4.5.

Измеренные значения сетевой задержки могут рассматриваться как значения случайной величины в допустимых пределах. Поэтому можно выдвинуть гипотезу H_0 , которая будет утверждать, что «распределение сетевой задержки является нормальным». Также справедливо будет сформулировать альтернативную гипотезу H_1 – «распределение задержки не является нормальным». Для подтверждения или опровержения основной гипотезы необходимо выполнить проверку соответствия типа распределения с помощью правила «трёх сигм» и критерия хи-квадрат.

Правило «трёх сигм». Согласно данному правилу, если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина её отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного значения среднего квадратического отклонения. Для этого необходимо определить абсолютное отклонение по формуле:

$$|\delta| = \begin{cases} TNDTX_{max} - \overline{TNDTX} \\ |TNDTX_{min} - \overline{TNDTX}| \end{cases}$$

Результаты расчёта $|\delta|$ приведены в таблице 4.5.

В таблице 4.5 в графе «правило трёх сигм» представлены результаты вычисления абсолютного отклонения значений задержки от среднего значения, а также утроенного значения среднего квадратического отклонения. Согласно расчётам, при любом измерении максимальное абсолютное отклонение величины задержки от среднего не превышает $3 \cdot S_{кв.}$, поэтому правило «трёх сигм» выполняется, следовательно, есть основания полагать, что распределение величины сетевой задержки является нормальным.

Для нормального распределения вероятность того, что значения, принимаемые случайной величиной, находятся в интервале $[\alpha; \beta]$, определяется по формуле [55]:

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}}\right), \quad (4.5)$$

где Φ - функция Лапласа, табулированные значения которой приведены в справочных материалах по математической статистике.

Таблица 4.5 – Статистические параметры.

Период 1PPS	Кол- во изм.	Статистические параметры					
		среднее арифметическое, \overline{TNDTX} , мс	ошибка среднего арифметического, $TNDTX_m$	среднее квадратическое отклонение, $S_{кв.}$, мс	коэффициент вариации, V , %	правило «трёх сигм»	
						$ \delta $	$3 \cdot S_{кв.}$
0,999994	58	4,52475862	0,013884654	0,10574237	2,33697269	0,215241379	0,31722712
0,999995	60	5,84336667	0,011589104	0,08976881	1,53625156	0,193366667	0,269306435
0,999996	60	6,78926667	0,009522998	0,07376483	1,08649182	0,164266667	0,221294481
0,999997	60	7,60966667	0,008305184	0,06433168	0,84539418	0,140333333	0,192995038
0,999998	60	8,57568333	0,006715253	0,05201613	0,60655375	0,114316667	0,156048387
0,999999	58	9,51117672	0,005617678	0,04278296	0,44981773	0,103823276	0,128348878
1	60	997,707138	0,005715376	0,04427111	0,00443729	0,082138333	0,132813331
1,000001	59	4,87161017	0,006515549	0,05004688	1,02731702	0,103389831	0,150140641
1,000002	60	5,43241667	0,008055327	0,0623963	1,14859191	0,142416667	0,187188894
1,000003	59	5,97625424	0,009694684	0,07446628	1,24603607	0,166254237	0,22339885
1,000005	60	6,85375	0,013637055	0,10563218	1,54123183	0,25375	0,31689653
1,00001	60	19,2765	0,024551715	0,19017677	0,98657313	0,3565	0,570530306

Если в качестве интервала $[\alpha; \beta]$ принять $[-3 \cdot S_{\text{КВ.}}; 3 \cdot S_{\text{КВ.}}]$, то, согласно [55], вероятность нахождения в нём случайной величины составит 0,9973. То есть возникновение события вне границ данного интервала практически невозможно. Тогда для сравнения при всех рассматриваемых случаях принято:

$$\alpha = T_{\text{NDTXmin}}, \beta = T_{\text{NDTXmax}}, \text{ а также } \alpha = \overline{T_{\text{NDTX}}} - S_{\text{КВ.}} \text{ и } \beta = \overline{T_{\text{NDTX}}} + S_{\text{КВ.}} \text{ соответственно.}$$

Результаты расчёта вероятностей P_m и $P_{S_{\text{КВ.}}}$ для всех рассматриваемых отклонений периода опорного сигнала от номинального значения приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Вероятностные характеристики сетевой задержки на интервале измерения.

Период 1PPS	$\alpha = \overline{T_{\text{NDTX}}} - S_{\text{КВ.}}$	$\beta = \overline{T_{\text{NDTX}}} + S_{\text{КВ.}}$	$\Phi\left(\frac{\beta - \overline{T_{\text{NDTX}}}}{S_{\text{КВ.}}}\right)$	$\Phi\left(\frac{\alpha - \overline{T_{\text{NDTX}}}}{S_{\text{КВ.}}}\right)$	$P_{S_{\text{КВ.}}}(\alpha < x < \beta)$
0,999994	4,419	4,631	0,3413	-0,3413	0,6826
0,999995	5,754	5,933	0,3413	-0,3413	0,6826
0,999996	6,716	6,863	0,3413	-0,3413	0,6826
0,999997	7,545	7,674	0,3413	-0,3413	0,6826
0,999998	8,524	8,628	0,3413	-0,3413	0,6826
0,999999	9,468	9,554	0,3413	-0,3413	0,6826
1	997,663	997,751	0,3413	-0,3413	0,6826
1,000001	4,822	4,922	0,3413	-0,3413	0,6826
1,000002	5,370	5,495	0,3413	-0,3413	0,6826
1,000003	5,902	6,051	0,3413	-0,3413	0,6826
1,000005	6,748	6,959	0,3413	-0,3413	0,6826
1,00001	19,086	19,467	0,3413	-0,3413	0,6826
Период 1PPS	$\alpha = T_{\text{NDTXmin}}$	$\beta = T_{\text{NDTXmax}}$	$\Phi\left(\frac{\beta - \overline{T_{\text{NDTX}}}}{S_{\text{КВ.}}}\right)$	$\Phi\left(\frac{\alpha - \overline{T_{\text{NDTX}}}}{S_{\text{КВ.}}}\right)$	$P_m(\alpha < x < \beta)$
0,999994	4,325	4,740	0,4793	-0,4706	0,9499
0,999995	5,650	6,010	0,4686	-0,484	0,9526
0,999996	6,625	6,930	0,4713	-0,487	0,9583
0,999997	7,470	7,750	0,4854	-0,485	0,9704
0,999998	8,470	8,690	0,4861	-0,4787	0,9648
0,999999	9,420	9,615	0,4923	-0,484	0,9763
1	997,625	997,780	0,4505	-0,4686	0,9191
1,000001	4,770	4,975	0,4809	-0,4787	0,9596
1,000002	5,290	5,560	0,4793	-0,4887	0,968
1,000003	5,810	6,125	0,4772	-0,487	0,9642
1,000005	6,600	7,050	0,4713	-0,4803	0,9516
1,00001	18,920	19,610	0,4599	-0,4693	0,9292

По данным таблицы 4.6 можно сделать вывод о том, что вероятность нахождения величины сетевой задержки в интервале $[T_{\text{NDTXmin}}; T_{\text{NDTXmax}}]$ при любом рассматриваемом значении T_{PPS} будет ниже, чем в интервале $[-3 \cdot S_{\text{КВ.}}; 3 \cdot S_{\text{КВ.}}]$ и выше, чем в интервале $[\overline{T_{\text{NDTX}}} - S_{\text{КВ.}}; \overline{T_{\text{NDTX}}} + S_{\text{КВ.}}]$.

Критерий хи-квадрат. Правило «трёх сигм» является безусловным общим методом проверки принадлежности распределения некоторой величины к нормальному закону. Однако, в целях подтверждения характера распределения также может использоваться и критерий хи-квадрат. Для подтверждения или опровержения гипотезы о нормальном характере распределения величины сетевой задержки на интервале измерения необходимо выполнить следующие действия:

- в качестве вариационного ряда использовать результаты измерений сетевой задержки на интервале одна минута, полученные в результате сортировки грубых погрешностей;
- разбить вариационный ряд на интервалы;
- определить исправленное выборочное среднее квадратическое отклонение;
- определить степень свободы и рассматриваемый уровень значимости;
- рассчитать статистику хи-квадрат по теореме Пирсона-Фишера;
- дать оценку полученным результатам.

Расчёт критерия хи-квадрат для случая $TPPS = 0,999994$ с.

Результаты измерения сетевой задержки для случая $TPPS = 0,999994$ с отсортированы от наименьшего значения к наибольшему, также определено количество одинаковых полученных результатов измерений, таким образом, сформированы исходные данные для критерия хи-квадрат. Полученный ряд представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Отсортированный исходный ряд.

$TNDTX$	Кол-во значений	$TNDTX$	Кол-во значений	$TNDTX$	Кол-во значений	$TNDTX$	Кол-во значений
4,325	1	4,43	1	4,55	3	4,625	2
4,34	2	4,46	4	4,56	1	4,64	1
4,345	1	4,475	2	4,57	1	4,65	3
4,35	1	4,49	2	4,575	3	4,66	1
4,36	1	4,5	2	4,579	1	4,67	1
4,375	1	4,505	1	4,58	1	4,72	1
4,4	2	4,51	1	4,59	1	4,725	1
4,41	2	4,525	3	4,6	3	4,74	1
4,42	1	4,548	1	4,61	1		
4,425	1	4,549	1	4,62	1		
Общее количество значений							58

Необходимо отметить, что общее количество всех значений составляет пятьдесят восемь, так как результаты измерения, производившегося в течение шестидесяти секунд, были подвергнуты отсеву грубых погрешностей с использованием критерия Стьюдента.

В [56] приведены несколько способов определения длины и количества интервалов, на которые будет разбит вариационный ряд. Рекомендовано:

$$1) h = \frac{TNDTX_{max} - TNDTX_{min}}{(1 + 3,322 \cdot \log(n))}, \text{ при этом } K = 1 + 3,322 \cdot \log(n),$$

где n - общее количество значений выборки.

В данном случае получится, что $K = 1 + 3,322 \cdot \log(58) = 6,9$.

2) осуществлять выбор количества интервалов исходя из неравенства

$$10 \leq K \leq 20.$$

3) определять количество исходя из условия:

$$6 \leq K \leq 20, \text{ при этом } K \leq 5 \cdot \log(n). \text{ То есть в данном случае } K \leq 5 \cdot \log(60); K \leq 8,8.$$

4) выбирать K из интервала $[15;20]$, если $n \geq 80$.

Воспользовавшись условиями 2) и 4) было принято, что предварительное число интервалов составит: $K = 12$.

Тогда длина определится по формуле:

$$h = \frac{TNDTX_{max} - TNDTX_{min}}{K} = 0,035.$$

Тогда нижняя граница первого интервала вариационного ряда определится:

$$a_j^* = TNDTX_{min} - \frac{h}{2} = 4,325 - \frac{0,035}{2} = 4,308.$$

Каждая следующая граница интервала будет определяться соответственно:

$$a_{j+1}^* = a_j^* + h.$$

Полученные границы интервалов, а также количество значений измеренной величины n_j^* , входящее в соответствующий интервал, представлены в таблице 4.8.

Далее необходимо объединить некоторые интервалы так, чтобы каждый новый интервал содержал не менее пяти значений, согласно [56]. Для этого объединены интервалы с первого по четвёртый и с десятого по двенадцатый. Подправленный интервальный ряд с количеством содержащихся значений в каждом также представлен в таблице 4.8.

Ранее по формуле (2.11) было определено среднее квадратическое отклонение $S_{кв.}$, результат расчёта которого представлен в таблице 4.5. Исправленное среднее квадратическое отклонение рассматриваемого ряда определяется по той же формуле, но для количества значений, равном $n-1$. Результат расчёта показан в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999994$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^2
4,3077	4,3423	3	4,30771	4,376875	7	0,105742	0,106682	-0,4177	-0,4987	0,081	1,12797
4,3423	4,3769	4	4,3768	4,480625	13			-0,1591	-0,4177	0,2586	0,266368
4,3769	4,4115	4	4,48062	4,549792	11			0,092	-0,1591	0,2511	0,872071
4,4115	4,4460	7	4,54979	4,618958	15			0,3106	0,092	0,2186	0,424959
4,4460	4,4806	2	4,6189	4,757292	12			0,4854	0,3106	0,1748	0,341825
4,4806	4,5152	6									
4,5152	4,5498	5									
4,5498	4,5844	10									
4,5844	4,6190	5									
4,6190	4,6535	7									
4,6535	4,6881	2									
4,6881	4,7227	1									
4,7227	4,7573	2									
Сумма:		58	Сумма:		58	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					3,033193

Степень свободы для статистики хи-квадрат определится:

$$r = K - 1 - r_n,$$

где r_n - количество определяемых параметров – в случае нормального распределения $r_n = 2$,

K - количество интервалов после объединения.

Тогда $r = 5 - 1 - 2 = 2$.

Для рассчитанной степени свободы существует максимальная критическая точка, значение которой зависит от требуемого уровня значимости β . В таблице 4.9 ниже приведены значения критических точек для степени свободы, равной четырём.

Таблица 4.9 – Значения критических точек для хи-квадрат при $r = 2$.

Уровень значимости	0,99	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Критическая точка	0,020101	0,210721	0,446287	0,71335	1,021651	1,386294
Уровень значимости	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01
Критическая точка	1,832581	2,407946	3,218876	4,60517	5,991465	9,21034

Данные значения могут быть получены как из справочной литературы, так и путём расчёта с помощью функции «ХИ2ОБР» программной среды MS Excel. Как правило, в качестве критерия оценки задаётся низкий уровень значимости, равный $\beta = 0,01$ или $\beta = 0,001$. Для данного случая принято $\beta = 0,01$, физический смысл которого будет описан далее. Тогда при выбранном уровне значимости $\chi^{2+} = 9,21$.

Вероятность нахождения значения в заданном интервале определяется с помощью функции Лапласа (формула (4.5)):

$$P_j = \Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{КВ.*}}\right) - \Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{КВ.*}}\right).$$

Результат расчёта вероятности для каждого интервала также приведён в таблице 4.8.

Общее значение статистики хи-квадрат определяется по формуле [56]:

$$\chi^{2+} = \sum_{j=1}^K \frac{(n_j - n \cdot P_j)^2}{n \cdot P_j},$$

где n - общее количество измеренных значений.

Для удобства расчёта в таблице 4.8 приведены результаты вычисления каждого слагаемого статистики $\frac{(n_j - n \cdot P_j)^2}{n \cdot P_j}$ в отдельности.

Суммарное значение хи-квадрат в данном случае составило $\chi^{2+} = 3,033$, что меньше чем критическое значение статистики для уровня значимости 0,01, при котором $\chi^{2+} = 9,21$.

Физический смысл выполненных расчётов состоит в следующем:

- суммарное значение статистики хи-квадрат, которое для случая $TPPS = 0,999994$ с составило $\chi^{2+} = 3,033$, зависит от многих факторов, в частности от выбранного количества интервалов и способа их объединения. В случае использования других параметров или способов группировки величина статистики будет меняться. Если рассчитанная величина хи-квадрат имеет меньшее значение, чем критическое значение распределения для заданного уровня значимости, то в этом случае гипотеза о том, что исследуемая случайная величина (вариационный ряд) имеет нормальное распределение, не может быть опровергнута. В обратном случае такая гипотеза не может быть принята [56]. То есть если рассчитанная величина хи-квадрат больше заданной критической точки и принадлежит интервалу $[\chi^{2+}; \infty]$, то она попадает в недопустимую критическую область, которая представлена на рисунке 4.7 (график типового распределения хи-квадрат для общего случая) в виде заштрихованного участка распределения. Тогда исследуемый ряд не может иметь отношение к нормальному распределению;

- уровень значимости β определяет размер области критических значений, то есть площадь заштрихованной части графика на рисунке 4.7 равна β ;

- согласно [56], правильная гипотеза может быть ошибочно опровергнута в $\beta \cdot 100\%$ случаях поэтому уровень значимости выбирается минимально возможным. В данном случае верная гипотеза отвергается в $0,01 \cdot 100 = 1\%$ случаев;

- рассчитанная величина хи-квадрат меньше критического значения и она соответствует уровню значимости $\beta = 0,21$. Поэтому гипотеза о том, что величина сетевой задержки для случая $TPPS = 0,999994$ с имеет нормальное распределение, не противоречит опытным данным при уровне значимости $\beta = 0,21$ и менее.

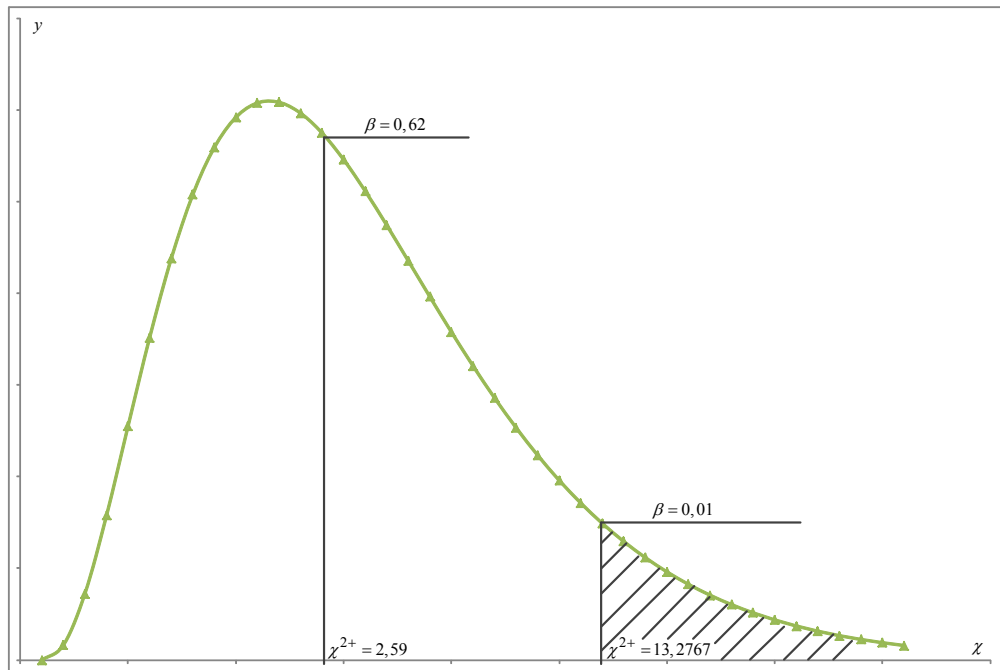


Рисунок 4.7 – Схематичное определение физического смысла результатов расчёта статистики

В приложении Г представлены результаты расчёта статистики хи-квадрат для каждого измеренного случая (таблицы Г.1 – Г.11). В таблице ниже приведены сводные данные по результатам расчёта.

Таблица 4.10 – Сводные расчётные данные по статистики хи-квадрат.

Вариационный ряд	χ^{2+} расчётное	χ^{2+} критическое	β расчётное	β критическое	Степень свободы r_n
$TPPS = 0,999994$ с	3,033	9,21	0,21	0,01	2
$TPPS = 0,999995$ с	10,005	11,34	0,015		3
$TPPS = 0,999996$ с	2,512	16,812	0,86		6
$TPPS = 0,999997$ с	3,028	11,34	0,38		3
$TPPS = 0,999998$ с	4,163	13,28	0,38		4
$TPPS = 0,999999$ с	4,067	13,28	0,4		4
$TPPS = 1,0$ с	7,67	15,086	0,17		5
$TPPS = 1,000001$ с	0,988	11,34	0,8		3
$TPPS = 1,000002$ с	1,674	15,086	0,89		5
$TPPS = 1,000003$ с	3,67	11,34	0,29		3
$TPPS = 1,000005$ с	3,4705	11,34	0,32		3
$TPPS = 1,00001$ с	10,378	18,475	0,16		7

Как видно из таблицы 4.10, ни в одном рассчитанном случае не происходит превышения критического значения хи-квадрат для соответствующей степени свободы. В связи с этим гипотезу о нормальном распределении величины сетевой задержки на участке измерения нельзя отвергать при выбранном уровне значимости.

Сопутствующие расчётные параметры сетевой задержки. По данным, приведённым в таблице 4.2, построен график дисперсии, представленный на рисунке 4.8.

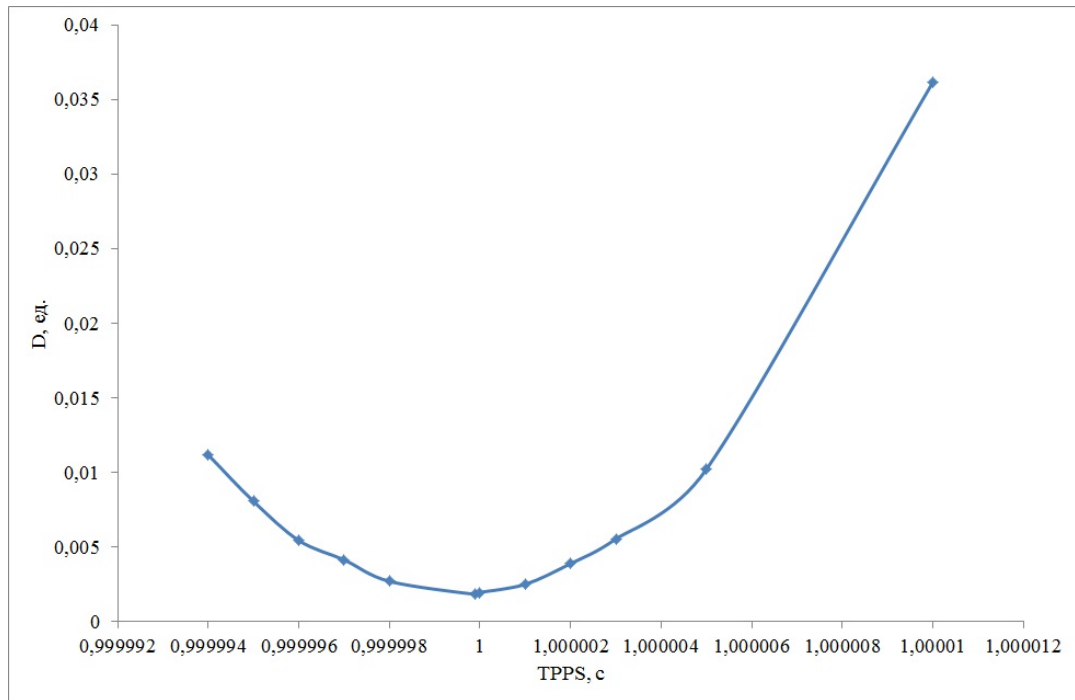


Рисунок 4.8 – Дисперсия сетевой задержки

Физический смысл дисперсии как меры отклонения величины сетевой задержки от её математического ожидания (среднего арифметического) в данном случае состоит в том, что с увеличением отклонения периода опорного сигнала в положительную или отрицательную область разброс значений относительно среднего увеличивается, а, значит, увеличивается и разность максимального и минимального значений задержки за рассматриваемый период.

По данным таблицы 4.5 построен график коэффициента вариации – меры относительного разброса величины (рисунок 4.9).

Коэффициент вариации в данном случае показывает величину процента среднего значения, которую составляет его средний разброс. Поскольку коэффициент вариации не превышает 10 процентов для рассматриваемых случаев, то такая выборка значений является однородной. При использовании опорного сигнала от высокостабильного источника величина коэффициента вариации на два порядка ниже, чем для всех прочих случаев, поэтому в дальнейшем её можно принимать за нулевое значение.

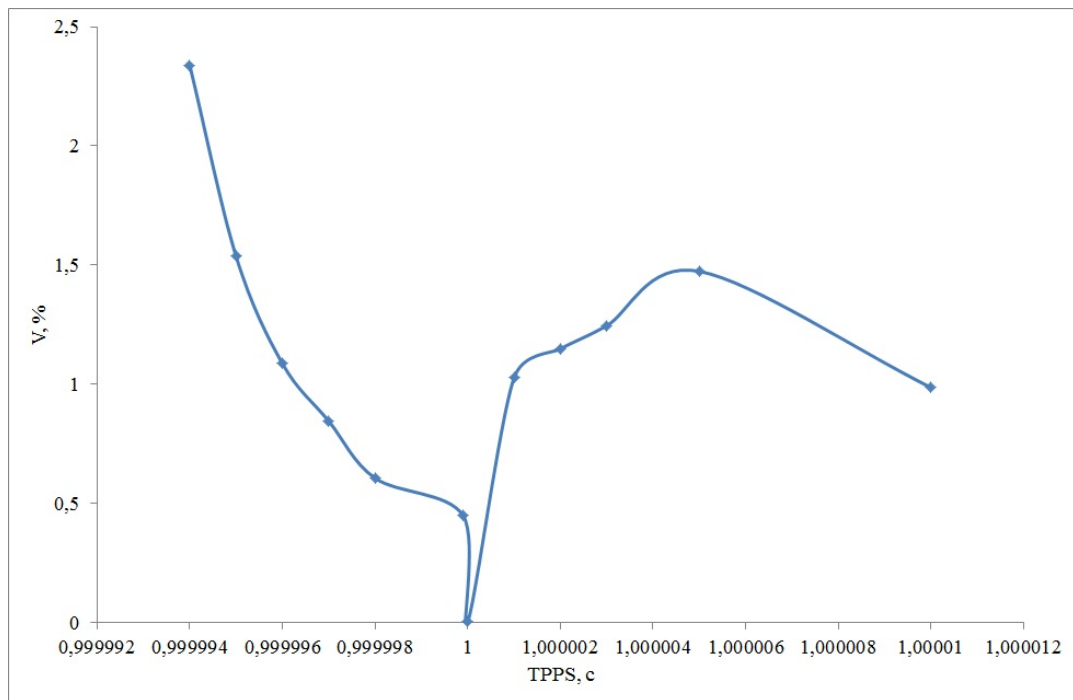


Рисунок 4.9 – График коэффициента вариации

В таблице 4.5 представлены статистические параметры, вычисленные на основе табулированных значений задержки потока. Различные значения в графе «среднее арифметическое», а также разные величины задержки, полученные в результате эксперимента, объясняются с помощью рисунка 4.2. Участком CN является участок зависимости, определённый за время наблюдения, то есть за одну минуту, при этом в качестве $TNDX_{изм}$ принимается максимальное значение рассматриваемого интервала. Поскольку задержка имеет пилообразный характер, а также в связи с тем, что измерения происходят последовательно, то с течением времени максимальная средняя величина меняется. Поэтому среднее арифметическое определено лишь для участка измерения на рассматриваемом интервале.

Ошибка средней арифметической определяется математически как отношение стандартного отклонения к корню квадратному из объёма выборки. Физически, ошибка средней характеризует колебания среднего значения и растёт с увеличением отклонения периода синхросигнала от номинального значения по модулю. Значения коэффициента вариации, представленные в таблице 4.5 и на графике 4.8, также увеличиваются с ростом отклонения периода сигнала синхронизации. Поскольку коэффициент вариации определяется по формуле (2.13) и его значение обратно пропорционально среднему арифметическому задержки на участке рассмотрения, то при $Tpps = 1,00001$ с, его величина составит 0,99 процента, что меньше, чем при более незначительном отклонении периода. Это объясняется тем, что на данном интервале среднее арифметическое значение задержки как минимум в два раза превышает остальные рассматриваемые случаи нестабильности.

Параметры CFO и CD. Двумя основными параметрами, характерными для конкретного используемого устройства, позволяющими также косвенно оценить отклонение внешнего опорного сигнала синхронизации, являются величина текущего дрефта - current drift (CD) и величина текущего отклонения частоты - current frequency offset (CFO). Величина текущего дрефта показывает значение скомпенсированного частотного сдвига между внешним и внутренним источником опорного сигнала, а параметр текущего сдвига частоты – значение скомпенсированного частотного сдвига между внешним и внутренним опорным сигналом относительно 27 МГц. Поэтому в случае нарушения стабильности внешнего опорного сигнала величина сдвига будет изменяться. Величина текущего дрефта измеряется в миллионных долях (ppm – pulse per million), а текущего сдвига частоты в Герцах. В ходе эксперимента при изменении периода внешнего сигнала 1PPS были зафиксированы установившиеся значения сдвига частоты и дрефта, показания которых представлены в таблице 3.1. По полученным данным построен график зависимости величины текущего отклонения частоты от периода опорного сигнала, представленный на рисунке 4.10.

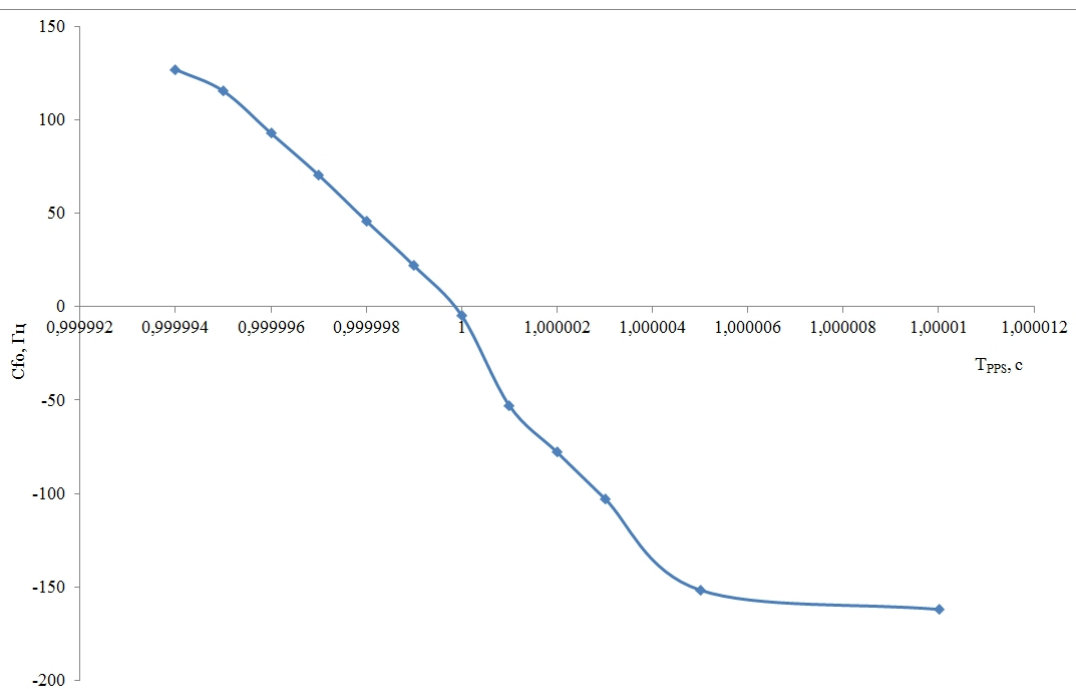


Рисунок 4.10 – График зависимости CFO от T_{PPS}

Как видно из рисунка 4.10, с увеличением отклонения периода опорного сигнала увеличивается и частотный сдвиг в положительную или отрицательную стороны. Исходя из табулированных значений параметров, полученных в результате измерения, видно, что при работе устройства от внешнего высокостабильного сигнала PPS, полученного от спутникового приёмника навигационных систем, текущее смещение частоты составляет -4,741 Гц. Данный факт говорит о том, что стабильность опорного сигнала, формируемого внутренним

генератором, будет ниже, чем стабильность PPS от приёмника GPS/ГЛОНАСС. С увеличением принудительного отклонения периода отклонение частот, соответственно, будет расти.

Величина текущего дрейфа CD определяется по формуле:

$$CD = \frac{CFO}{27 \cdot 10^6}$$

Следовательно, CD имеет прямо пропорциональную зависимость относительно физического частотного смещения.

4.1.4 Расчёт доверительного интервала для математического ожидания

Поскольку ранее было обосновано, что величина сетевой задержки на интервале измерения имеет нормальное распределение, то возможно вычислить доверительный интервал, который с заданной вероятностью накроет значение математического ожидания. В качестве доверительной вероятности принято $\nu = 0,1$, тогда границы доверительного интервала определяются по формуле [54]:

$$\alpha = \overline{T_{NDTX}} - Z_{1-\nu/2} \cdot \frac{S_{\text{КВ.}}}{\sqrt{n}} < M_x < \overline{T_{NDTX}} + Z_{1-\nu/2} \cdot \frac{S_{\text{КВ.}}}{\sqrt{n}} = \beta,$$

где $\overline{T_{NDTX}}$ - среднее арифметическое значение задержки для каждого варианта измерений;

M_x - математическое ожидание;

$Z_{1-\nu/2}$ - квантиль нормированного распределения.

Тогда квантиль распределения при $\nu = 0,1$ определится как $Z_{0,95}$ и его табличное нормированное значение, согласно [54], составит 1,645. Результаты расчёта границ доверительного интервала приведены в таблице 4.11. Кроме того, по формуле (4.5) произведён расчёт вероятности нахождения случайной величины в границах доверительного интервала.

Согласно таблице 4.11, около 17 процентов значений задержки попадают в границы доверительного интервала для математического ожидания при любом варианте измерений. Величина математического ожидания на интервале измерения и на более длительном временном отрезке должна находиться в рассчитанных доверительных границах.

Таблица 4.11 – Результаты расчёта границ доверительного интервала.

Период 1PPS	$\alpha = T_{NDTX_{н.г.}}$	$\beta = T_{NDTX_{в.г.}}$	$\Phi\left(\frac{\beta - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}}\right)$	$\Phi\left(\frac{\alpha - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}}\right)$	$P_{д.и.}(\alpha < x < \beta)$
0,999994	4,502	4,548	0,0871	-0,0871	0,1742
0,999995	5,824	5,862	0,0832	-0,0832	0,1664
0,999996	6,774	6,805	0,0832	-0,0832	0,1664
0,999997	7,596	7,623	0,0832	-0,0832	0,1664
0,999998	8,565	8,587	0,0832	-0,0832	0,1664
0,999999	9,502	9,520	0,0871	-0,0871	0,1742
1	997,698	997,717	0,0832	-0,0832	0,1664
1,000001	4,861	4,882	0,0832	-0,0832	0,1664
1,000002	5,419	5,446	0,0832	-0,0832	0,1664
1,000003	5,960	5,992	0,0832	-0,0832	0,1664
1,000005	6,831	6,876	0,0832	-0,0832	0,1664
1,00001	19,236	19,317	0,0832	-0,0832	0,1664

4.1.5 Расчёт доверительного интервала для дисперсии

Расчёт границ доверительного интервала для дисперсии производится по формуле:

$$D_{н.г.} = S_{кв.}^2 \cdot \frac{n-1}{\chi_{p1}^2} < D < S_{кв.}^2 \cdot \frac{n-1}{\chi_{p2}^2} = D_{в.г.},$$

где χ_{p1}^2 - значение параметра хи-квадрат при доверительной вероятности $P1=\nu/2$;

χ_{p2}^2 - значение параметра хи-квадрат при доверительной вероятности $P2=1-\nu/2$;

$D_{н.г.}$ и $D_{в.г.}$ - нижняя и верхняя границы доверительного интервала соответственно.

Вероятность ν также принята равной 0,1 согласно рекомендации в [54]. Тогда $P1=0,05$, $P2=0,95$. Расчёт параметров хи-квадрат производится с помощью функции «=ХИ2ОБР($P;n-1$)» программных средств MS Excel. Результаты расчётов представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты расчёта границ доверительного интервала.

Период 1PPS	Кол-во изм., n	Хи-квадрат, $\chi_{0,05}^2$	Хи- квадрат, $\chi_{0,95}^2$	Нижняя граница, $D_{н.г.}$	Верхняя граница, $D_{в.г.}$	Дисперсия, D
1	2	3	4	5	6	7
0,999994	58	75,6237	40,6459	0,0084	0,0157	0,0112
0,999995	60	77,9305	42,3393	0,0061	0,0112	0,0081
0,999996	60	77,9305	42,3393	0,0041	0,0076	0,0054
0,999997	60	77,9305	42,3393	0,0031	0,0058	0,0041
0,999998	60	77,9305	42,3393	0,0020	0,0038	0,0027

Продолжение таблицы 4.12.

1	2	3	4	5	6	7
0,9999999	58	75,6237	40,6459	0,0014	0,0026	0,0018
1	60	77,9305	42,3393	0,0015	0,0027	0,0020
1,000001	59	76,7778	41,4920	0,0019	0,0035	0,0025
1,000002	60	77,9305	42,3393	0,0029	0,0054	0,0039
1,000003	59	76,7778	41,4920	0,0042	0,0078	0,0055
1,000005	60	77,9305	42,3393	0,0084	0,0155	0,0112
1,00001	60	77,9305	42,3393	0,0274	0,0504	0,0362

Таким образом, величина дисперсии сетевой задержки не только на интервале измерения, но и за его пределами должна находиться в границах рассчитанного интервала.

Выводы. Аппроксимация табулированных значений Network Delay, полученных в результате проведения первой части эксперимента, доказывает линейный характер изменения величины сетевой задержки с течением времени, а также общий пилообразный характер за длительный период рассмотрения. Поскольку формула (2.10) объясняет математический способ определения величины задержки с использованием относительной синхронизации при априори известном требуемом времени излучения (значение в поле Subseconds), то пилообразный характер задержки объясняется наличием некорректного опорного сигнала синхронизации, относительно которого определяются время приёма и излучения очередного суперкадра. Таким образом, через некоторое время величина $TNDTX$ станет равной нулю, то есть, фактически, произойдёт перенос момента излучения в следующую секунду. В таблице 4.3, а также на рисунке 4.4, очевидна следующая зависимость: с ростом угла наклона прямой к оси времени уменьшается время цикла спада. Физически это означает, что с увеличением отклонения периода сигнала синхронизации от номинального значения, растёт частота переноса времени излучения в следующую секунду, что подтвердилось в результате расчёта коэффициента корреляции. В зависимости от режима работы и особенностей используемого передающего оборудования, это приводит к более частым срывам синхронизации потока и невозможности вещания контента.

Анализ табулированных значений величины сетевой задержки показал, что данный параметр подчиняется нормальному закону распределения.

Проведённый эксперимент и результаты анализа полученных данных позволяют установить полное соответствие задаче, поставленной в разделе 2.4.

4.2 Анализ результатов исследования режима работы инсёртера

Технология вставки локального контента определена технической спецификацией [6] и позволяет организовать систему замещения части федерального информационного потока мультиплекса локальным. В работе [57] схематично рассмотрен процесс замещения контента на уровне пакетов T2-MI. Практически данная технология может быть реализована аппаратно, например, согласно патенту [20], в котором прописаны основные функции структурно-логических элементов схемного построения. Аппаратно-программный комплекс в виде готового устройства, используемого для эксплуатации на сети цифрового телерадиовещания, может быть реализован по-разному в зависимости от производителя. Устройство, с помощью которого был проведён эксперимент, производства отечественного предприятия НПП «Триада ТВ», обладающее подробным web-интерфейсом, с помощью которого настраиваются основные параметры замещения каналов физического уровня. При вставке контента осуществляется ряд сложных операций по идентификации, фильтрации и замещению, которые технически могут быть реализуемы с применением компьютерно-математических средств. В данной работе принято решение рассматривать инсёртер со всеми происходящими в нём операциями как модель системного анализа по принципу «чёрного ящика». Это обусловлено прежде всего тем, что в настоящем исследовании приоритетным является анализ потоков до и после замещения, а не внутреннего устройства оборудования.

Данный эксперимент был выполнен с использованием устройства вставки локального контента согласно схеме на рисунке 2.9. Поскольку устройство TTV-PLPSW-0401 имеет собственный встроенный приёмник ГЛОНАСС/GPS, что указано в руководстве по эксплуатации оборудования, то опорный сигнал синхронизации поступает на модуль замещения от него при условии захвата приёмником сигнала минимум от четырёх спутников. После успешного захвата опорный сигнал с приёмника поступает на модуль замещения, при этом инсёртер выдаёт сообщение о проведении корректной фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и о наличии опорного сигнала 1 PPS. Выдаваемые инсёртером сообщения зависят от конструкции аппаратной части конкретного устройства, а также от используемого программного обеспечения. Исследуемые в данной работе инсёртеры TTV-PLPSW-0401 производства НПП «ТриадаТВ» являются примером технической реализации устройства замещения контента, доступным в настоящее время для проведения эксперимента, поэтому аппаратно-программная часть конкретного устройства не рассматривается.

В случае если захвата сигнала с навигационных спутников не произошло, то приёмник GPS/ГЛОНАСС не выдаёт опорного сигнала, что означает отсутствие возможности корректной

синхронизации потоков. При этом TTV-PLPSW-0401 формирует аварийное сообщение об отсутствии возможности коррекции ФАПЧ. Снимок экрана компьютера с web-интерфейсом устройства замещения в этом случае представлен на рисунке В.1 Приложения В.

В ходе первой части эксперимента на устройство замещения был подан корректный сигнал синхронизации от приёмника навигационных систем, согласно схеме на рисунке 2.9. Инсёртер был настроен на работу с опорным сигналом, поступающим от приёмника навигационных систем, а также в режиме замещения двух каналов физического уровня из трёх, согласно таблице 2.12. При нормальной работе устройства в течение длительного наблюдения срывов синхронизации не наблюдалось, аварийные сообщения на подключённом анализаторе Nevion TNS-546 отсутствовали.

В ходе второй части эксперимента устройство замещения было перенастроено на синхронизацию от внешнего стороннего источника сигнала 1 PPS, что видно на скриншоте рисунка Г.2, при этом приём спутникового сигнала встроенным навигационным приёмником не осуществляется, что представлено на рисунке Г.3. Далее устройство было перезапущено путём физического отключения и повторной подачи напряжения на блок питания, а также отключения внешнего источника опорного сигнала. В этом случае на модуль замещения контента инсёртера сигнал 1PPS не поступает; устройство формирует аварийные сообщения об отсутствии возможности корректной работы фазовой автоподстройки частоты (рисунок Г.1), а также об отсутствии опорного сигнала. Далее происходит срыв синхронизации, при котором инсёртер формирует сообщения о невозможности замещения контента, при этом в журнале событий аппаратного анализатора потока, к входу которого подключено устройство замещения согласно схеме 2.9, периодически формируются аварийные сообщения, представленные на рисунке Г.4 снимка экрана компьютера с интерфейсом Nevion. Измерительный прибор позволяет экспортировать журнал событий на компьютер в виде текстового файла, что удобно для дальнейшего анализа характера сообщений. В таблице 4.13 представлен журнал событий анализатора, преобразованный из текстового файла, за интервал времени измерений, равный шести минутам.

Таблица 4.13 – Журнал событий анализатора TNS-546.

Начало события	Окончание события	Статус	Тип события	Источник	Примечания
1	2	3	4	5	6
14:51:15	14:51:17	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:51:02	14:51:04	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:50:51	14:50:53	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:50:29	14:50:51	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:50:29	14:50:51	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:50:19	14:50:22	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	

Продолжение таблицы 4.13

1	2	3	4	5	6
14:50:18	14:50:24	Warning	«No T2-MI stream»	ASI 4 [test]	«No T2-MI stream found on PID 4096»
14:50:04	14:50:18	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:50:03	14:50:18	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:49:53	14:49:58	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:49:41	14:49:46	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:49:32	14:49:37	Minor	«TS unstable»	ASI 4 [test]	«PIDs: 6 new, 0 gone, 7 total, 0 CC errors.»
14:49:31	14:49:32	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:49:20	14:49:30	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:49:19	14:49:30	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:49:17	14:49:19	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:49:05	14:49:08	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:53	14:48:55	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:42	14:48:44	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:34	14:48:42	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:31	14:48:42	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:48:27	14:48:29	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:16	14:48:18	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:48:05	14:48:08	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:47:54	14:47:59	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:47:42	14:47:45	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:47:31	14:47:42	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:47:31	14:47:42	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:46:49	14:47:24	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:49	14:47:23	Major	«Sync unstable»	ASI 4 [test]	
14:46:38	14:46:40	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:30	14:46:31	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:23	14:46:27	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:19	14:46:19	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:11	14:46:12	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:46:03	14:46:08	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	
14:45:58	14:45:59	Critical	«No sync»	ASI 4 [test]	

В таблице 4.13 графа «Начало события» обозначает момент времени, в который анализатор зафиксировал наличие того или иного события. Каждое сообщение аварийного или информационного характера различного приоритета может считаться существующим, если возникает нарушение нормальной трансляции потока в течение определённого времени, указанного в п. 5 рекомендации ETSI TR 101290 [26]. Например, для индикации потери синхронизации потока (TS synch loss), необходимо, чтобы синхробайт, с которого начинается каждый пакет инкапсулированного MPEG-2 TS потока, отсутствовал в течение двух и более пакетов подряд. В этом случае оборудование, на вход которого поступают такие информационные данные, определяет отсутствие синхронизации входного потока, что является

ошибкой первого приоритета, согласно [26]. Для других случаев нарушения нормальной трансляции в [26] также приведены соответствующие временные или количественные границы.

Графа «Окончание события» определяет момент времени, в который анализирующее устройство формирует сообщение о восстановлении корректной трансляции информационных данных. Согласно рассматриваемому примеру, чтобы оборудование, принимающее поток (T2-MI или TS), определило момент восстановления работы необходимо наличие корректного синхробайта как минимум в пяти пакетах MPEG-2 TS подряд. В этом случае событие потери синхронизации может считаться окончанным.

Графы «Статус» и «Тип события» поясняют для пользователя степень важности события, отмеченного в журнале, и его краткое содержание. Степень важности события обычно настраивается отдельно в параметрах оборудования и носит, прежде всего, информационный характер с целью более оперативной локализации возникшей проблемы как пользователем, так и другим используемым оборудованием. Краткое содержание события позволяет также быстро определить суть возникшей проблемы.

Графа «Источник» указывает на наименование физического интерфейса, используемого в конкретном анализаторе для мониторинга рассматриваемого потока, а в графе «Примечание» в некоторых случаях формируется несколько более развёрнутое пояснение произошедшего события, что связано прежде всего с характеристиками программного обеспечения используемого устройства.

В таблице журнала событий за время записи лог файла присутствуют сообщения критического характера и предупреждения. Сообщения критического характера содержат информацию о возникновении аварии первого приоритета, в частности потери синхронизации потока («No sync»). События «Sync unstable» имеют категорию важных сообщений и определяют нестабильную синхронизацию исследуемого потока. Устройство формирует такое событие при регулярном пропадании и восстановлении синхронизации информационных данных. Событие «TS unstable» сообщает о нестабильной трансляции транспортного потока при восстановившейся синхронизации, что может приводить к ошибочной индикации составляющих потока, которых физически может не существовать вовсе. Например, возникновение случайных неиспользуемых данных (Unreferenced PIDs), которые исчезают после восстановления стабильности потока. Предупреждение «No T2-MI stream» сообщает в данной ситуации о том, что в процессе восстановления синхронизации потока на входе анализатора на некоторое время было потеряно составляющее потока с идентификатором, транслирующим данные T2-MI.

Все рассмотренные аварии, кроме критической «No sync», являются следствием потери синхронизации потока и как самостоятельные события в рассматриваемой ситуации не

существуют. В связи с этим, для анализа цикличности событий все сообщения, кроме критических, могут быть временно убраны из рассматриваемого диапазона. В этом случае длительность интервалов ΔT_i между критическими событиями рассчитана и приведена в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Интервалы наступления событий.

Начало события	Интервал наступления события, ΔT_i , с	Начало события	Интервал наступления события, ΔT_i , с	Начало события	Интервал наступления события, ΔT_i , с
14:51:15	0:00:13	14:49:17	0:00:12	14:47:31	0:00:42
14:51:02	0:00:11	14:49:05	0:00:12	14:46:49	0:00:11
14:50:51	0:00:22	14:48:53	0:00:11	14:46:38	0:00:08
14:50:29	0:00:10	14:48:42	0:00:08	14:46:30	0:00:07
14:50:19	0:00:15	14:48:34	0:00:07	14:46:23	0:00:04
14:50:04	0:00:11	14:48:27	0:00:11	14:46:19	0:00:08
14:49:53	0:00:12	14:48:16	0:00:11	14:46:11	0:00:08
14:49:41	0:00:10	14:48:05	0:00:11	14:46:03	0:00:05
14:49:31	0:00:11	14:47:54	0:00:12	14:45:58	
14:49:20	0:00:03	14:47:42	0:00:11		
Средний интервал				0:00:11	

На основании данных таблицы 4.14 построен график цикличности аварий, представленный на рисунке 4.11.

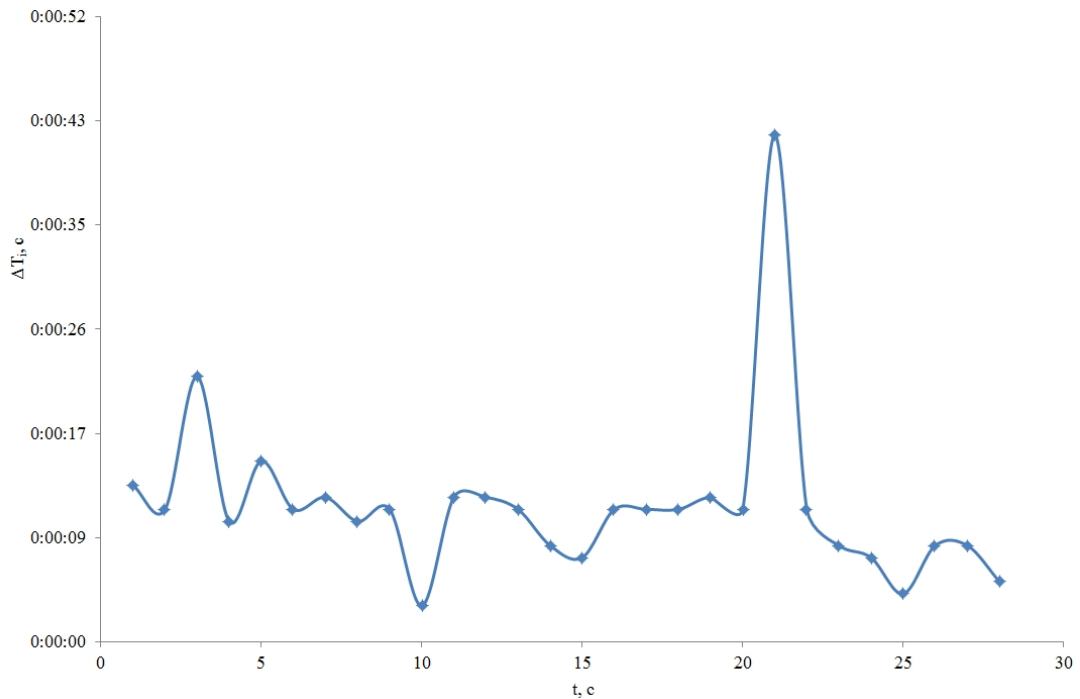


Рисунок 4.11 – Интервалы между критическими событиями согласно журналу анализатора.

Из рисунка 4.11 видно, что средний интервал между наступлением критических аварий, характеризующих потерю синхронизации потока, поступающего от устройства врезки на анализатор TNS-546, варьируется относительно одиннадцати секунд. То есть в среднем, через каждые 11 секунд на устройстве вставки контента происходит сбой замещения потоков, связанный с отсутствием на соответствующем входе оборудования опорного сигнала синхронизации.

По результатам эксперимента и моделирования сформирована блок-схема, представленная на рисунке 4.12 и описывающая основные логические этапы замещения контента.

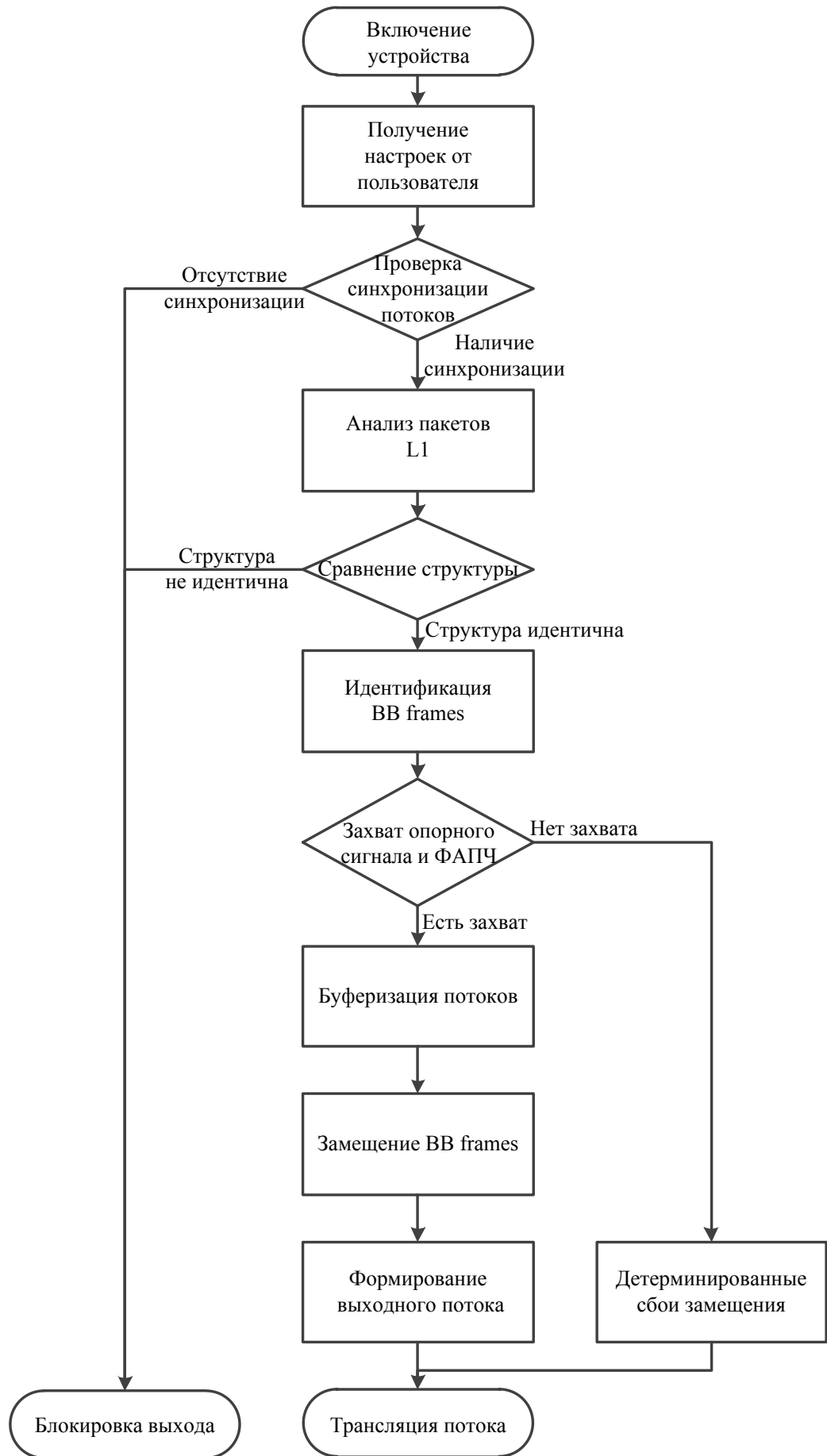


Рисунок 4.12 – Блок-схема подсистемы замещения

После включения устройства происходит получение настроек от пользователя через соответствующий интерфейс управления. В настройках указываются каналы физического уровня в основном и модифицирующем потоках, которые подлежат замещению, а также используемый источник опорного сигнала. В используемом в эксперименте оборудовании TTV-PLPSW-0401 существует возможность установки в качестве источника опорного сигнала либо собственного GPS/ГЛОНАСС приёмника, либо внешнего оборудования.

Далее происходит проверка синхронизации входных потоков. Обычно T2-MI инкапсулирован в пакеты MPEG-2 TS с целью адаптации его к различным видам оборудования, настроенного на работу с пакетами фиксированной длины, а также для корректной передачи потока по каналам связи. В этом случае, первым байтом каждого пакета является синхробайт, определяющий границы очередных пакетов. В случае его отсутствия в течение двух и более пакетов подряд, согласно [26], синхронизация потока нарушается и происходит полное его пропадание, то есть срыв синхронизации. Согласно схеме рисунка 4.12, отсутствие синхронизации входных потоков приводит к блокировке выхода инсёртера и прекращению трансляции сигнала. Наличие синхронизации позволяет приступить к выполнению задачи следующего этапа – анализу пакетов L1 signaling. В этом блоке происходит получение информации о структуре передаваемых входных потоков с помощью пакета L1 и его частей – L1 Pre Signaling и L1 Post Signaling. Инсёртер анализирует и в следующем блоке сравнивает структуру потоков с целью определения их идентичности. Такая процедура необходима для того, чтобы оценить выполнение обязательных условий осуществления врезки, которые указаны в спецификации [6], а также рассмотрены в работах [21] и [22]. Конфигурационные параметры потоков, которые имеют значение при замещении контента, представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Основные конфигурационные параметры T2-MI.

Параметры общие (L1 PreSignaling)		Параметры PLP (L1 PostSignaling)	
Идентичные параметры	Различные параметры	Идентичные параметры	Различные параметры
1	2	3	4
величина защитного интервала	идентификатор ячейки (cell ID)	тип полезной нагрузки	количество PLP
схема пилот-тонов	идентификатор региональной сети-вещателя	идентификатор PLP	идентификатор PLP
количество T2 кадров в суперкадре	идентификатор глобальной сети-вещателя	скорость кода	длина поля L1_post_size
количество символов данных	длина резервного поля	режим модуляции	длина резервного поля

Продолжение таблицы 4.15

1	2	3	4
версия T2	-	поворот созвездия	-
тип профиля T2	-	тип FEC блоков	-
тип полезной нагрузки	-	количество FEC блоков	-
-	-	время перемежения	-

Описания параметров даны в разделе 1.1 на основании стандарта [5]. Как видно из таблицы 4.15, в столбце «параметры PLP» указан идентификатор PLP как параметр, который должен быть идентичен в обоих потоках, а также может и различаться. Это связано с тем, что при замещении контента у модифицируемых каналов физического уровня должны быть одинаковые идентификаторы для того, чтобы в инсёртере, не являющемся источником T2 пакетов, произошла подмена BB кадров одного потока идентичными кадрами другого потока. Кроме того, каналы, не подлежащие модификации в инсёртере, могут иметь различные идентификаторы, поскольку устройство вставки не осуществляет над ними никаких действий. Согласно рисунку 4.12, если структура потоков идентична, то выполняются действия, указанные в следующем логическом блоке, если же не идентична, то есть некоторые из обязательных параметров не одинаковы, то происходит блокировка выходного потока.

Следующим логическим блоком является идентификация общих кадров, передающих информацию о тех каналах физического уровня, которые подлежат модификации. На рисунке 4.13 представлен фрагмент анализа пакета BB frame потока T2-MI, выполненного с помощью программного анализатора «4T2 Content Analyzer».

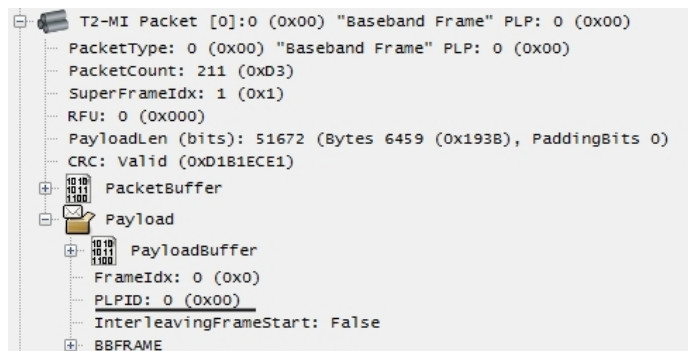


Рисунок 4.13 – Снимок экрана компьютера с интерфейсом анализатора «4T2 Content Analyzer» в режиме анализа BB frame

На рисунке видно, что поле «PLPID» - поле идентификатора канала физического уровня – содержит значение «0» в данном примере, что означает передачу в рассматриваемом пакете BB информации frame только о сервисах, принадлежащих PLP, имеющей нулевой идентификатор. Устройство вставки определяет пакеты с одинаковыми ID, участвующие в замещении, в основном и модифицирующем потоках и далее отправляет каждый в соответствующий буфер.

Следующей операцией, которая фактически происходит параллельно с анализом пакетов входных потоков, является захват опорного сигнала, поступающего на блок замещения и фазовая автоподстройка частоты в соответствии со стабилизированным сигналом синхронизации. Опорный сигнал, как было указано выше, может поступать как от встроенного приёмника спутниковых навигационных систем, так и от внешнего стороннего оборудования, которое также является источником синхросигнала. При нормальном режиме работы и наличии на входе блока замещения стабильного внешнего опорного сигнала, происходит захват ФАПЧ и после этого осуществляется непосредственно операция замещения. Однако, стабильность 1 PPS может быть нарушена ввиду различных факторов, таких как выход из строя антенны приёмника навигационных систем, механическое или программное нарушение интерфейса передачи опорного сигнала, выход из строя или некорректная работа внешнего оборудования, являющегося источником синхросигнала. В этом случае факт наличия индикации захвата опорного сигнала будет зависеть от степени отклонения стабильности имеющегося опорного сигнала от номинального. В случае полного отсутствия на входе платы замещения 1 PPS происходят детерминированные сбои вставки контента со средней периодичностью, составляющей 11 секунд, согласно результатам проведённого экспериментального исследования. Необходимо отметить, что указанная периодичность зависит от технической реализации устройства, алгоритмов стабилизации и захвата опорного сигнала. Также важно указать, что результаты были получены при условии первоначального запуска устройства врезки без наличия на соответствующем входе опорного сигнала. Поскольку исследуемый TTV-PLPSW-0401 был настроен на синхронизацию от внешнего источника, согласно таблице 2.12, а внешний источник отсутствовал при старте инсёртера, то захват PPS не произошёл, а, значит, подстройка частоты собственного генератора также отсутствовала, что видно на рисунке Г1. Вычисленная периодичность срывов синхронизации выходного потока с инсёртера, приведённая в таблице 4.14, предположительно зависит от стабильности и технологии реализации собственного внутреннего опорного генератора устройства, однако, в данной работе не ставилась задача изучения внутренней технической структуры инсёртера. Поскольку основной задачей проведения эксперимента являлось определение режима и характера работы устройства вставки контента в условиях нестабильного сигнала синхронизации или его отсутствия, то поставленная задача может считаться выполненной. С точки зрения практической эксплуатации оборудования сети эфирного телерадиовещания, неисправности приёмных антенн навигационных систем, трактов подачи сигнала от антенн к соответствующим приёмникам, неисправности самих СНП, а также выход из строя стороннего оборудования, являющегося источником опорного сигнала для инсёртера, приводит к возникновению периодического сбоя замещения контента и срыва синхронизации выходного

потока с устройства вставки. Так как срыв синхронизации потока является ошибкой первого приоритета, согласно [26], то такая ситуация приведёт к сбою в работе оборудования, установленного в тракте формирования сигнала после инсёртера. Подобные отклонения нормальной работы, согласно [25], могут привести к возникновению технического брака или технической остановки. Согласно схеме рисунка 4.12, в этом случае трансляция потока не прекращается, блокировки выхода не происходит.

Поскольку информационные данные основного и локального T2-MI сформированы в различных пунктах формирования, пространственно разнесённых между собой, то время, которое затрачивает каждый из потоков на доставку до передающей станции, будет различно. Кроме того по материалам эксперимента, проведённого в [21], формируется вывод о том, что пакеты T2-MI Timestamp, которые содержатся в структуре обоих инкапсулированных транспортных потоков, поступают в блок формирования выходного потока из состава основного подлежащего замещению источника. В связи с тем, что внесение минимально возможной задержки на пути распространения сигнала от источника до абонента ТВ вещания, является сопутствующей задачей при проектировании любого устройства, входящего в состав тракта формирования цифрового эфирного теле радиосигнала, то минимальные временные затраты на вставку контента являются важным условием применения инсёртера. Как было установлено в [21], затраты времени на вставку в устройстве врезки составляют около 150 мкс, однако, необходимо подчеркнуть, что измерения были сделаны при относительном режиме синхронизации потоков и наличии относительной метки времени, поэтому объективно предположить, что абсолютное физическое время, требующееся на врезку, составляет некоторое целое количество секунд. В этом случае, если сеть эфирного теле вещания настроена в одночастотном режиме, при этом в потоке транслируется относительная метка, то такие временные затраты не определяются другими устройствами, благодаря дополнительному временному смещению, которое при необходимости происходит в соответствующем блоке буферизации (рисунок 4.12). Буферизация также необходима для того, чтобы скорректировать время поступления одного потока относительно другого для осуществления корректной вставки контента.

Блок замещения ВВ кадров выполняет основную задачу устройства вставки и осуществляет замещение общих кадров выбранного канала физического уровня на идентичные ВВ frames локального потока. Для выполнения этой операции инсёртер не деинкапсулирует поток T2-MI и не разбивает его на отдельные TS, а выполняет замещение на уровне общих кадров, подменяя тем самым всю информационную составляющую физического канала.

Блок формирования выходного потока является логическим этапом приведения в соответствие структуры выходного модифицированного потока основному, который подлежал

модификации. Так как устройство вставки самостоятельно не формирует пакеты интерфейса модулятора T2, то для всех служебных данных выходного потока источником является T2-MI, в который предстоит врезать локальный контент. Согласно эксперименту, проведённому в [58], пакеты L1 Signaling (L1 Pre и L1 Post), T2 Timestamp и BB frames, транслирующие информацию о не подлежащих замене каналах, поступают в выходной результирующий поток непосредственно из основного T2-MI. Структура выходного потока является полностью идентичной структуре основного, разница заключается лишь в наполнении модифицированных BB frames.

Трансляция потока на выход технически осуществляется с помощью любого используемого физического интерфейса, например, через протокол IP или по коаксиальной линии в соответствии с интерфейсом ASI.

Выводы. Устройство вставки контента или инсёртер-мультиплексор позволяет технически реализовывать технологию Local Content Insertion, но при этом оборудование крайне чувствительно к стабильности опорного сигнала синхронизации. Его отсутствие провоцирует детерминированные сбои в работе устройства, что влияет на корректное функционирование остальных блоков, участвующих в формировании сигнала на типовой передающей станции. В связи с этим использование метода регионализации особенно в одночастотной зоне требует резервирования источников синхронизации, участвующих в работе устройства вставки. Задача, поставленная в разделе 2.4 и касающаяся исследования работы устройства вставки локального контента, может считаться выполненной.

4.3 Анализ характера работы формирователя DVB-T2

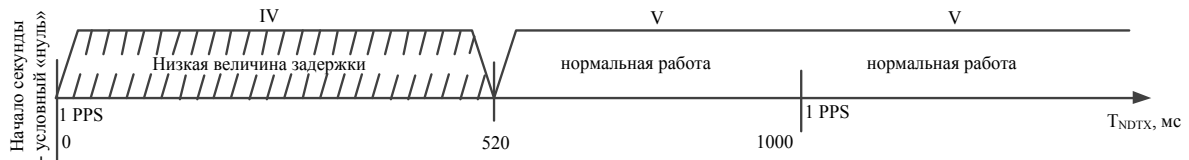
При практической эксплуатации сети цифрового телерадиовещания могут совместно использоваться цифровые эфирные передатчики стандарта DVB-T2 различного производства. В связи с этим, модуляторы различных моделей передатчиков затрачивают разное время на обработку поступившего цифрового информационного потока: от момента приёма очередного блока данных до излучения его в эфир. Поэтому параметр Processing Delay (задержка на обработку сигнала в модуляторе) – имеет индивидуальную величину у каждой модели устройств. Этот вопрос подробно рассмотрен авторами в научных работах [37], [35] и [38]. В работе [59] предложен метод измерения таких временных задержек эфирных передатчиков. Поскольку при проведении исследования, согласно Программе эксперимента, используются формирователи сигналов производства «НПП Триада ТВ» с модулем ProTelevision, то по

материалам [38], Processing Delay для данного передающего устройства составляет порядка 320 мс.

Руководствуясь Программой эксперимента, было произведено исследование возможности работы модулятора ProTelevision в одночастотном режиме при различных типах временных штампов. Определение рабочих временных диапазонов сетевой задержки информационного потока, измеренной непосредственно до формирователя сигнала, необходимо для выявления причин неработоспособности оборудования при организации одночастотных сетей DVB-T2. Следует отметить, что любое локальное смещение по времени в формирователе отсутствует. По результатам исследования составлена таблица 3.5, которая размещена в разделе 3.3. Для удобства представления по данным указанной таблицы составлена временная диаграмма режимов работы формирователя, которая приведена на рисунках 4.14а и 4.14б.



а)



б)

Рисунок 4.14 – Временная диаграмма режима работы формирователя DVB-T2 при относительной а) и абсолютной б) синхронизации

Согласно рисунку 2.10, измерение величины сетевой задержки потока произведено с помощью анализатора Nevion TNS непосредственно перед формирователем DVB-T2 сигнала. В этом случае величина сетевой задержки является параметром, характеризующим работоспособность передатчика DVB-T2 в режиме одночастотной сети, и обозначается как T_{NDTX} , согласно рисунку 2.7. В соответствии с описанием п. 3.3, измерения были произведены в точке 4 (рисунок 2.7).

Как видно из рисунка 4.14а, формирователь PT-2000 при относительном временном штампе имеет три выраженных диапазона работы: в диапазонах I и III осуществляется вещание

сигнала в эфир, а диапазон II является нерабочим для данного оборудования. В нерабочем диапазоне передатчик выдаёт сообщение о низкой величине задержки информационного сигнала и блокирует излучение.

Характеристику каждого диапазона в отдельности целесообразно производить, начиная с III участка рисунка 4.14а, в связи с тем, что режим работы в данном временном интервале частично совпадает с режимом работы в интервале V рисунка 4.14б при абсолютной синхронизации.

Диапазон III. Величина сетевой задержки потока на входе передатчика находится в интервале от 520 до 999 мс, то есть $T_{NDTX} = [520; 999]$ мс.

Согласно формуле (2.1), расчётная величина задержки является математической разностью между требуемым моментом излучения и моментом приёма очередного суперкадра информационного потока. Другими словами, передающее устройство должно излучить сигнал через T_{NDTX} после получения его от оборудования, включённого в тракте до формирователя, например, приёмника или устройства вставки контента. Однако, согласно [38], формирователь РТ-2000 на обработку сигнала затрачивает 320 мс, тогда в интервал между моментами приёма и излучения блока данных должно укладываться время на обработку, то есть:

$$T_{NDTX} = \left\{ \begin{array}{l} (T_{\text{изл.}} - T_{\text{пр.}}), \text{ если } T_{\text{пр.}} < T_{\text{изл.}} \\ 1 - (T_{\text{пр.}} - T_{\text{изл.}}), \text{ если } T_{\text{пр.}} > T_{\text{изл.}} \end{array} \right\} > T_{PD},$$

где T_{PD} - время на обработку сигнала в процессоре (Processing Delay).

Тогда:

$$T_{NDTX} - T_{PD} = T_{Din}, \quad (4.6)$$

где T_{Din} – динамическая задержка – время, на которое искусственным образом задерживается обработка информационного сигнала для достижения требуемого времени передачи. Оценивается микроконтроллером возбуждителя на основании времени обработки сигнала в модуляторе. Устанавливается в автоматическом режиме [38].

В этом случае, для диапазона III величина динамической задержки будет находиться в интервале от 200 до 679 мс. Согласно таблице 3.5 данный диапазон является рабочим для формирователя в режиме одночастотной сети при нулевых локальных отстройках по времени, как при относительном, так и при абсолютном временном штампе.

Диапазон II. Величина сетевой задержки потока на входе передатчика находится в интервале от 246 до 519 мс, то есть $T_{NDTX} = [246; 519]$ мс.

Данный диапазон, согласно рисунку 4.14а, является нерабочим, поскольку излучение блокируется ввиду низкой величины сетевой задержки в потоке. Диапазон II характерен только для режима относительной синхронизации, при этом динамическая задержка T_{Din} находится в

интервале от 199 до 0 мс. Нулевое значение задержки, то есть $T_{Din} = 0$, соответствует $T_{NDTX} = T_{PD} = 320$ мс.

Физически, задержка не может иметь отрицательную величину, поэтому в интервале от 246 до 319 мс данного диапазона T_{Din} определяется по формуле (4.7):

$$T_{Din} = 1000 - (T_{PD} - T_{NDTX}), \text{ мс} \quad (4.7)$$

Тогда при $T_{NDTX} = 246$ мс, $T_{Din} = 926$ мс, а при $T_{NDTX} = 319$ мс, $T_{Din} = 999$ мс.

Физический смысл формулы (4.7) состоит в том, что при наличии в информационном потоке данных о сетевой задержке потока, меньшей по величине, чем задержка на обработку сигнала, то есть $T_{NDTX} < T_{PD}$, величина динамической задержки будет увеличиваться до тех пор, пока не наступит повторный требуемый момент излучения блока данных, что может произойти только при переносе момента излучения в следующую секунду. При этом теоретическое максимальное время ожидания момента излучения составит 999 мс. Следовательно, формула (4.7) носит больше логический характер, чем математический. Следует отметить, что данная формула справедлива только для относительной временной синхронизации, так как моментом начала отсчёта времени излучения является момент поступления очередного импульса синхронизации 1PPS.

Однако, согласно результатам проведённого эксперимента, интервал динамической задержки от 926 до 999 мс не является рабочим участком для модели РТ-2000.

Диапазон I. Величина сетевой задержки потока на входе передатчика находится в интервале от 1 до 245 мс, то есть $T_{NDTX} = [1; 245]$ мс.

Очевидно, что на данном участке неравенство $T_{NDTX} < T_{PD}$ выполняется, поэтому величина динамической задержки определится по формуле (4.7). В этом случае $T_{Din} = [681; 925]$ мс.

Поскольку диапазон является рабочим, то возможность излучения сигнала при данных параметрах объясняется переносом момента излучения очередного блока данных в следующую секунду.

Диапазон IV. Величина сетевой задержки потока на входе передатчика находится в интервале от 1 до 519 мс, то есть $T_{NDTX} = [1; 519]$ мс. Данный диапазон является нерабочим для модели РТ-2000 и характерен только для режима абсолютной синхронизации. В связи с этим, возможность переноса момента излучения в следующий временной интервал исключается, ввиду того, что каждый пакет Timestamp передаёт информацию о требуемом времени излучения в физических единицах, то есть о времени в секундах, прошедшем с 1 января 2000 года 0:00:00 по UTC (см. раздел 1.1).

Согласно рисункам 4.14а и 4.14б, рассматриваемый интервал по продолжительности включает в себя диапазоны I и II для случая относительного временного штампа. Тогда следует полагать, что при $TNDTX < TPD$ динамическая задержка будет иметь математически отрицательную величину или не существовать вовсе, так как, физически, отрицательным временной интервал быть не может. Тогда $TDin$ определится по формуле (4.6):

$$TDin = [0; 199] \text{ мс} - \text{при } TNDTX = [320; 519] \text{ мс, и}$$

$$TDin = [-319; -1] \text{ мс} - \text{при } TNDTX = [1; 319] \text{ мс.}$$

Диапазон V (рисунок 4.14б). Величина сетевой задержки потока на входе передатчика находится в интервале от 520 мс до значения, являющегося максимальным при данной конфигурации потока, то есть

$$TNDTX = [520; NTND] \text{ мс,}$$

где $NTND$ - максимальное значение сетевой задержки, установленное на устройстве формирования потока. При этом $NTND$ по длительности может быть как менее, так и более одной секунды.

Согласно рисунку 4.14б, данный диапазон характерен для абсолютной синхронизации и может выходить за пределы длительности одной секунды.

Величина динамической задержки определится по формуле (4.6) и составит $TDin = [200; NTDin] \text{ мс,}$

где $NTDin$ - значение динамической задержки, соответствующее $NTND$.

В связи с тем, что время на обработку информации формирователем ProTelevision составляет порядка 320 мс [38], то для излучения высокочастотного радиосигнала стандарта DVB-T2 в текущем временном отрезке, равном одной секунде (от импульса 1 PPS до импульса 1 PPS), необходимо, чтобы величина динамической задержки составляла не менее 200 мс. В этом случае передатчик будет иметь временной запас на вещание в эфир конкретного блока данных (суперкадра). Это справедливо как в случае относительного временного штампа, так и в случае абсолютного. Максимальная величина динамической задержки в случае вещания в текущем временном отрезке ограничивается значением 679 мс – для относительной и $NTDyn$ – для абсолютной синхронизации.

Возможность переноса момента излучения в следующий интервал после поступления импульса 1 PPS существует только при относительной временной метке и может происходить только в диапазоне $TNDTX = [1; 245] \text{ мс.}$ При этом динамическая задержка будет находиться в интервале от 681 до 925 мс.

Поскольку длительность каждого интервала временной диаграммы для относительной задержки равна:

$$T_{III} = 999 - 520 = 479 \text{ мс}, T_{II} = 520 - 245 = 275 \text{ мс} \text{ и } T_I = 245 - 0 = 245 \text{ мс},$$

то процент времени, занимаемый вторым (нерабочим) интервалом составляет

$$T_{II} = \frac{275 \cdot 100}{999} = 27,53 \%,$$

$$\text{а первым - } T_I = \frac{245 \cdot 100}{999} = 24,52 \%.$$

Тогда в случае некорректной оценки величины сетевой задержки из-за нестабильности опорного сигнала синхронизации при достижении сетевой задержкой граничных значений нерабочих интервалов передающего устройства, возникает ситуация, когда излучение сигнала в эфир невозможно, по крайней мере, в течение длительности второго интервала, который составляет 27,53 процента от всего рабочего времени передатчика. Такая ситуация является аварийной, поскольку длительность отсутствия излучения («молчания» передатчика) зависит от угла наклона прямой, аппроксимирующей график задержки, к оси времени. На рисунке 4.15 представлен график сетевой задержки при нестабильном опорном сигнале, поясняющий интервал неработоспособности передатчика.

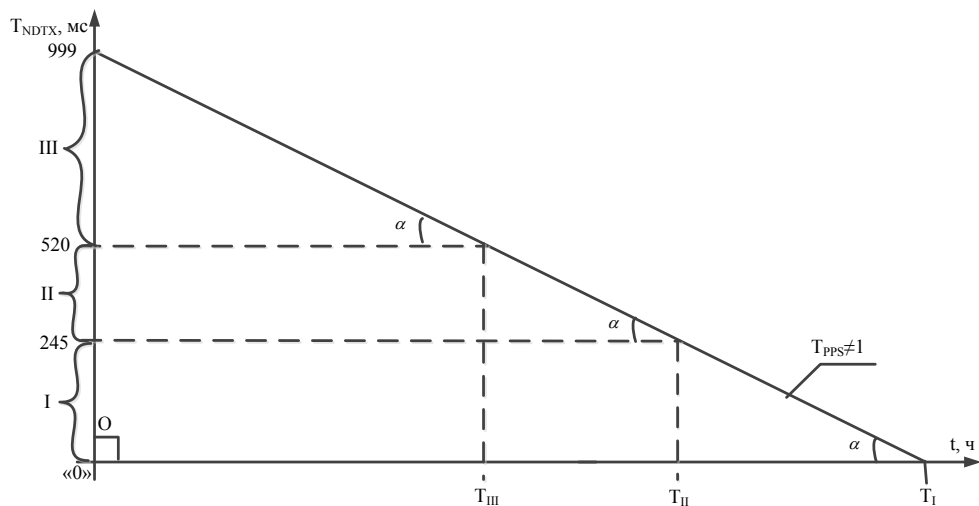


Рисунок 4.15 – График сетевой задержки и временные интервалы передатчика

По вычисленным ранее угловым коэффициентам аппроксимирующих прямых был произведён расчёт длительности каждого интервала для передатчика модели РТ-2000.

Таблица 4.16 – Результаты расчёта длительности интервалов.

Период 1PPS	Угловой коэффициент $ tg(\alpha) $	T_{III} , ч	T_{II} , ч	T_I , ч
1	2	3	4	5
0,999994	0,0057	23,343	13,402	11,940
0,999995	0,0046	28,925	16,606	14,795
0,999996	0,0035	38,016	21,825	19,444
0,999997	0,0028	47,520	27,282	24,306
0,999998	0,0018	73,920	42,438	37,809
0,999999	0,0011	120,960	69,444	61,869

Продолжение таблицы 4.16

1	2	3	4	5
1	0,00001	13305,560	7638,889	6805,556
1,000001	0,0016	83,159	47,743	42,535
1,000002	0,0027	49,280	28,292	25,206
1,000003	0,0036	36,960	21,219	18,904
1,000005	0,0053	25,105	14,413	12,841
1,00001	0,0106	12,552	7,206	6,420

Необходимо также отметить, что если РТ-2000 работает в составе одночастотной сети с перекрытием зон обслуживания, то при возникновении нестабильности опорного сигнала на одной станции и некорректной оценке сетевой задержки, кроме нерабочего интервала II задержка достигнет величины, граничной с интервалом I и передающее устройство возобновит работу. Но, при этом если одна станция будет функционировать в интервале I, а другая – в интервале III, то приёма сигнала в зоне перекрытия не будет, поскольку один из передатчиков будет излучать в эфир сигнал со смещением времени, то есть с отставанием на 1 секунду. В этом случае, аварийная ситуация будет наблюдаться не только в течение длительности второго интервала, но и первого, поэтому суммарная длительность неработоспособности передатчика за один цикл спада / нарастания составит 52,05 процента.

Выводы. При организации одночастотных сетей DVB-T2 возникает ряд проблем, препятствующих нормальному функционированию сети, одной из которых может быть некорректно указанная величина номинальной сетевой задержки на устройстве формирования T2-MI. С учётом потерь при распространении по каналу связи, $TNDTX$ на входе передающего устройства может иметь значения, недопустимые для работы модулятора конкретной модели. Результаты проведённого эксперимента с использованием передатчика ProTelevision РТ-2000 показали, что при отсутствии локального временного смещения момента излучения существуют ярко выраженные рабочие и нерабочие интервалы входной сетевой задержки потока. Границы диапазонов, приведённых на рисунках 4.14а и 4.14б, могут быть объяснены наличием фиксированной величины задержки на обработку сигнала, индивидуальной для разных моделей передающих устройств.

4.4 Обработка результатов исследования режима работы передающей станции с устройством регионализации

Основной целью моделирования в лабораторных условиях одночастотной сети передающих станций, состоящей из двух формирователей DVB-T2, является определение возможности приёма и демодуляции телевизионного радиосигнала в зависимости от установленных настроек на соответствующих устройствах регионализации. Для обеих станций используется единый источник основного и локального контента, представленных в формате T2-MI, а также приёмники спутниковых навигационных систем, необходимые для корректной синхронизации оборудования. Согласно таблице 2.16, один из инсёртеров (TTV-PLPSW-0401_1) постоянно настроен на замещение каналов физического уровня с идентификаторами «1» и «2», а настройки другого могут иметь одно из следующих положений:

- режим замещения PLP_1 и PLP_2;
- режим замещения только PLP_1 или только PLP_2;
- режим замещения выключен, при этом инсёртер корректно пропускает один из входных потоков на выход.

На рисунке 4.16 представлена обобщённая схема исследуемого участка одночастотной сети.

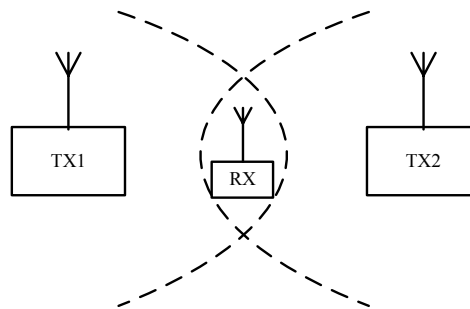


Рисунок 4.16 – Общая схема участка одночастотной сети

Здесь, TX1 – передающая станция, в состав которой входят инсёртер TTV-PLPSW-0401_1 и передатчик DVB-T2 PT-2000_1, согласно схеме 2.11 программы;

TX2 - передающая станция, в состав которой входят инсёртер TTV-PLPSW-0401_2 и передатчик DVB-T2 PT-2000_2;

RX – приёмная станция, оборудование которой в данном случае представлено телевизионным приёмником Samsung.

При моделировании участка одночастотной сети в лабораторных условиях имеют место быть практически идеальные условия распространения высокочастотного сигнала, что связано со схемой подключения модуляторов по кабельной линии, где исключены внешние влияния

окружающей среды. В частности отсутствует возможность появления на входе телевизионного приёмника отражённых волн, а, следовательно, каналом распространения в данном случае является канал Гаусса, при котором в приёмнике присутствуют только два основных сигнала от обеих передающих станций. Территориальный разнос станций может быть смоделирован с помощью установки локальной задержки излучения одного из используемых передатчиков.

В таблице 3.6 приведены результаты эксперимента, где определена возможность декодирования сигнала в каждом случае, а также представлены показания служебной телевизионной таблицы статуса сигнала при декодировании сервисов, относящихся к конкретному каналу физического уровня.

Случай 1. Устройство TTV-PLPSW-0401_2 замещает PLP_1 и PLP_2, канал PLP_0 пропускает на выход без модификации. В этом случае происходит корректная работа участка одночастотной сети, телевизионный приёмник декодирует сигнал, строка состояния качества сигнала достигает ста единиц. Фотография статусной таблицы представлена на рисунке Д.1 Приложения Д. В данном случае представлена фотография таблицы при декодировании сервиса с идентификатором 1020, что соответствует телепрограмме «Россия 1» (по данным на 2017 г.). На рисунке видно, что на дальнем плане относительно таблицы происходит декодирование видео сервиса. Уровень битовой ошибки составляет нуль единиц, что говорит о качественном приёме телесигнала.

Случай 2. Устройство TTV-PLPSW-0401_2 замещает только PLP_2, канал PLP_0 и канал PLP_1 пропускает на выход без модификации, либо замещает только PLP_1, а каналы с идентификаторами 0 и 2 пропускает в выходной поток в исходном состоянии. В случае отсутствия замещения PLP_1 приём и декодирование сервисов каналов PLP_0 и PLP_2 выполняется (таблица 3.6), а декодирование сервисов PLP_1 становится невозможным. Фотография таблицы статуса сигнала телевизионного приёмника приведена на рисунке Д.2 Приложения Д. На рисунке видно, что уровень ошибки составляет 2000 единиц, а качество сигнала отсутствует. Для объяснения такой ситуации была произведена синхронная потоков T2-MI, поступающих от инсёртера на формирователь COFDM, с помощью двухканальной платы захвата Dektec DTA-2144, согласно схеме на рисунке 2.11 программы эксперимента. Одновременная запись потоков T2-MI необходима для пакетного сравнения и анализа идентичности информационных данных. Длительность записи файла информационного потока задана в пределах тридцати секунд для удобства выборки любого участка записанного материала во время модификации контента. Результаты проведённого далее исследования опубликованы в [22].

Файлы записанных потоков были обработаны с помощью программы MPEG-2 Transport Stream packet analyzer [60], далее была произведена выборка пакетов в количестве 400 штук в

целях упрощения процедуры сравнения T2 кадров. Деинкапсуляция обработанных файлов данных произведена с помощью программного анализатора транспортных и T2-MI потоков 4T2 Content-Analyzer [49]. Полученные в результате декодированные служебные пакеты приведены на рисунках Д.3 и Д.4 Приложения Д.

На рисунке Д.3 подобраны Baseband кадры двух различных T2-MI потоков, но идентичные по своим параметрам, то есть с одинаковыми данными PLPID, счётчика пакетов (Packet Count) и принадлежащие T2 кадрам с одними и теми же идентификаторами, которые входят в состав суперкадров с идентичной нумерацией. Таким образом, на рисунке Д.3а приведена часть декодированного общего кадра, описывающего параметры канала физического уровня с идентификатором 1, полученного на выходе TTV-PLPSW-0401_1, а на рисунке Д.3б – часть кадра, полученного на выходе инсёртера TTV-PLPSW-0401_2. Поскольку замена PLP с идентификатором 1 осуществлялась и на инсёртере №1 и на инсёртере №2, то служебные поля пакетов абсолютно одинаковы, а именно идентичен объём передаваемых данных, обозначенный в поле Data Field Length (DFL) и поле контрольной суммы Cyclic Redundancy Check (CRC), которая является автоматически рассчитанным кодом для проверки достоверности передачи пакета.

Канал физического уровня с идентификатором 2 был заменён локальными данными в TTV-PLPSW-0401_1, а в инсёртере №2 замены не происходило. Снимок экрана компьютера с интерфейсом программы 4T2 Content analyzer, приведённый на рисунке Д4, показывает, что BB кадры, относящиеся к PLP_2, различны.

Значения в поле Cyclic Redundancy Check пакетов различны в связи с тем, что данные на уровне программных потоков, транслируемые в PLP_2, отличаются, поскольку на инсёртере №1 происходила замена сервисов, а в TTV-PLPSW-0401_2 замена не была сконфигурирована. Поле контрольной суммы – CRC – предназначено для детектирования возникающих ошибок при передаче пакета и рассчитывается по алгоритму, описанному в [5]. Поскольку состав пакетов программного потока различен, то есть информация о видео и аудио одной и той же телевизионной программы неодинакова в PLP_2 локального и основного потока T2-MI, то, соответственно, битовая структура поля данных общих кадров также будет различной, а, следовательно, различна и контрольная сумма всего Baseband кадра, описывающего состав PLP_2. Длина поля данных (DFL) в заголовке BB кадра также будет различна, поскольку битовая структура также не является идентичной.

Данные в поле Synch Distance Bits (SDB) обозначают расстояние в битах от начала поля данных BB кадра до первого передаваемого пакета. Если SDB равен нулю, то это указывает на то, что первый передаваемый пакет ассоциирован с началом поля данных, если величина SDB будет отличной от нуля, то начало передачи поля данных не совпадает с началом передачи

пакета, а если SDB составит величину 65535 (в шестнадцатеричной системе счисления), то ни одного пакета не начинается в поле данных ВВ кадра [5]. В отличие от транспортного потока, в потоке T2-MI данные, принадлежащие одному кадру, могут передаваться во множестве пакетов, поэтому ситуация когда ни один из пакетов не начинается в поле данных кадра может возникнуть и, в зависимости от объёма передаваемых данных, наполняемость информацией пакетов будет различна. Следовательно, начало передачи пакета относительно поля данных ВВ кадра будет находиться на разном битовом расстоянии у неидентичных T2-MI потоков. Исходя из этого поле SDB кадра, приведённое на рисунке Д.4 имеет различную величину у потоков, записанных с выхода TTV-PLPSW-0401_1 и инсёртера TTV-PLPSW-0401_2.

Синхронизация потока каждого канала физического уровня необходима для восстановления в приёмном или установленном в тракте оборудовании тактовой частоты исходного транспортного потока. Такой способ синхронизации необходим для поддержания постоянной битовой скорости и задержки при прохождении по всему тракту. Опорный тактовый сигнал входного потока Input Stream Clock Reference (ISCR) в исследуемых T2-MI используется в формате Long, согласно [5], что говорит о заданном высокоэффективном режиме (High Efficiency Mode) в настройках PLP. Как видно на рисунке Д.3 Приложения Д, ISCR обоих T2-MI потоков одинаковы, поскольку идентичны передаваемые данные, а на рисунке Д.4 – различны, в связи с тем, что данные ISCR привязаны к передаваемому пакету, а так как информационное наполнение основного и локального канала неидентичное, то и наполняемость пакетов будет отличаться.

В результате анализа T2-MI пакетов было определено следующее:

- у двух записанных информационных потоков, транслирующих одинаковую информацию в конкретных PLP, структура общих кадров, описывающих состав определённого канала физического уровня, будет абсолютно одинакова, включая проверочные поля контрольной суммы. Следовательно, организация одночастотной сети (Single Frequency Network – SFN) цифровых телевизионных передающих станций, транслирующих идентичные ВВ кадры, возможна и при прочих корректных настройках приём качественного телесигнала в зоне обслуживания передатчиков SFN может быть обеспечен;

- при возникновении ситуации, когда в инсёртере TTV-PLPSW-0401_1 происходит замена одной или нескольких PLP на аналогичные каналы физического уровня локального контента, а в инсёртере №2 вставки локальной информации не происходит, то T2-MI потоки, поступающие на модуляторы DVB-T2, не являются идентичными. В связи с тем, что содержание видео контента различно в основном и локальном T2-MI, в выходном потоке состав ВВ кадров, описывающих структуру модифицируемых PLP, будет различный, что приводит к нарушению основополагающего принципа организации одночастотной сети – идентичности

излучаемых информационных потоков. Следовательно, приём и демодуляция сигнала абонентским приёмником в зоне перекрытия будут невозможны.

Случай 3. Устройство TTV-PLPSW-0401_2 не замещает ни один из доступных каналов физического уровня, все PLP пропускает на выход без модификации. Данный случай аналогичен рассмотренному выше, поскольку сервисы, информация о которых транслируется в каналах, не подлежащих замещению на инсёртере №2, не будут декодироваться приёмным устройством (рисунок Д.1б Приложения Д). Это справедливо в случае корректной работы устройства вставки, поскольку в случае выхода его из строя или исключения из схемы вещания необходимо учитывать то, что время, на которое сигнал задерживался в инсёртере, будет потеряно, следовательно, работа одночастотной сети может быть нарушена.

В таблице 4.17 приведены значения вероятностей нормальной демодуляции каждой PLP для этого случая.

Таблица 4.17 – Вероятность приёма и демодуляции сигнала.

Вероятность приёма		$Prx(PLP_0)$		$Prx(PLP_1)$		$Prx(PLP_N)$	
инсёртер №1		PLP_0		PLP_1		PLP_N	
инсёртер №2		x	+	x	+	x	+
PLP_0	x	1	0	-	-	-	-
	+	0	1	-	-	-	-
PLP_1	x	-	-	1	0	-	-
	+	-	-	0	1	-	-
PLP_N	x	-	-	-	-	1	0
	+	-	-	-	-	0	1

Согласно таблице 4.17, при нахождении приёмника в SFN, на вход демодулятора будет поступать сигнал DVB-T2 как минимум от двух передающих станций, на каждой из которых применяется устройство вставки локального контента. Поскольку поток T2-MI в режиме MultiPLP может состоять из одного и более каналов физического уровня, то канал, обозначенный в таблице как PLP_N, является потоком с наибольшим номером идентификатора. Символом «x» в таблице 4.17 обозначено состояние инсёртера, при котором в его настройках не сконфигурировано замещение конкретного канала физического уровня. Символ «+» наоборот, подразумевает априори установленные настройки замещения выбранной PLP. Таким образом, при замещении каналов с идентичными идентификаторами на двух рассматриваемых передающих станциях, а, равно, при одновременном отсутствии режима вставки на идентичных каналах, вероятность корректного приёма соответствующих потоков $Prx(PLP_N)$ будет равна единице, что определяет условно безошибочную демодуляцию сигнала (рисунок Д.1а). Процесс корректной демодуляции в данном случае определён как условно безошибочный в связи с тем, что влияния помех или других причин, снижающих

качество приёма сигнала DVB-T2, в данном случае не рассматривается, так как не является целью настоящей работы.

Вероятность приёма и декодирования сервисов каналов с идентичными идентификаторами $PRX(PLP_N)$ будет равно нулю при замещении рассматриваемой PLP на одной станции и одновременном отсутствии врезки в неё на другой. В этом случае приём выбранного канала становится невозможен, однако, это не влияет на вероятность демодуляции остальных каналов информационного потока (рисунок Д.1б).

Символом «-» в таблице 4.17 определена ситуация, при которой наличие / отсутствие вставки контента на одном физическом канале не влияет на вероятность демодуляции другого потока.

На основе полученной таблицы 4.17 может быть составлен граф состояний замещения каждого канала физического уровня, изображение которого представлено на рисунке 4.17.

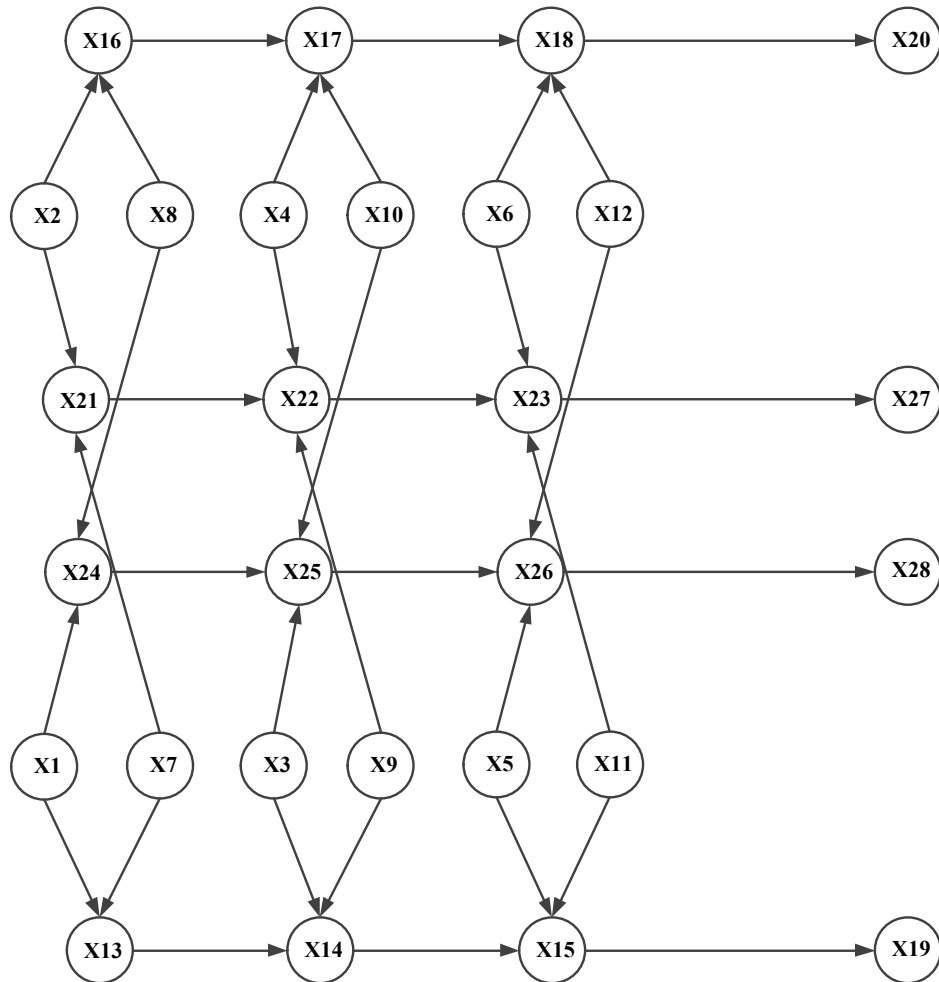


Рисунок 4.17 – Граф состояний замещения контента

Описание вершин графа приведено в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Состояния графа.

Обозначение на графе	Станция	Описание	
1	2	3	
x1	1	замещение	PLP_0
x2	1	нет замещения	PLP_0
x3	1	замещение	PLP_1
x4	1	нет замещения	PLP_1
x5	1	замещение	PLP_2
x6	1	нет замещения	PLP_2
x7	2	замещение	PLP_0
x8	2	нет замещения	PLP_0
x9	2	замещение	PLP_1
x10	2	нет замещения	PLP_1
x11	2	замещение	PLP_2
x12	2	нет замещения	PLP_2
x13	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_0
x14	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_1
x15	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_2
x16	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_0
x17	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_1
x18	в зоне перекрытия	декодирование	PLP_2
x19	в зоне перекрытия	декодирование	весь поток
x20	в зоне перекрытия	декодирование	весь поток
x21	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_0
x22	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_1
x23	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_2
x24	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_0
x25	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_1
x26	в зоне перекрытия	нет декодирования	PLP_2
x27	в зоне перекрытия	нет декодирования	весь поток
x28	в зоне перекрытия	нет декодирования	весь поток

Согласно рисунку 4.17 и таблице 4.18, замещение канала физического уровня PLP_0 на передающей станции №1 (состояние x1) и одновременное замещение PLP_0 на станции №2 (состояние x7) приводит к тому, что в зоне перекрытия возникает состояние x13 (декодирование канала PLP_0). Аналогично состояния x3 и x9 (замещение PLP_1 на обеих станциях) приводит к состоянию x14 (декодирование PLP_1). Также x5 и x11 способствуют

возникновению x15 (декодирование PLP_2). Последовательное соединение состояний x13, x14 и x15 подразумевает, что абонентское приёмное устройство вначале декодирует один принимаемый канал физического уровня, затем второй, затем третий, и в результате успешного декодирования всех каналов физического уровня возникает состояние x19 (декодирование всего потока в зоне перекрытия).

Таким же образом, пары состояний x2 и x8, x4 и x10, x6 и x12 приводят к возникновению состояний x16, x17 и x18, последовательное осуществление которых приводит к состоянию x20 (успешное декодирование всего потока) с той лишь разницей, что в состоянии x20 декодируется весь немодифицированный поток, так как замен не осуществлялось ни на одной из станций.

В случае если на станции №1 имеет место состояние x1 (замена PLP_0), а на станции №2 – состояние x8 (нет замены PLP_0) по причине, например, вышедшего из строя устройства врезки, то в зоне перекрытия возникает состояние x24 (нет декодирования канала PLP_0). Если аналогичная ситуация происходит с каналами PLP_1 и PLP_2, то возникают состояния x25 и x26 (нет декодирования), последовательное состояние которых приводит к состоянию x28 (нет декодирования всего потока). По такому же принципу возникает состояние x27 с той лишь разницей, что замен не происходит на станции №1.

На графе состояний (рисунок 4.17) представлены только варианты конфигурации, когда каналы физического уровня в полном информационном потоке T2-MI либо замещается, либо не модифицируются, а также когда на одной станции происходит полное замещение, а на другой оно вообще отсутствует. Безусловно, существуют и другие возможные варианты приёма сигнала в одночастотной зоне, о чём можно сделать вывод на основании данных экспериментального исследования и таблицы 4.17. Такие состояния, при которых, например, на станции №1 осуществляется замена PLP_0 и PLP_1 (PLP_2 не замещается), а на станции №2 таких замен не осуществляется вовсе или подлежит врезки только один из каналов, модифицируемых на станции №1. Тогда в зоне перекрытия возникает ситуация, при которой декодирование абонентским приёмником одного или двух каналов становится невозможным, при этом третий канал, ввиду отсутствия его модификации на обеих станциях, подлежит корректному декодированию. Для отображения множества таких вариаций на рисунке 4.18 представлен граф, который является дополнением к графу на рисунке 4.17. Соответственно, состояния x16 – x28 идентичны состояниям предыдущего графа, а состояния x29 – x31 описаны в таблице 4.19.

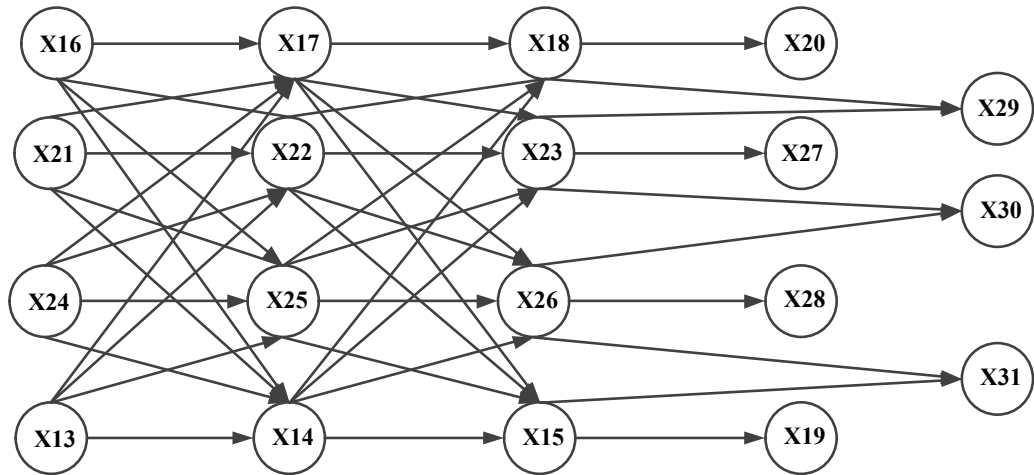


Рисунок 4.18 – Дополнение графа состояний замещения контента

Таблица 4.19 – Обозначения для графа на рисунке 4.18.

Обозначение на графе	Станция	Описание	
x29	в зоне перекрытия	частичное декодирование	весь поток
x30	в зоне перекрытия	частичное декодирование	весь поток
x31	в зоне перекрытия	частичное декодирование	весь поток

Использование методов теории графов для анализа результатов экспериментального исследования позволяет отобразить полученные результаты в виде наглядной графической фигуры, удобной для восприятия и анализа. Кроме того, изображение состояний с помощью графа позволяет указать связь одного состояния с другим с помощью дуг, как в рассмотренном ориентированном графе.

В п. 2.5.2 приведён расчёт вероятности ошибки при приёме модифицированного только на одной передающей станции сигнала, в результате которого вероятность ошибочного приёма канала в отдельности составила:

$$P_{\text{ошPLP2модиф.}} = 145,8 \cdot 10^{-3}.$$

Такое значение вероятности ошибки определяет полное отсутствие практической возможности приёма и демодуляции сигнала, что подтвердилось в результате проведённого экспериментального исследования.

Выводы. В результате моделирования участка одночастотной сети с использованием устройств вставки локального контента было подтверждено на практике и установлено следующее:

- замещение контента происходит на уровне пакетов T2-MI, то есть вставке подлежат только общие кадры (BB frames), относящиеся к определённому каналу физического уровня,

при условии, что параметры модуляции замещаемых каналов идентичны. При таком методе регионализации замена отдельных сервисов невозможна, поэтому в случае если в состав PLP входит несколько цифровых телевизионных программ, то замещению подлежат все сервисы канала;

- при нахождении приёмника в точке перекрытия зон обслуживания передающих станций одночастотной сети возможность приёма сигнала DVB-T2 может рассматриваться как процесс отдельной демодуляции каждого канала физического уровня.

Вероятность условно безошибочной демодуляции всего потока T2-MI в целом будет определяться как результат конъюнкции вероятностей приёма каждого канала в отдельности:

$$PRX = PRX(PLP_0) \wedge PRX(PLP_1) \wedge PRX(PLP_N)$$

PRX будет равна единице только в том случае, когда демодуляция всех PLP одновременно будет возможна и корректна, во всех остальных случаях отсутствие полноценной возможности приёма абонентским оборудованием сигнала DVB-T2 будет определяться как техническая остановка либо аварийная ситуация.

Таким образом, задача, поставленная в п. 2.4 может считаться выполненной.

4.5 Расчёт показателей надёжности схемы формирования сигнала на типовой передающей станции

В п. 2.3 настоящей работы представлена методика расчёта вероятности безотказной работы системы вещания телевизионного сигнала на типовой передающей станции, а также общего коэффициента готовности всей системы с использованием операторного метода. Поскольку оборудование, используемое в организации вещания, может быть различных производителей, иметь различные дополнительные функции и возможные неисправности, то интенсивности отказов и восстановления, рассмотренные в п. 2.3, будут иметь различное значение в зависимости от множества факторов. В связи с тем, что ввод в эксплуатацию оборудования врезки контента осуществлялся в течение последних пяти лет, то полноценной статистики по отказам оборудования на данный момент ещё нет. Поэтому, чтобы определить объективные теоретические значения интенсивностей отказа и восстановления был произведён анализ всех возможных событий (аварий и предупреждений) используемого в настоящее время оборудования вещания.

В таблице Е.1 представлен список событий, которые могут возникнуть при работе спутникового приёмника Cisco D9854, согласно техническому описанию на оборудование [61].

В этой же таблице указано наличие влияния на качество выходного цифрового информационного потока T2-MI, который принимается данным приёмником со спутника. Такой тип спутникового DVB-S2 приёмника принят для расчётов в связи с тем, что он является широко применяемым устройством приёма пакета программ первого мультиплекса. Количество событий приёмника, которые имеют влияние на соответствующие состояния многослойного графа, представлено в таблице 4.20.

События, возникающие на оборудовании формирования DVB-T2 сигнала (передатчике), представлены в таблице Е.2 Приложения Е. Данные приведены для формирователя ProTelevision с версией программного обеспечения v1.08.116, при этом критические аварии, препятствующие качественному вещанию контента, определены с учётом работы оборудования в режиме одночастотной сети. В таблицу 4.20 также занесено общее количество аварий и количество критических сообщений.

В таблице Е.3 Приложения Е представлены события устройства врезки контента производства НПП «Триада ТВ», согласно руководству по эксплуатации оборудования [46]. Количество аварий, влияющих непосредственно на процесс замещения потоков в соответствующем состоянии, представлено также в таблице 4.20. В Таблице Е.4 Приложения Е представлен список возможных событий синхронного сплайсера Qualittec TTL-2012, осуществляющего вставку рекламно-информационных данных в определённый сервис потока T2-MI.

Таблица 4.20 – Количество критических аварий оборудования, определённое на основе таблиц Е.1 – Е.4.

Влияние на состояние (табл. 2.6, 2.7)	Количество событий				
	Канал доставки	Спутниковый приёмник	Устройство врезки	Передатчик DVB-T2	Сплайсер
1	2	3	4	5	6
A2 / C2 / G2	16	X	X	X	X
A3 / C3 / G3	6	X	X	X	X
A4 / C4 / G4	12	X	X	X	X
B2 / D2 / H2	X	23	X	X	X
B3 / D3 / H3	X	73	X	X	X
B4 / D4 / H4	X	20	X	X	X
E2	X	X	6	X	X
E3	X	X	1	X	X
E4	X	X	7	X	X
E5	X	X	4	X	X
F2	X	X	X	12	X
F3	X	X	X	3	X
F4	X	X	X	12	X
F5	X	X	X	11	X
F6	X	X	X	6	X
I2	X	X	X	X	12

Продолжение таблицы 4.20

1	2	3	4	5	6
13	X	X	X	X	12
14	X	X	X	X	9
15	X	X	X	X	1
Всего:	182		17	52	42

По полученным данным необходимо произвести расчёт интенсивностей отказов и восстановления для каждого состояния каждого подграфа многослойного графа, представленного на рисунке 2.5. Интенсивностью отказа, согласно [42], является условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, при том, что до рассматриваемого момента времени отказ оборудования не возникает. Тогда этот параметр определяется формулой, приведённой в [42], а также в [62]:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \cdot \Delta t}, \quad (4.8)$$

где $n(\Delta t)$ - количество элементов (объектов), отказавших за рассматриваемый интервал времени;

$N_{\text{ср}}$ - среднее количество элементов, работавших безотказно;

Δt - рассматриваемый интервал времени.

В качестве интервала времени используется годовой интервал, то есть $\Delta t = 365$ дней.

Интенсивность восстановления определяется по формуле (4.9):

$$\mu = \frac{n_{\text{в}}(\Delta t)}{N_{\text{нср}} \cdot \Delta t}, \quad (4.9)$$

где $n_{\text{в}}(\Delta t)$ - количество восстановленных однотипных объектов за интервал Δt ;

$N_{\text{нср}}$ - среднее количество невосстановленных элементов (объектов).

Результаты расчёта значений интенсивностей по формулам (4.8) и (4.9) приведены ниже в таблице 4.21. При этом $N_{\text{нср}} = 1$, $\Delta t = 365$ дней.

Таблица 4.21 – Результаты расчета интенсивностей отказа и восстановления.

Параметр	n (Δt)	$N_{ср}$	Знач-е	Параметр	$n_{в}$ (Δt)	Знач-е	Соответствие состоянию на графах (рис. 2.5, рис.2.6)	Примечания
λ_{A1}	16	166	0,000264	μ_{A1}	16	0,0438	<i>A2</i>	канал доставки основного потока
λ_{A2}	6	176	0,000093	μ_{A2}	6	0,0164	<i>A3</i>	
λ_{A3}	12	170	0,000193	μ_{A3}	12	0,03288	<i>A4</i>	
λ_{B1}	23	159	0,000396	μ_{B1}	23	0,063	<i>B2</i>	приёмник основного потока
λ_{B2}	73	109	0001835	μ_{B2}	73	0,2	<i>B3</i>	
λ_{B3}	20	162	0,000338	μ_{B3}	20	0,0548	<i>B4</i>	
λ_{C1}	16	166	0,000264	μ_{C1}	16	0,0438	<i>C2</i>	канал доставки регионального потока
λ_{C2}	6	176	0,000093	μ_{C2}	6	0,0164	<i>C3</i>	
λ_{C3}	12	170	0,000193	μ_{C3}	12	0,03288	<i>C4</i>	
λ_{D1}	23	159	0,000396	μ_{D1}	23	0,063	<i>D2</i>	приёмник регионального потока
λ_{D2}	73	109	0001835	μ_{D2}	73	0,2	<i>D3</i>	
λ_{D3}	20	162	0,000338	μ_{D3}	20	0,0548	<i>D4</i>	
λ_{E1}	8	23	0,000953	μ_{E1}	8	0,0219	<i>E2</i>	устройство вставки локального контента
λ_{E2}	6	25	0,000658	μ_{E2}	6	0,016	<i>E3</i>	
λ_{E3}	7	24	0,0008	μ_{E3}	7	0,019	<i>E4</i>	
λ_{E4}	10	21	0,0013	μ_{E4}	10	0,027	<i>E5</i>	
λ_{F1}	12	40	0,000822	μ_{F1}	12	0,03288	<i>F2</i>	передатчик DVB-T2
λ_{F2}	3	49	0,000168	μ_{F2}	3	0,00822	<i>F3</i>	
λ_{F3}	12	40	0,000822	μ_{F3}	12	0,0329	<i>F4</i>	
λ_{F4}	11	41	0,000735	μ_{F4}	11	0,03013	<i>F5</i>	
λ_{F5}	6	46	0,000357	μ_{F5}	6	0,01644	<i>F6</i>	
λ_{G1}	16	166	0,000264	μ_{G1}	16	0,0438	<i>G2</i>	канал доставки потока до сплайсера
λ_{G2}	6	176	0,000093	μ_{G2}	6	0,0164	<i>G3</i>	
λ_{G3}	12	170	0,000193	μ_{G3}	12	0,03288	<i>G4</i>	
λ_{H1}	23	159	0,000396	μ_{H1}	23	0,063	<i>H2</i>	приемное оборудование сплайсера
λ_{H2}	73	109	0001835	μ_{H2}	73	0,2	<i>H3</i>	
λ_{H3}	20	162	0,000338	μ_{H3}	20	0,0548	<i>H4</i>	
λ_{I1}	12	30	0,0011	μ_{I1}	12	0,033	<i>I2</i>	сплайсер
λ_{I2}	12	30	0,0011	μ_{I2}	12	0,033	<i>I3</i>	
λ_{I3}	9	33	0,00075	μ_{I3}	9	0,025	<i>I4</i>	
λ_{I4}	1	41	0,000067	μ_{I4}	1	0,0027	<i>I5</i>	

Система вещания с устройством врезки контента. В результате вставки в формулу (2.2) полученных значения интенсивностей и обратного преобразования Лапласа образуется следующее выражение для вероятности нахождения канала доставки потока в работоспособном состоянии:

$$P_{A1}(t) = 0,006243 \cdot e^{-0,044 \cdot t} + 0,005428 \cdot e^{-0,0165 \cdot t} + 0,0056 \cdot e^{-0,033 \cdot t} + 0,982712$$

На коротком интервале работы системы, то есть при $t \rightarrow 0$, вероятность исправного состояния, очевидно, будет стремиться к единице $P_{A1}(t) \approx 1$, что говорит о том, что система на малом интервале времени будет находиться в теоретически однозначном исправном состоянии.

При использовании канала доставки в течение большого интервала времени, то есть при $t \rightarrow \infty$, вероятность исправного состояния, а также стационарный коэффициент готовности, согласно методике, предложенной в [45], составят:

$$K_{ГА1} = P_{А1}(\infty) \approx 0,9827$$

или в процентном выражении $K_{ГА1} \approx 98,27$ процентов.

Для подсистемы приёмника основного потока выражение для вероятности исправного состояния имеет вид:

$$P_{В1}(t) = 0,0092 \cdot e^{-0,202 \cdot t} + 0,00542 \cdot e^{-0,05512 \cdot t} + 0,0066 \cdot e^{-0,0634 \cdot t} + 0,97882.$$

Тогда коэффициент готовности:

$$K_{ГВ1} = P_{В1}(\infty) \approx 0,9788.$$

Для канала доставки и приёмного оборудования регионального потока значения вероятностей исправного состояния будут соответственно равны рассчитанным.

Для подсистемы устройства врезки выражение будет иметь следующий вид:

$$P_{Е1}(t) = 0,0189 \cdot e^{-0,0196 \cdot t} + 0,036 \cdot e^{-0,0228 \cdot t} + 0,0789 \cdot e^{-0,029 \cdot t} + 0,0149 \cdot e^{-0,0164 \cdot t} + 0,85114$$

Соответственно, $K_{ГЕ1} = P_{Е1}(\infty) \approx 0,8511$.

Для передающего оборудования:

$$P_{F1}(t) = 0,0079 \cdot e^{-0,0306 \cdot t} + 1,85 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,03289 \cdot t} + 0,0153 \cdot e^{-0,0084 \cdot t} + 0,01642 \cdot e^{-0,01675 \cdot t} + 0,065 \cdot e^{-0,0349 \cdot t} + 0,8956$$

$$K_{ГF1} = P_{F1}(\infty) \approx 0,8956.$$

Тогда, согласно формуле (2.8):

$$\begin{aligned} K_{Г\Sigma} &= (K_{ГА1} \cdot K_{ГВ1} + K_{ГС1} \cdot K_{ГD1} - K_{ГА1} \cdot K_{ГВ1} \cdot K_{ГС1} \cdot K_{ГD1}) \cdot K_{ГЕ1} \cdot K_{ГF1} = \\ &= (0,9827 \cdot 0,9788 + 0,9827 \cdot 0,9788 - 0,9827 \cdot 0,9788 \cdot 0,9827 \cdot 0,9788) \times \\ &\times 0,8511 \cdot 0,8956 = 0,7612 \end{aligned}$$

Суммарный коэффициент готовности составляет

$$K_{Г\Sigma} = 76,12\%.$$

Система вещания без регионализации. Согласно рисунку 2.6, на котором представлен многослойный граф для схемы организации вещания без врезки контента, система состоит из блоков канала связи, приёмного оборудования и оборудования вещания, то есть передатчика DVB-T2. Поскольку интенсивности отказов и восстановления в этом случае будут равны соответствующим интенсивностям для схемы с регионализацией, то изменению подлежит лишь выражение для суммарного коэффициента готовности. Данный параметр определяется по формуле (2.9) и составляет:

$$K_{Г'Σ} = K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \cdot K_{ГF1} = 0,9827 \cdot 0,9788 \cdot 0,8956 = 0,8614.$$

Или $K_{Г'Σ} = 86,14\%$.

Сравнение полученных результатов показывает, что готовность схемы без регионализации на $\Delta K_{Г} = K_{Г'Σ} - K_{ГΣ} = 86,14 - 76,12 = 10,02\%$ выше, чем при использования оборудования врезки. Это связано, прежде всего, с тем, что при модификации контента используется двойной комплект оборудования приема сигнала – основной и региональный информационные потоки поступают по двум независимым каналам связи, принимаются двумя независимыми приёмниками, при этом не являются полноценным взаимным резервом. Кроме того, устройство врезки осуществляет сложный процесс модификации (подмены общих кадров), поэтому оно крайне чувствительно к стабильности опорного сигнала синхронизации. Все эти факторы снижают надёжность системы, но при этом существенно расширяют возможности вещания DVB-T2 сигнала.

Система вещания с каскадной врезкой контента. Функция готовности для системы с использованием и устройства вставки каналов физического уровня и сплайсера определяется по формуле, приведённой в п. 2.3:

$$K_{Г''Σ} = [(K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} + K_{ГC1} \cdot K_{ГD1} - K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \cdot K_{ГC1} \cdot K_{ГD1}) \cdot K_{ГE1} + K_{ГG1} \cdot K_{ГH1} - (K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} + K_{ГC1} \cdot K_{ГD1} - K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \cdot K_{ГC1} \cdot K_{ГD1}) \cdot K_{ГE1} \cdot K_{ГG1} \cdot K_{ГH1}] \cdot K_{ГI1} \cdot K_{ГF1}$$

С учётом рассчитанных ранее интенсивностей отказов и восстановления сплайсера (таблица 4.21) и, приняв, что отказы канала доставки потока для сплайсера и для спутникового приемника T2-MI являются идентичными (в связи с использованием спутникового канала распространения), возможно рассчитать коэффициент готовности сплайсера и каскадной схемы в целом. Тогда для сплайсера:

$$P_{I1}(t) = 0,0198 \cdot e^{-0,00276 \cdot t} + 0,0172 \cdot e^{-0,0256 \cdot t} + 0,0713 \cdot e^{-0,0354 \cdot t} + 0,8917.$$

$$K_{ГI1} \approx 0,892.$$

Суммарная готовность, выраженная через коэффициент готовности схемы с инсёртером:

$$K_{ГΣ''} = K_{ГI1} \cdot K_{ГΣ} + K_{ГI1} \cdot K_{ГF1} \cdot K_{ГG1} \cdot K_{ГH1} - K_{ГG1} \cdot K_{ГH1} \cdot K_{ГΣ} \cdot K_{ГI1} = 0,892 \cdot 0,7612 + 0,892 \cdot 0,896 \cdot 0,9827 \cdot 0,9788 - 0,9827 \cdot 0,9788 \cdot 0,7612 \cdot 0,892 = 0,794$$

Очевидно, что рассчитанные значения коэффициентов готовности являются низкими относительно требуемых значений безотказности работы оборудования, приведённых в государственных стандартах. Во-первых, это связано с тем, что расчёт был произведён не на основании статистических опытных данных, а на основании выборки из всех возможных

состояний оборудования при худших условиях функционирования. Во-вторых, увеличение надёжности каскадной схемы на 3% относительно схемы с замещением объясняется:

- с математической точки зрения, при рассмотрении графа на рисунке 2.7, принимая группу элементов $U1' - U5'$ за единый элемент, параллельный группе элементов $U7' - U8'$, можно рассматривать систему связи как параллельную с последовательным включением блоков $U9'$ и $U6'$, вероятность безотказной работы которой в целом будет больше, чем вероятность безотказной работы отдельного входящего в неё элемента. Данное правило является следствием общей методики вычисления вероятности безотказной работы параллельной системы, приведённой в различных учебных материалах, в частности в [4].

- с точки зрения физической реализации, сплайсер – устройство, которое обладает внутренним автоматическим переключением с режима врезки на режим простого транзита цифрового информационного потока при любых нарушениях в процессе подготовки контента для врезки и в процессе самого замещения.

Таким образом, для повышения надёжности рассматриваемой схемы с каскадной врезкой возможно использование в качестве крайнего метода поддержания работоспособности передающего устройства и недопущения технической остановки, а, тем более, аварии на оборудовании вещания дополнительного непосредственного соединения выхода приемного оборудования и входа передатчика с целью прямой трансляции цифрового потока в эфир. На графе рисунка 2.7 данное подключение показано в виде соединения блоков $U1'$ и $U2'$, отмеченных пунктирной линией, и блока $U6'$. Такое соединение может быть рассмотрено как параллельное относительно полноценной схемы с каскадной врезкой. Тогда коэффициент готовности данной схемы определится как:

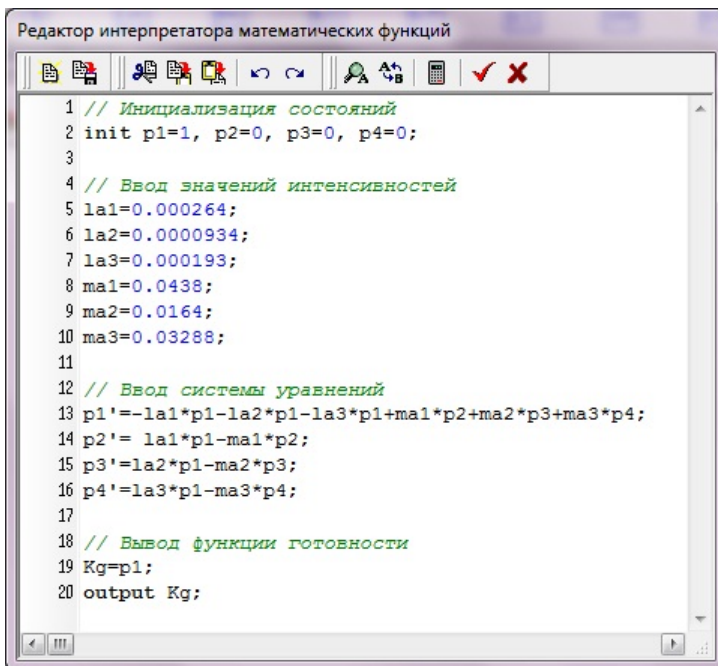
$$K_{Г\Sigma}''' = \left(\frac{K_{Г\Sigma}}{K_{ГF1}} + K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} - \frac{K_{Г\Sigma}}{K_{ГF1}} K_{ГA1} \cdot K_{ГB1} \right) K_{ГF1} =$$

$$= \left(\frac{0,794}{0,8956} + 0,9827 \cdot 0,9788 - \frac{0,794}{0,8956} 0,9827 \cdot 0,9788 \right) 0,8956 = 0,8917$$

Очевидно, что коэффициент готовности системы с дополнительным резервированием на 9,77% выше, чем системы вещания с каскадной врезкой. Таким образом, прямое подключение выхода приемника ко второму физическому входу передатчика позволяет повысить вероятность

безотказной работы системы без дополнительных финансовых затрат, однако, следует иметь в виду, что «прямой» режим работы является нештатным в связи с отсутствием в эфире сигналов местного регионального наполнения, поэтому требует оперативного восстановления схемы замещения.

Кроме операторного метода вычисления коэффициента надёжности системы, существуют также методы решения системы уравнений с использованием программных средств, в частности, «МВТУ» (версия 3.7). В данном программном продукте вводится система уравнений, приведённая в п. 2.3 (формула (2.1)), а также ряд параметров моделирования. На рисунке 4.19 представлен снимок экрана компьютера с интерфейсом программы «МВТУ 3.7» в режиме ввода исходных данных для расчета функции коэффициента готовности системы канала связи. На рисунке 4.20 в качестве примера представлены результаты моделирования функции готовности для системы канала связи.



```

Редактор интерпретатора математических функций
1 // Инициализация состояний
2 init p1=1, p2=0, p3=0, p4=0;
3
4 // Ввод значений интенсивностей
5 la1=0.000264;
6 la2=0.0000934;
7 la3=0.000193;
8 ma1=0.0438;
9 ma2=0.0164;
10 ma3=0.03288;
11
12 // Ввод системы уравнений
13 p1'=-la1*p1-la2*p1-la3*p1+ma1*p2+ma2*p3+ma3*p4;
14 p2'= la1*p1-ma1*p2;
15 p3'=la2*p1-ma2*p3;
16 p4'=la3*p1-ma3*p4;
17
18 // Вывод функции готовности
19 Kg=p1;
20 output Kg;

```

Рисунок 4.19 – Снимок экрана компьютера с интерфейсом программы «МВТУ 3.7» в режиме ввода исходных данных для расчета функции коэффициента готовности системы канала связи

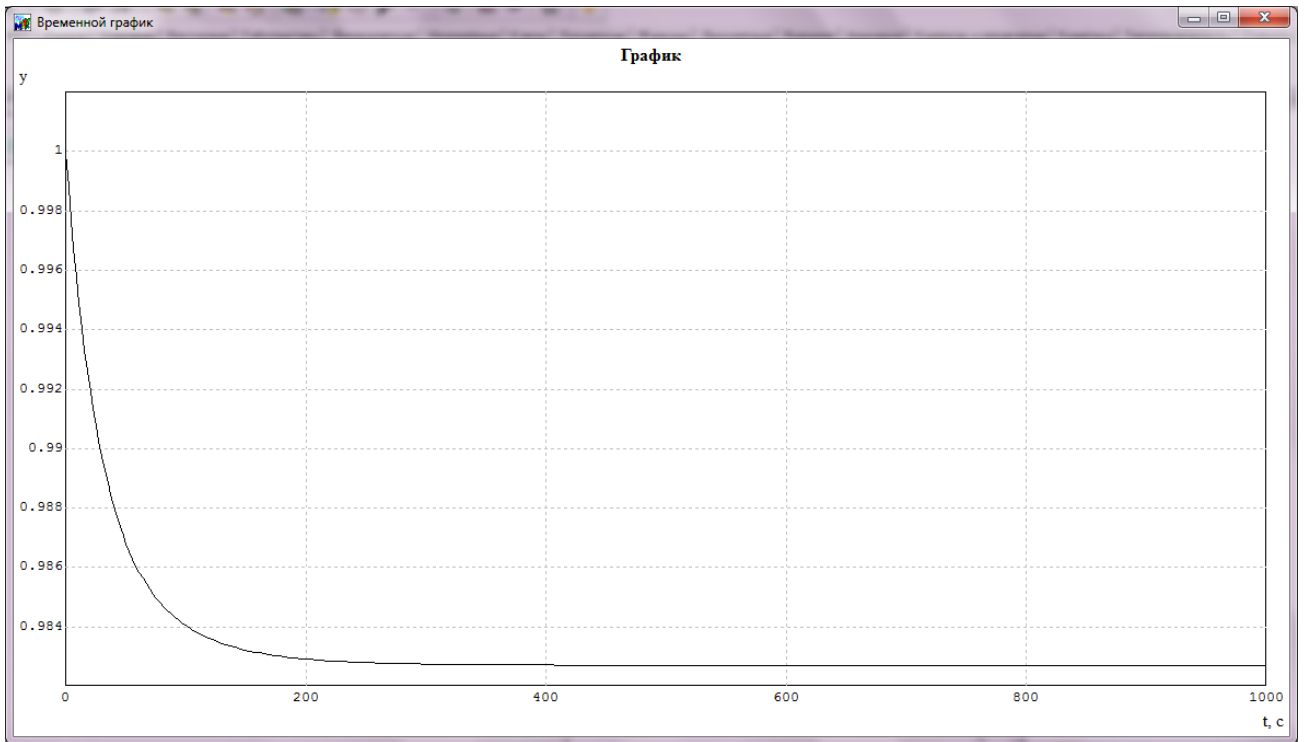


Рисунок 4.20 – Снимок экрана компьютера в режиме анализа функции коэффициента готовности системы канала связи

По результатам расчёта в «МВТУ 3.7» можно сделать вывод, что полученные значения коэффициента готовности на большом интервале времени приближённо равны рассчитанным ранее с помощью операторного метода. Таким образом, расчёты произведены верно.

В работе [63] со ссылкой на системные проекты сети цифрового наземного вещания приведены рекомендуемые коэффициенты готовности элементов сети. В таблице 2 [63] рассматриваемая система организации вещания разбита на следующие составляющие:

- РТПС с передатчиком малой мощности;
- наземные линии связи;
- спутниковый бортовой ретранслятор;
- местные приёмные земные станции спутниковой связи.

При этом каждый из элементов имеет собственный коэффициент готовности. Следует отметить, что для РТПС малой мощности авторами в качестве требуемого значения готовности определена величина 0,9985, для линий связи – 0,997, для ретранслятора – 0,9999, а для местных приёмных станций – 0,9998.

В настоящей работе разбиение системы вещания на элементы имеет другую классификацию и цель, а параметры надежности определены для худших условий эксплуатации, то есть при вероятности возникновения каждого из возможных критических событий на конкретном оборудовании (Приложение Е, таблицы Е.1 – Е.3) за годовой временной период. Учитывая это примечание, сформировано следующее заключение:

среднее арифметическое коэффициентов готовности элементов сети вещания [63] составит:

$$K_{\text{Гср.арифм.}} = \frac{0,9985 + 0,997 + 0,9999 + 0,9998}{4} = 0,9988$$

Тогда при сравнении рассчитанных и среднего коэффициента, разность между ними для соответствующих схем вещания составит:

$$K_{\text{Гср.арифм.}} - K_{\text{Г}'\Sigma} = 0,9988 - 0,8614 = 0,1374 ,$$

$$K_{\text{Гср.арифм.}} - K_{\text{Г}\Sigma} = 0,9988 - 0,761 = 0,2378 ,$$

$$K_{\text{Гср.арифм.}} - K_{\text{Г}\Sigma''} = 0,9988 - 0,794 = 0,2048 .$$

При детальном разборе подобное сравнение не является абсолютно корректным, так как в ходе исследования, например, надежность бортовой спутниковой аппаратуры не рассматривалась вообще.

Выводы. По результатам обратного преобразования Лапласа были определены коэффициенты готовности системы для каждого из рассматриваемых случаев. Готовность системы, где регионализации контента не происходит, составила 86,14 процентов, системы с врезкой локальной информации – 76,11, системы с каскадной врезкой – 79,4. Таким образом, использование технологии локальной модификации снижает надежность системы вещания на типовой передающей станции на 10 и 6,74 процента соответственно. Это связано, прежде всего, с тем, что, во-первых, использование не одного, а двух каналов доставки информационных потоков подразумевает эксплуатацию двойного комплекта приёмного оборудования, а, во-вторых, с собственными отказами оборудования врезки, поскольку устройство, применяемое при организации одночастотных зон вещания, является чувствительным к качеству и стабильности опорного сигнала синхронизации. Однако, в качестве резерва возможно подключение выхода спутникового приёмника (источника основного информационного потока) напрямую на вход передающего устройства, что повысит надёжность системы с каскадной врезкой на 9,77 процента. При этом необходимо учитывать, что такое резервирование автоматически приводит к отсутствию врезки на конкретной передающей станции, что может повлиять на качество работы участка одночастотной зоны и возникновении технической остановки, связанной с фактом отсутствия регионального контента.

4.6 Реализация учебно-наглядной программной модели

Результаты анализа полученных в ходе проведения экспериментального исследования данных могут быть взяты за основу при реализации учебной программной модели для студентов и инженеров в области средств радио и телевидения.

В качестве основных задач, обязательных к выполнению в процессе проектирования данной программной модели, могут быть определены следующие:

- лёгкий доступ и простота реализации, позволяющие пользователю, не имеющему специальных навыков и знаний, ориентироваться в интерфейсе программы;
- большой объем справочного и методического материала, поясняющего принцип работы, предназначение и основные параметры каждого блока, устройства или действия;
- ориентация на практическую эксплуатацию оборудования в целях сопоставления теоретических и практических положений;
- реализация с использованием доступных средств компьютерной визуализации и программирования.

Основным требованием к модели является обеспечение максимальной доступности визуализации материала, свойственной для учебно-наглядного пособия.

Программная учебно-наглядная модель в соответствии с указанными выше требованиями может быть реализована с использованием языка программирования PHP, в дополнение к которому могут применяться HTML и JavaScript. В качестве Web сервера для операционной системы Windows была выбрана сборка WampServer [64], установщик которой распространяется бесплатно и доступен для скачивания в сети интернет [65]. Учебно-наглядная модель создана при помощи WampServer версии 2.5 и версии PHP 5.5.12. Web-приложение доступно для просмотра в браузерах Mozilla Firefox, Yandex Browser и других.

Стартовая страница Web-приложения модели определяет предназначение программы и обеспечивает доступ к её содержанию с помощью клавиши «Вход» (рисунок 4.21).

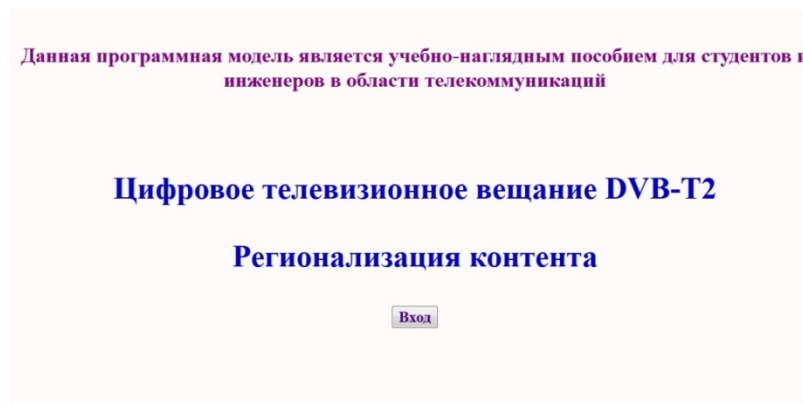


Рисунок 4.21 – Стартовая страница программной модели

Следующим шагом является выбор объекта вещания – это одиночная передающая станция или одночастотная сеть станций. Выбор производится с помощью нажатия соответствующей кнопки (рисунок 4.22).

Вкладка «Одиночная передающая станция» (рисунок 4.23) представляет мнемосхему типовой передающей станции, работающей в одночастотном режиме, на которой применяется устройство вставки локального контента. При первичном входе на страницу мнемосхема представляет собой изображение функциональной схемы передачи и преобразования DVB-T2 сигнала. «Формирование» информационного потока происходит в территориально удалённом пункте, откуда по каналу связи сигнал поступает на каждую из передающих станций сети. «Приёмная часть» подразумевает наличие оборудования, принимающего сигнал из канала связи, например, спутниковые приёмные антенны, соответствующее фидерное оборудование, а также DVB-S/S2 ресиверы. Часть «Регионализация контента» на схеме состоит из оборудования врезки локального сигнала T2-MI в федеральный – устройства вставки. На схеме данный блок обозначен «LCI» – Local content inserter. Блок «Передающая часть» подразумевает установку в тракте цифрового эфирного передатчика стандарта DVB-T2, который на схеме обозначен как «TX DVB-T2». Поскольку в экспериментальном исследовании использовался передатчик производства «НПП Триада-ТВ» ProTelevision PT-2000, то в мнемосхеме учитываются особенности работы именно формирователя данной модели. «Эфир» представляет собой изображение условного антенно-мачтового сооружения, которое при соответствующих настройках сопровождается анимацией с эффектом излучения.

Раздел «Настройки» позволяет установить:

- номинальную величину сетевой задержки, которая указывается на устройстве формирования потока;
- затраты времени на прохождения сигнала по каналу связи от формирователя до передающей станции;
- наличие или отсутствие замещения контента. Здесь и далее в программной модели принято, что и основной и локальный информационные потоки передают информацию о наличии в своём составе трёх каналов физического уровня. Установка флажка в соответствующем окне подразумевает врезку локальной информации в тот или иной выбранный канал;
- тип источника синхронизации устройства вставки «LCI» - спутниковый навигационный приёмник или внешнее устройство.

После нажатия на клавишу «Применить» на мнемосхеме передающей станции отображаются результаты сделанных изменений с помощью анимированных изображений.

Вкладка «Текущий статус» определяет состояние виртуальной передающей станции и отображает возникшие предупреждения и аварии.

Ссылка «Описание схемы вещания» содержит скрытую краткую справочную информацию о функциях и особенностях каждого блока мнемосхемы.

Вкладка «Одночастотная сеть передающих станций» (рисунки 4.24 – 4.25) представляет изображение схемы участка одночастотной сети с расположением в зоне перекрытия приёмной абонентской станции.

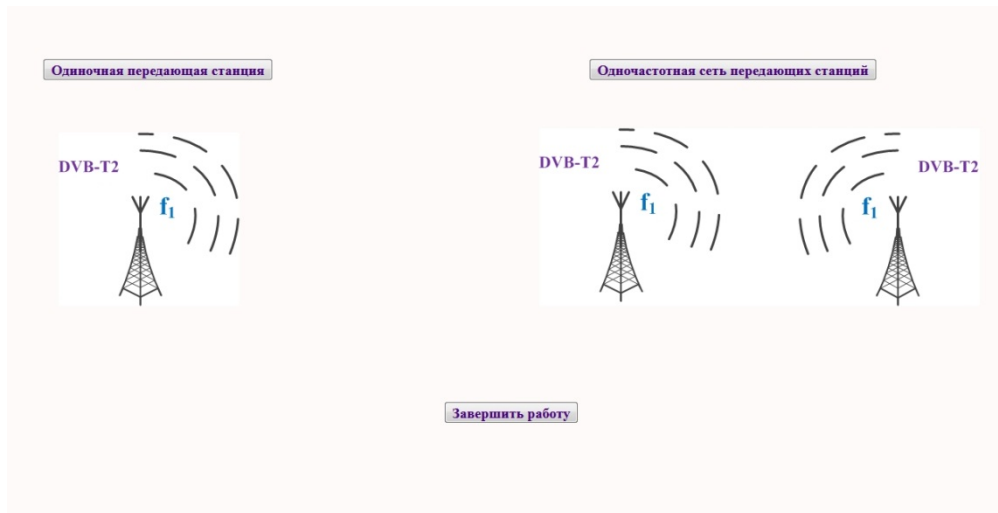


Рисунок 4.22 – Основное меню программы

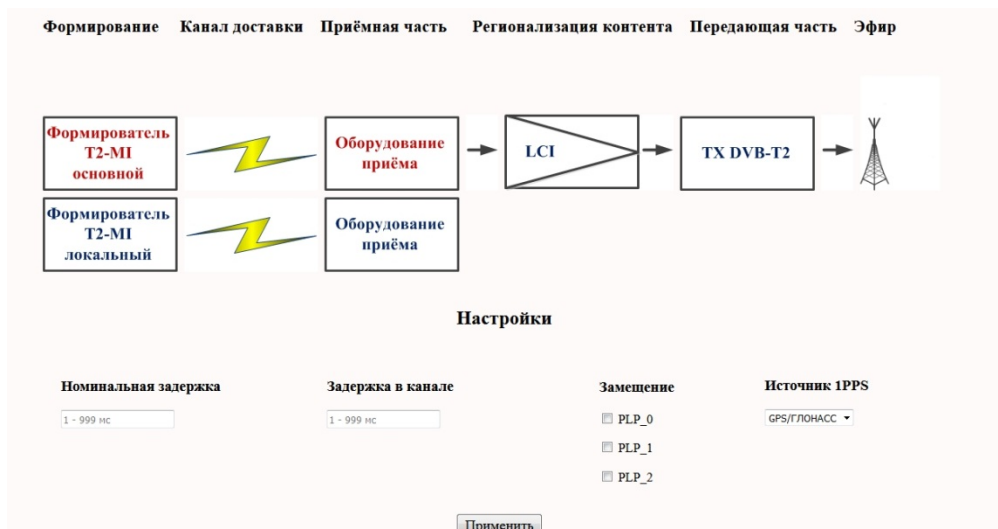


Рисунок 4.23 – Вкладка «Одночастотная передающая станция»

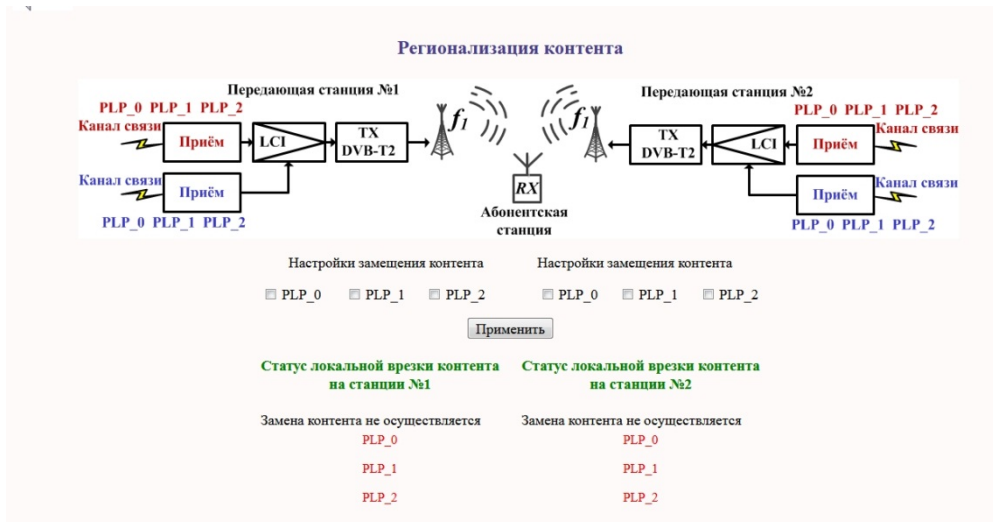


Рисунок 4.24 – Вкладка «Одночастотная сеть передающих станций»



Рисунок 4.25 – Вкладка «Одночастотная сеть передающих станций»

«Настройки замещения контента» позволяют определить наличие или отсутствие замещения потока на обеих передающих станциях. После включения режима замещения любого канала физического уровня на любой передающей станции в таблице статуса отображаются сделанные настройки путем изменения цвета наименования соответствующего канала.

«Абонентская станция в зоне перекрытия» - виртуальное графическое представление возможности декодирования абонентским приёмником, находящимся в зоне перекрытия, сигнала каждого канала физического уровня в отдельности. Возможность декодирования сервисов при различных настройках замещения контента на станциях определена по результатам проведённого эксперимента в разделе 4.4.

Ссылка «Описание схемы вещания» представляет собой скрытый текст, поясняющий особенности работы, функции и предназначения блоков, устройств и выполняемых настроек.

Разработанное Web-приложение доступно в сети интернет по ссылке [66], однако, оно также может быть размещено на сервере локальной сети или на персональном компьютере, не подключённом к локальным и интернет-сетям.

Данную программную модель предлагается использовать в качестве дополнительного учебно-наглядного пособия для студентов к дисциплинам по направлению цифрового телерадиовещания.

4.7 Выводы по главе

В настоящей главе произведён анализ результатов экспериментального исследования, проведённого в рамках программы, представленной в п. 2.4. В этом же разделе определены основные задачи экспериментального исследования, которые были выполнены в результате анализа полученной эмпирической информации. В процессе предварительной обработки данных был произведён отсев грубых погрешностей измерения с использованием критерия Стьюдента, в результате которого общее количество измерения для случаев $\Delta PPS = -6; -1$ мкс составило 58 значений, для случаев $\Delta PPS = +1; +3$ мкс – 59 значений, для остальных вариантов отклонения периода опорного сигнала – 60 значений. В результате проведения экспериментального исследования было установлено:

1) В точке приёма потока величина сетевой задержки будет отличаться от номинального установленного значения на величину временных потерь в канале доставки. Корректное определение T_{NDTX} зависит от стабильности опорного сигнала синхронизации, относительно которого отсчитывается требуемое время излучения очередного суперкадра потока. В случае если опорный сигнал имеет определённую нестабильность, то величина T_{NDTX} будет иметь пилообразное смещение к оси времени (рисунки 4.2, 4.5). Такая ситуация может привести к регулярным срывам синхронизации транслируемых потоков и невозможности излучения модулятором DVB-T2 высокочастотного сигнала в те интервалы времени, когда величина временного запаса на излучение меньше, чем время, требуемое модулятором на обработку сигнала в процессоре. Подобные последствия присутствуют только при организации сетей вещания в одночастотном режиме.

Проверка адекватности линейной модели аппроксимации графика сетевой задержки показала, что в случаях, когда $TPPS = 0,999999; 1,0; 1,000001$ значение $F_{\text{эксп}} < F_{(\alpha, m1, m2)}$, что означает отвержение гипотезы H_0 «выбранная модель адекватна» и принятие альтернативной гипотезы H_1 . Однако, данные варианты являются случаями с минимальным разбросом значений, то есть рассматриваются «в области больших времён» относительно прочих вариантов измерения, поэтому возникает конфликт математического описания и практического смысла. Следовательно, утверждать, что аппроксимация графика задержки при нулевом и

малом отклонении периода опорного сигнала не носит линейный характер неправильно с точки зрения практической эксплуатации.

При рассмотрении величины сетевой задержки как случайной на участке измерения была произведена проверка гипотезы H_0 о том, что T_{NDTX} может носить характер нормального распределения с применением правила «трёх сигм» и критерия хи-квадрат. В результате расчёта по правилу «трёх сигм» было определено, что при всех рассматриваемых вариантах измерений гипотезу H_0 можно признать не противоречащей опытным данным. В результате использования метода хи-квадрат выяснилось, что при уровне значимости 0,01 величина статистики для каждого из измеренных случаев не превышает критического значения хи-квадрат. Таким образом, гипотезу о принадлежности распределения сетевой задержки к нормальному можно считать не противоречащей полученным результатам.

2) Исследование работы устройства вставки локального контента показали, что при отсутствии внешнего опорного сигнала синхронизации в выходном транслируемом информационном потоке наблюдаются систематические срывы синхронизации (рисунок 4.11, таблица 4.14), что приводит к нарушению нормальной работы устройств, установленных далее в тракте формирования DVB-T2 сигнала, например, в модуляторе передатчика. При этом режим работы передатчика – одночастотный или многочастотный – не имеет значения, поскольку потеря синхронизации входного потока в любом случае приведёт к искажению или полному пропаданию сигнала на выходе формирователя.

3) Исследование характера работы формирователя DVB-T2 в режиме одночастотной сети при различных значениях сетевой задержки информационного потока, проведённое путём изменения номинальной T_{ND} на устройстве формирования T2-MI, также может быть рассмотрено как ситуация, при которой некорректно определённая T_{NDTX} , имеет пилообразный характер и изменяет своё значение от 999 мс до 0 мс при относительном режиме синхронизации. В этом случае у формирователя с модулем ProTelevision образуются рабочие и нерабочие временные диапазоны (рисунок 4.14). Нерабочие диапазоны определяют то, что временного запаса между требуемым моментом излучения суперкадра и его фактическим моментом приёма не хватает на компенсацию задержки сигнала на обработку в процессоре устройства. То есть передатчику не хватает времени на то, чтобы провести операции кодирования и модуляции сигнала и выдать его в эфир в точно назначенное время. В этом случае излучение сигнала невозможно, что свидетельствует о возникновении технической остановки или аварии на оборудовании.

4) Исследование одночастотной сети ТВ вещания с применением на обеих станциях устройств вставки локального контента позволило установить два основных положения:

- возможность корректной демодуляции и нормального приёма части мультиплекса, относящейся к одному каналу физического уровня, не зависит от возможности декодирования других каналов физического уровня, входящих в единый информационный T2-MI поток, при прочих равных условиях кодирования и передачи каждой PLP. Это связано с тем, что режим Multiple PLP подразумевает передачу независимых и не связанных между собой отдельных транспортных потоков, объединённых общими служебными пакетами T2. Ситуация, при которой приёмником, находящимся в точке перекрытия зон обслуживания двух передающих станций одночастотной сети, осуществить корректное декодирование сигнала одного физического канала невозможно, одновременно с этим, декодирование других осуществляется нормально, может возникнуть при отсутствии замещения контента данного канала на одном из устройств врезки, вызванное неисправностью аппаратно-программной части устройства или отсутствием соответствующих настроек.

- поскольку мультиплекс состоит из одного и более физических каналов (в System B), то приём пакета может считаться корректным только при нормальном декодировании всех имеющихся PLP. В ином случае, отсутствие возможности приёма части мультиплекса приравнивается к полному отсутствию пакета, что характерно для технической остановки или аварийной ситуации, согласно [25].

В настоящей главе в п. 4.5 приведён расчёт параметров надёжности систем вещания: с устройством врезки контента, без модификации и с каскадной врезкой. Поскольку основной задачей данного расчёта являлось сравнение указанных способов вещания по вероятности нахождения системы в исправном рабочем состоянии, то был произведён анализ с использованием многослойных графов состояний, в каждом из которых учитывались факторы, влияющие на работоспособность оборудования. На основании предложенных формул был произведён расчёт количественных значений вероятности безотказной работы, который показал, что система с каскадной врезкой имеет коэффициент готовности на 3,28% выше, чем схема с врезкой контента путем замещения каналов физического уровня, при этом прямое резервирование каскадной схемы повышает её надёжность на 9,77%.

В п. 4.6 предложен способ использования результатов диссертационной работы в качестве учебного пособия, реализованного в качестве web-приложения на языке PHP и HTML.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги работы.

Основные выводы и результаты работы в соответствие с поставленной целью по повышению стабильности и качества передачи цифрового изображения системы вещания DVB-T2 на передающей станции за счёт исследования причин и диагностики нарушения нормальной работы оборудования при функционировании в режиме SFN с использованием технологии модификации контента заключаются в следующем:

1. С помощью разработанной методики расчёта надёжности, отличающейся применением математического аппарата многослойных графов, определено, что система с каскадной врезкой контента имеет коэффициент готовности на 3,28% выше, чем схема с врезкой потока путем замещения каналов физического уровня, при этом прямое резервирование каскадной схемы повышает её надёжность на 9,77 процента.

2. Определено, что длительность цикла спада сетевой задержки цифрового потока T2-MI уменьшается с ростом величины отклонения периода опорного сигнала синхронизации от номинального значения. С помощью любого известного статистического параметра задержки возможно определить длительность спада, а, следовательно, запас времени на устранение неисправности до момента достижения задержкой критической величины.

3. Экспериментально установлено, что нерабочий диапазон входной сетевой задержки для передатчика модели PT-2000 составляет 27,53 процента в режиме относительной синхронизации. Необходимо также отметить, что если PT-2000 работает в составе одночастотной сети с перекрытием зон обслуживания, то при нестабильности опорного сигнала на одной станции возникает ситуация, когда одна станция функционирует в первом рабочем интервале, а другая – в третьем. Тогда приём сигнала в зоне перекрытия не будет возможен, поскольку один из передатчиков будет излучать в эфир сигнал со смещением времени, то есть с отставанием на 1 секунду. В этом случае, аварийная ситуация будет наблюдаться не только в течение длительности второго интервала, то есть 27,54 процента времени, но и первого, поэтому суммарная длительность неработоспособности передатчика за один цикл спада / нарастания составит 52,05 процента. При отсутствии возможности оперативного устранения неисправности поддержка работоспособности передатчика возможна путём принудительного локального указания времени смещения опорного сигнала на каждой станции.

4. Установлено, что периодичность возникновения ошибок первого приоритета на выходе устройства вставки локального контента при отсутствии опорного сигнала синхронизации в зависимости от аппаратной реализации устройства составляет в среднем 11 секунд, что вызывает кратковременную периодическую остановку вещания. Для недопущения подобной ситуации необходимо резервирование источников синхронизации либо программный или

аппаратный обход устройства модификации.

5. Предложена классификация основных неисправностей комплекса оборудования передающей станции на основе теории графов, которая позволяет рассчитать интенсивности отказов и восстановления для определения коэффициента готовности системы вещания.

6. Обосновано, что сетевая задержка цифрового потока T2-MI имеет нормальное распределение, что подтверждается с помощью расчёта статистики хи-квадрат и правила «трёх сигм». Расчёт доверительных интервалов позволяет определить параметры сетевой задержки на любом участке измерения.

7. Экспериментально подтверждена возможность надежного приёма эфирного телевизионного сигнала в одночастотной зоне при различных вариантах конфигурации замещения контента. Вероятность декодирования всего информационного потока MultiPLP – есть конъюнкция вероятности декодирования каждого канала физического уровня в отдельности.

По результатам работы опубликованы 4 научные работы в изданиях, рекомендованных ВАК к опубликованию основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук, 6 работ в трудах отечественных и международных конференций. Результаты диссертационной работы используются в процессе настройки и текущей эксплуатации оборудования системы вещания DVB-T2 инженерно-техническим персоналом на предприятии ФГУП РТРС «Дальневосточный РЦ» Цех Хабаровск и в качестве учебного пособия для студентов и инженеров по направлению «Цифровое телевизионное вещание DVB-T2».

Таким образом, результаты диссертации направлены на повышение качества передачи цифровых изображений и помехоустойчивости работы системы DVB-T2 с технологией модификации контента, следовательно, работа соответствует п. 5 «Исследование и разработка новых телевизионных систем и устройств с целью повышения качества изображения и помехоустойчивости работы» паспорта специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Рекомендации.

1. При практической эксплуатации системы вещания с использованием передатчика модели РТ-2000 необходимо учитывать рабочие границы значений входной сетевой задержки в зависимости от используемого режима синхронизации.

2. Если система вещания на типовой передающей станции организована с применением технологии модификации контента, то использование дополнительного резервирования схемы позволяет повысить коэффициент готовности на 9,77 процента.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Дальнейшая разработка темы состоит в целесообразности определении номинальных параметров надёжности системы вещания с использованием устройства врезки контента, независящих от конкретных моделей применяемого оборудования, а также в универсализации всех полученных результатов относительно любых типов вещательных устройств сети DVB-T2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная целевая программа «Развитие телерадиовещания в России на 2009 – 2018 годы» [Электронный ресурс] : [ФЦП: утверждена постановлением Правительства РФ от 3.12.2009 г. № 985: по состоянию на 1.01.2019 г.]. – Режим доступа: <https://www.rossvyaz.ru/activity/programms/fcp/trv/>.
2. ETSI TS 102 831 V1.2.1. DVB; Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Технические требования [Электронный ресурс]. – Введ. 08-2012. – France : European Telecommunications Standards Institute, 2012. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/102831/01.02.01_60/ts_102831v010201p.pdf.
3. Телевизионные цифровые системы : учебное пособие [Электронный ресурс] / Н. П. Никитин, В. И. Лузин, В. И. Гадзиковский, Ю. В. Марков. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2016. – 110 с. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40662/1/978-5-7996-1615-1_2016.pdf.
4. ISO/IEC 13818-1. Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. Международный стандарт [Электронный ресурс]. – Введ. 01-12-2000. – Женева : 2000. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:13818:-1:ed-6:v1:en>.
5. EN 302 755 V1.4.1. DVB; Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт [Электронный ресурс]. – Введ. 07-2015. – France : European Telecommunications Standards Institute, 2015. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.04.01_60/en_302755v010401p.pdf.
6. ETSI TS 102 773 V1.4.1. DVB; Modulator Interface for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт [Электронный ресурс]. – Введ. 03-2016. – France : European Telecommunications Standards Institute, 2016. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.04.01_60/ts_102773v010401p.pdf.
7. DVB Document A136. DVB; Modulator Interface (T2-MI. for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [Электронный ресурс]. – Введ. 10-2011. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: http://www.digitaltv.ru/documents/eu_documents/MI-DVB-T2.pdf.

8. Основы частотного планирования сетей телевизионного вещания : учебное пособие для вузов / М. А. Быховский, В. Г. Дотолев, А. В. Лашкевич, В. И. Носов, С. Г. Рихтер, Г. И. Сорокин, С. С. Тарасов ; под ред. М. А. Быховского. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. – 308 с.

9. Кухарская, О. В. Физический смысл синхронизации в одночастотных сетях ТВ-вещания / О. В. Кухарская // Электросвязь. – 2016. - №12. – С. 59-63.

10. Ульяновкин, С. Вопросы доставки сигналов цифрового эфирного вещания через спутниковые линии связи [Электронный ресурс] / С. Ульяновкин, Д. Никитин, Л. Михайлина, А. Харламов // Технологии и средства связи. – 2015. - №5. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <http://lib.tssonline.ru/articles2/sputnik/voprosy-dostavki-signalov-tsifrovogo-efirnogo-veschaniya-cherez-sputnikovyie-linii-svyazi>.

11. Указ Президента РФ «Об общероссийских обязательных общедоступных телеканалах и радиоканалах» [Электронный ресурс] : [Указ №715 от 24.06.2009 г. (ред. 15.07.2015 г.)] : по состоянию на 3.01.2019]. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/195788/>.

12. Тиссен, О. В. Технология регионализации и контента в DVB-T2 / О. В. Тиссен // Материалы конференции «новые информационные технологии в научных исследованиях». – Рязань : РГРТУ, 2018. – Том 1. – С. 0-111. – Дата обращения: 8.01.2019 г. – Режим доступа: http://www.rsreu.ru/%20index.php?option=com_content&view=article&id=11954&catid=542&Itemid=1392.

13. Куликов, С. П. Исследование методов врезки регионального контента в сигналы цифрового эфирного телевидения / С. П. Куликов // Материалы Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной Году российского кино. – Санкт-Петербург : СПбГИКиТ, 2017. – Ч. 3. – С. 13-16. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32423642>.

14. ANSI/SCTE 35. Digital program insertion cueing message for cable [Электронный ресурс]. – Exton, 2014. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: https://www.scte.org/documents/pdf/Standards/ANSI_SCTE%2035%202014.pdf.

15. Перегудов, А. Ф. Обработка сообщений SCTE-104/35 в вещательном видеосервере [Электронный ресурс] / А. Ф. Перегудов // Тезисы 13-ой международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений» – СПб. – 2016. – Т.1. – С.214-221. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27716564>.

16. ANSI/SCTE 118-1. Program-specific ad insertion - data field definitions, functional overview and application guidelines [Электронный ресурс]. – Exton, 2012. – Дата обращения:

5.01.2019 г. – Режим доступа: https://www.scte.org/documents/pdf/standards/ANSI_SCTE%20118-1%202012.pdf.

17. SCTE 118-3. Program-specific ad insertion - traffic system to ad insertion system file format specification [Электронный ресурс]. – Exton, 2006. . – Дата обращения: 5.01.2019 г. – Режим доступа: <https://www.scte.org/documents/pdf/Standards/SCTE%20118-3%202012.pdf>.

18. Использование меток SCTE-104/35 в системах цифровой вставки программ [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 5.01.2019 г. – Режим доступа: http://skylarkrussia.tv/download/SCTE_in_program_insertions.pdf.

19. Устройство вставки рекламного контента TTL2012 [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 5.01.2019 г. – Режим доступа: <http://qualitteq-m.ru/catalog/ttl2012/>.

20. DVB-T2 broadcasting method with the insertion of regional content and device used in the method [Электронный ресурс] : пат. US 2013/0215328A1 США : 1056594/ Richard Lhermitte, Benoit Chauviere, Eric Deniau ; заявитель и патентообладатель Enensys Technologies. - № РСТ/EP2011/062484; заявл. 20.07.2011 ; опубл. 22.04.2013. – 10 С. : ил.

21. Кухарская, О. В. Технология замещения информационного контента в потоке T2-MI / О. В. Кухарская, Е. З. Савин // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Сборник трудов конференции : ДВГУПС. – 2016. – Т. 1. – С. 141-144.

22. Кухарская, О. В. Физические особенности замещения информационного контента в цифровом потоке для DVB-T2 / О. В. Кухарская, Е. З. Савин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2017. – № 6. – С. 55-63.

23. Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот : [Утверждён решением ГКРЧ от 20 декабря 2011 г. № 11-13-02]. – Дата обращения: 6.01.2019 г. – Режим доступа: <http://www.grfc.ru/upload/medialibrary/76b/010109.pdf>.

24. Основы цифрового телевидения в стандарте DVB-T2 : учебное пособие [Электронный ресурс] / ООО «НПП Триада-ТВ». – Новосибирск : ООО «НПП Триада-ТВ», 2014. – 53 с.

25. Требования по технической эксплуатации средств цифрового телевизионного вещания в стандарте DVB-T2 (ТТЭ СЦТВ DVB-T2) [Электронный ресурс]. – Москва. – 2014.

26. ETSI TR 101 290 V1.3.1. DVB; Measurement guidelines for DVB systems. Технические требования [Электронный ресурс]. – Введ. 07-2014. – France : European Telecommunications Standards Institute, 2014. – Дата обращения: 4.01.2019 г. – Режим доступа: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101200_101299/101290/01.02.01_60/tr_101290v_010201p.pdf.

27. Карякин, В. Л. Исследование явления интерференции в одночастотных сетях цифрового ТВ-вещания и оценка эффективности компенсации искажений [Электронный ресурс] / В. Л. Карякин [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – Самара. – 2011. - №4. – Том 4. – С. 53-59. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17272411>.

28. Школьный, С. И. К вопросу об оптимизации сетей телевизионного вещания стандарта DVB-T/T2 [Электронный ресурс] / С. И. Школьный // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт – 2013. - №3. – С. 16-20. – Дата обращения: 3.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20644642>.

29. Ананич, А. В. Новый этап в развитии цифрового телевизионного вещания. Часть 1 [Электронный ресурс] / А. В. Ананич // Вестник связи. – 2011. - №2. – С. 38-42. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: http://vsbel.by/Portico/Files/2011/2/Radiosv_Ananich.pdf.

30. Yongguang Zhang. Satellite Communications in the Global Internet: Issues, Pitfalls, and Potential [Электронный ресурс] / Yongguang Zhang [и др.]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: https://web.archive.org/web/20160103125227/https://www.isoc.org/inet97/proceedings/F5/F5_1.HTM.

31. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для ВУЗов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2013. – 944 с.

32. Карякин, В. Л. Методы ТВ вещания в стандарте DVB-T2 со вставкой регионального контента [Электронный ресурс] / В. Л. Карякин, Д. В. Карякин, Л. А. Морозова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №4. – С. 41-46. Дата обращения: 30.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26168211>.

33. Кручинин С. В. Портовые графы для моделирования телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс] / Научно-исследовательские публикации. – 2017. - №3. – С. 14-22.

34. Карякин В. Л. Оценка эффективности обработки цифрового телевизионного сигнала для коррекции интерференционных искажений в одночастотных сетях ТВ-вещания / В. Л. Карякин // Компьютерная оптика. – 2017. – Том 41. - №2. – С. 276 – 283.

35. Калиновский, Д. А. Проблемы синхронизации передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2 [Электронный ресурс] / Д. А. Калиновский, В. Л. Карякин, Д. В. Карякин, Д. И. Коротков // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2014. – Том 5. - №1. – С. 29-32. – Дата обращения: 3.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25016407>

36. Карякин В. Л. Исследование взаимного влияния передатчиков в одночастотной наземной сети цифрового телевизионного вещания [Электронный ресурс] / В. Л. Карякин, Д. В.

Карякин, В. Б. Толмачёв // Инфокоммуникационные технологии. – 2011. – Том 9. - №1. – С. 78-83. - Дата обращения: 3.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25016407>.

37.. Карякин, В. Л. Метод обеспечения синхронной работы передатчиков в SFN сетях цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2 [Электронный ресурс] / В. Л. Карякин, Д. В. Карякин, Л. А. Морозова // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Том 3. – №2. – С. 3-10. – Дата обращения: 3.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21705274>.

38. Калиновский, Д. А. Синхронизация передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2 [Электронный ресурс] / Д. А. Калиновский, В. Л. Карякин, Д. В. Карякин, О. И. Сидоренко // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Том 11. - №4. – С. 86-90. – Дата обращения: 10.12.2018 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21240471>.

39) Карякин В. Л. Проблемы организации вещания в стандарте DVB-T2 со вставкой регионального контента / В. Л. Карякин, Д. В. Карякин, Л. А. Морозова // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Том 14. - №1. – С. 70-76.

40. Снарский А. А. Моделирование сложных сетей : учебное пособие / А. А. Снарский, Д. В. Ландэ. – Киев : НТУУ «КПИ», 2015. – 212 с.

41. Гладких О. Б. Основные понятия теории графов : учебное пособие / О. Б. Гладких, О. Н. Белых. - Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2008. –175 с.

42. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цирельчук, Ф. Д. Троян. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: https://www.bsuir.by/m/12_108786_1_72356.pdf.

43. Кухарская, О. В. Определение показателей надёжности схемы вещания DVB-T2 [Электронный ресурс] / О. В. Кухарская // Материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники». СФУ. – 2018. – С. 3-7. – Дата обращения: 2.01.2019 г. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34890735>.

44. Агеев Д. В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа / Д. В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. - № 2 (2). – С. 7-22.

45. Ефремов, А. А. Теория надёжности : конспект лекций [Электронный ресурс] / Ефремов А. А. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 83 с. – Дата обращения: 5.0.209 г. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/SHARED/a/ALEXYEFREMOV/tutoring/Tab/Reliability_lectures.pdf.

46. Устройство вставки локального контента TTV-PLPSW-0401. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – ООО «НПП Триада-ТВ». – 2017.

47. Круглов, С. Шагаем в ногу (настраиваем SFN) [Электронный ресурс] / С. Круглов // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2014. - №6. – Дата обращения: 3.01.2019г. – Режим доступа: <http://broadcasting.ru/articles2/newproducts/shagaem-v-nogu-nastraivaem-sfn>.

48. Кухарская, О. В. Методы оценки величины сетевой задержки цифрового потока для DVB-T2 / О. В. Кухарская, Е. З. Савин // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфоркоммуникациях. ДВГУПС. – 2017. – С. 136-141.

49. Программа анализа транспортных и T2-MI потоков «4T2 Content Analyzer» [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: <http://www.4t2.eu/4T2-Content--Analyser/4t2-content--analyser.html>.

50. Кухарская, О. В. Физический смысл применения сетевой задержки цифрового потока для DVB-T2 / О. В. Кухарская // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – № 6. – С. 18-23.

51. Зубарев, Ю. Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. / Ю. Б. Зубарев, М. И. Кривошеев, И. Н. Красносельский. – Москва : НИИР, 2001. – 568 с.

52. Методика определения зоны обслуживания одночастотной сети передающих станций наземного цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2 [Электронный ресурс] : [Приложение №2 к решению ГКРЧ от 16 октября 2015 года №15-35-04]. – Дата обращения: 4.01.2019 г. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420313043>.

53. Липкович, Э. Б. Системы наземного цифрового телевизионного вещания : методические пособия к учебному курсу / Э. Б. Липкович. – Минск : БГУИР. – 2011. – Дата обращения: 4.07.2018 г. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/1007/1/Липкович%2C%20Э.%20Б.%20Системы_назем_циф_телевиз_вещания_Мет_пос.pdf.

54. Спирин Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента [Электронный ресурс] / Н. А. Спирин, В. В. Лавров // Конспект лекций. – Дата обращения: 3.01.2020 г. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/524/28524/files/ustu131.pdf>.

55. Дубатовская, М. В. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс] / М. В. Дубатовская // Конспект лекций. - Дата обращения: 3.01.2019 г. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/49108453-M-v-dubatovskaya-teoriya-veroyatnostey-i-matematicheskaya-statistika-osnovnye-zakony-raspredeleniya-diskretnyh-sluchaynyh-velichin.html>.

56. Золотухин А. Я. Введение в статистическую обработку экспериментальных данных : лабораторный практикум / А. Я. Золотухин, В. И. Чеботарёв. – Хабаровск : Хабаровский государственный педагогический институт. – 1993. – 152 с.

57. Кухарская, О. В. Анализ влияния нестабильности сигнала синхронизации на замещение локального контента для DVB-T2 / О. В. Кухарская, Е. З. Савин // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2018. – № 1. – С. 19-24.

58. Кухарская, О.В. Исследование устройств замещения локального контента / О. В. Кухарская // Технические науки. Теория и практика. Материалы III международной научно-практической конференции. Саратов. – 2017. – С. 56-63.

59. Карякин, В. Л. Техническая реализация метода измерения и калибровки задержек в модуляторах передатчиков стандарта DVB-T2 / В. Л. Карякин, Д. В. Карякин // Электросвязь. – 2018. – №5. – С. 22-25.

60. Программное обеспечение «MPEG-2 TS Packet Analyzer» [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: <https://www.softpedia.com/get/Multimedia/Video/Other-VIDEO-Tools/MPEG2-TS-Packet-Analyser.shtml>

61. Cisco D9854/D9854-I Advanced Program Receiver Software Version 4.10 Installation and Configuration Guide [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 7.01.2019 г. – Режим доступа: https://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/video/headend/Digital_Receivers/V4-10/D9854-D9854-I-Advanced-Program-Receiver-SW-Version-4-10-Installation-and-Configuration-Guide.pdf.

62. Надёжность систем управления : учебное пособие [Электронный ресурс] / В. Н. Шкляр. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 126 с. – Дата обращения: 5.0.2019 г. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/departments/otdel/publish/izdaniya_razrabotanye_v_ramkah_IOP/Tab/ik_shklyar_nadezhnost_system_upravleniya.pdf.

63. Лейбов А. Нормирование показателей надёжности сетей цифрового телевизионного вещания / А. Лейбов, Р. Майзульс, Ю. Шавдия // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2014. – №3. – Дата обращения: 7.01.2019 г. – Режим доступа: <http://broadcasting.ru/articles2/Regandstan/normirovanie-pokazateley-nadezhnosti-setey-tsifrovogo-televizionnogo-veschaniya>.

64. Программное обеспечение «WAMP Server» [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: <http://www.wampserver.com/ru/>.

65. Программное обеспечение «WAMP Server» [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: <http://wampserver.aviatechno.net/?lang=en&oldversions=afficher>.

66. Кухарская, О. В. Разработанное WEB-приложение [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 20.12.2018 г. – Режим доступа: http://compinftech.org/upload/olga/Program_Model_version_3/Start.php.

67. Устройство вставки рекламного контента TTL-2012 [Электронный ресурс] : сайт компании QUALITTEQ. – Дата обращения 21.10.2019. – Режим доступа : <https://qualitteq.ru/catalog/TTL2012-ads/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
АКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Начальник цеха Хабаровск
филиала ФГУП РТРС
«Дальневосточный региональный центр»
В. Н. Титаев
_____ / 2019 г.



АКТ
использования результатов диссертационной работы
Тиссен Ольги Владимировны

В процессе текущей эксплуатации одночастотной сети эфирных цифровых телевизионных передатчиков стандарта DVB-T2 в районе им. Лазо Хабаровского края, а также при формировании информационного потока T2-MI используются следующие результаты диссертационной работы О. В. Тиссен:

- анализа характера изменения величины сетевой задержки потока для модуляторов DVB-T2, зависимости задержки от стабильности опорного сигнала синхронизации;
- исследования рабочих диапазонов сетевой задержки потока для передатчиков модели РТ-2000, используемых в настоящее время при организации эфирного вещания;
- исследования возможности приёма в одночастотной зоне при модификации контента на передающих станциях SFN.

Заместитель начальника цеха Хабаровск
ФГУП РТРС «Дальневосточный РЦ»



Ю. В. Крутенёв

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОГУ  Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТИХООКЕАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

№ _____
 на № _____



Тел. (4212) 37-51-86
 Факс (4212) 72-06-84
 Email: mail@pnu.edu.ru
 http://pnu.edu.ru/

Утверждаю
 Проректор ТОГУ
 С.А. Ковальчук
 « 2 » 2019 г.



АКТ

о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы
 Тиссен Ольги Владимировны в образовательном процессе ТОГУ

Комиссия в составе:

Председатель: директор департамента академической политики – Стельмаков В.А.

Члены комиссии:

декан факультет автоматизации и информационных технологий – Шеленок Е.А.;
 зав. кафедрой вычислительной техники – Сай С.В.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Тиссен О.В. на тему «Способы повышения надежности одночастотной системы вещания DVB-T2 с использованием технологии регионализации контента» использованы в учебном процессе ТОГУ при подготовке бакалавров направлений 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» в разделах программы дисциплины «Технологии цифрового телерадиовещания».

В практической части диссертационных исследований разработано и представлено Web-приложение, которое использовано как учебно-наглядное пособие для изучения особенностей системы цифрового телерадиовещания DVB-T2. Учебно-наглядная модель создана при помощи WampServer версии 2.5 и версии PHP 5.5.12. Разработанное Web-приложение доступно в сети интернет по ссылке http://compinftech.org/upload/olga/Program_Model_version_3/Start.php, также может быть размещено на сервере локальной сети или на персональном компьютере, не подключённом к локальным и интернет-сетям.

Председатель комиссии _____  Стельмаков В.А.

Члены комиссии: _____  Шеленок Е.А.

_____  Сай С.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ

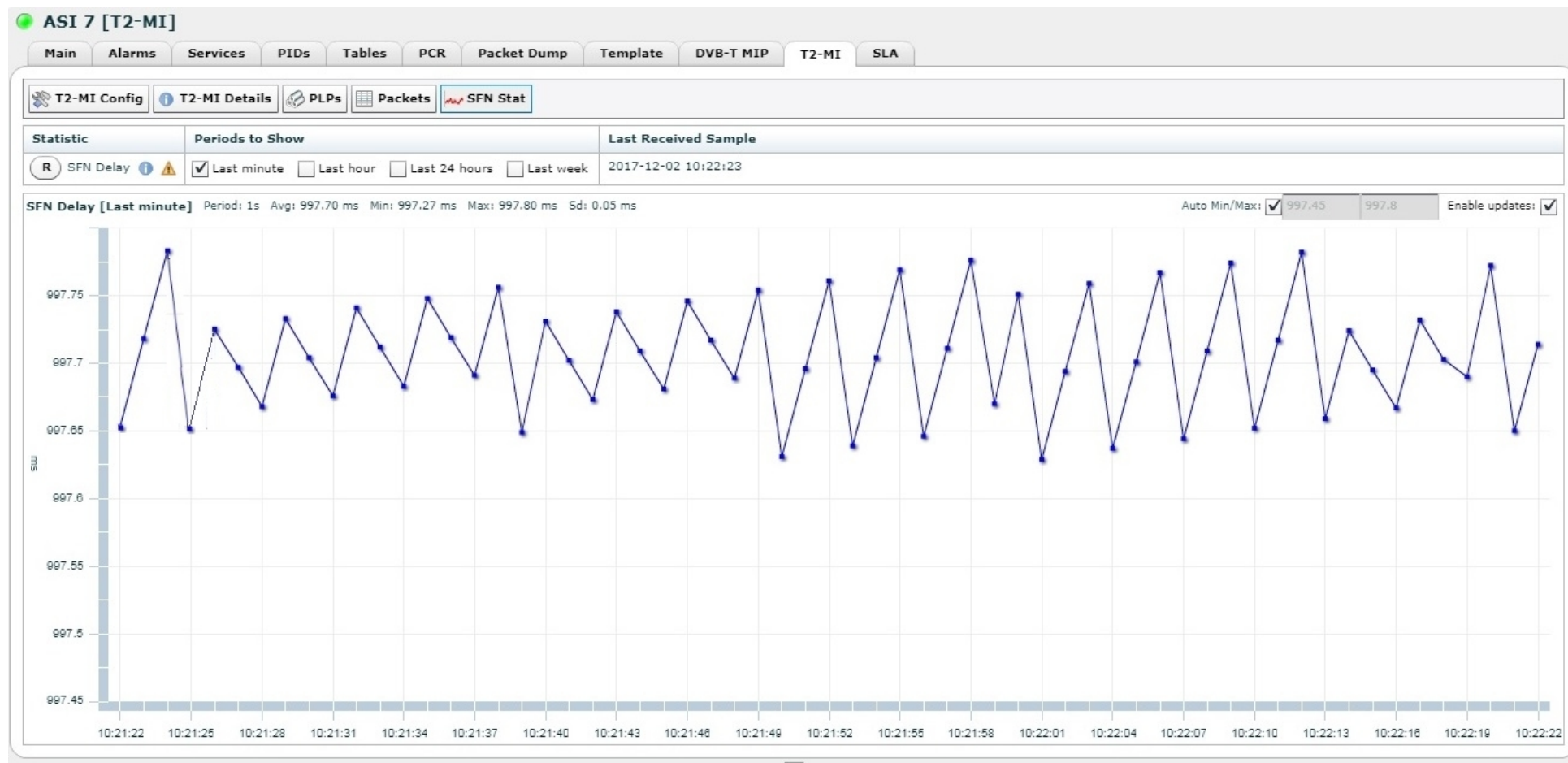


Рисунок Б.1а – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала приёмника GPS/ГЛОНАСС. График сетевой задержки представлен во временном интервале, равном одной минуте.



Рисунок Б.16 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала приёмника GPS/ГЛОНАСС. График сетевой задержки представлен во временном интервале, равном одному часу.

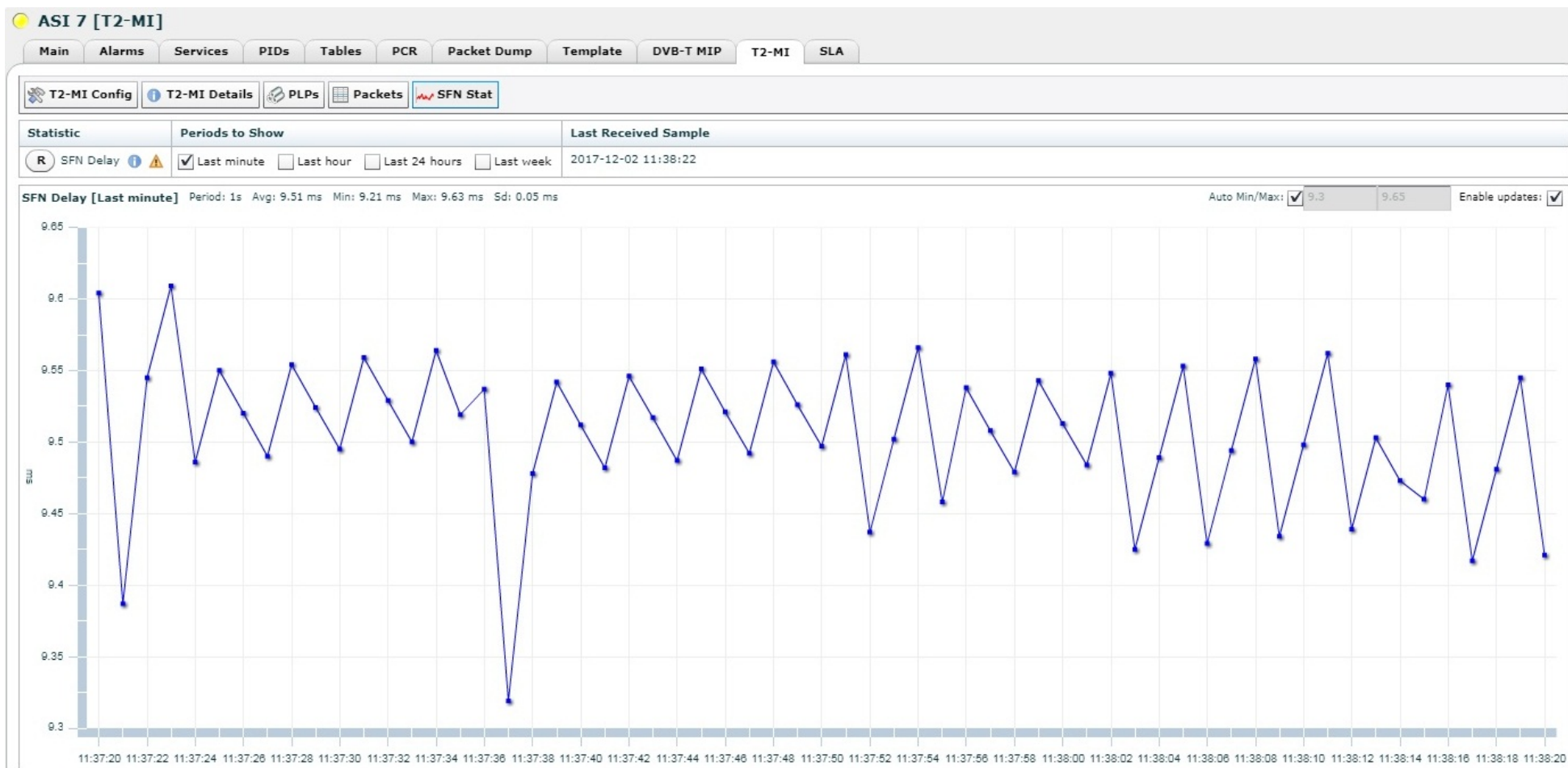


Рисунок Б.2 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -1$ мкс.

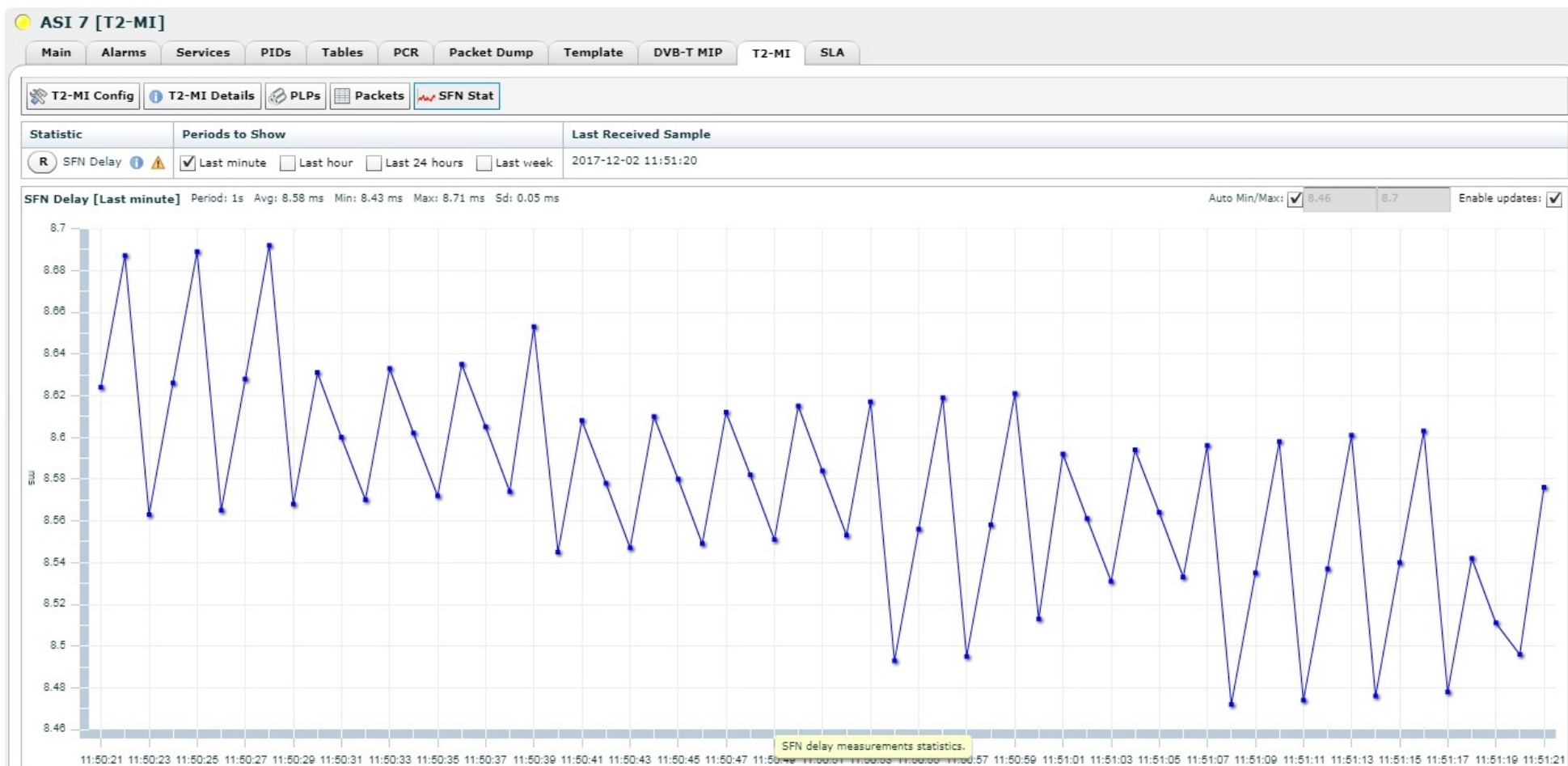


Рисунок Б.3 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -2$ мкс.

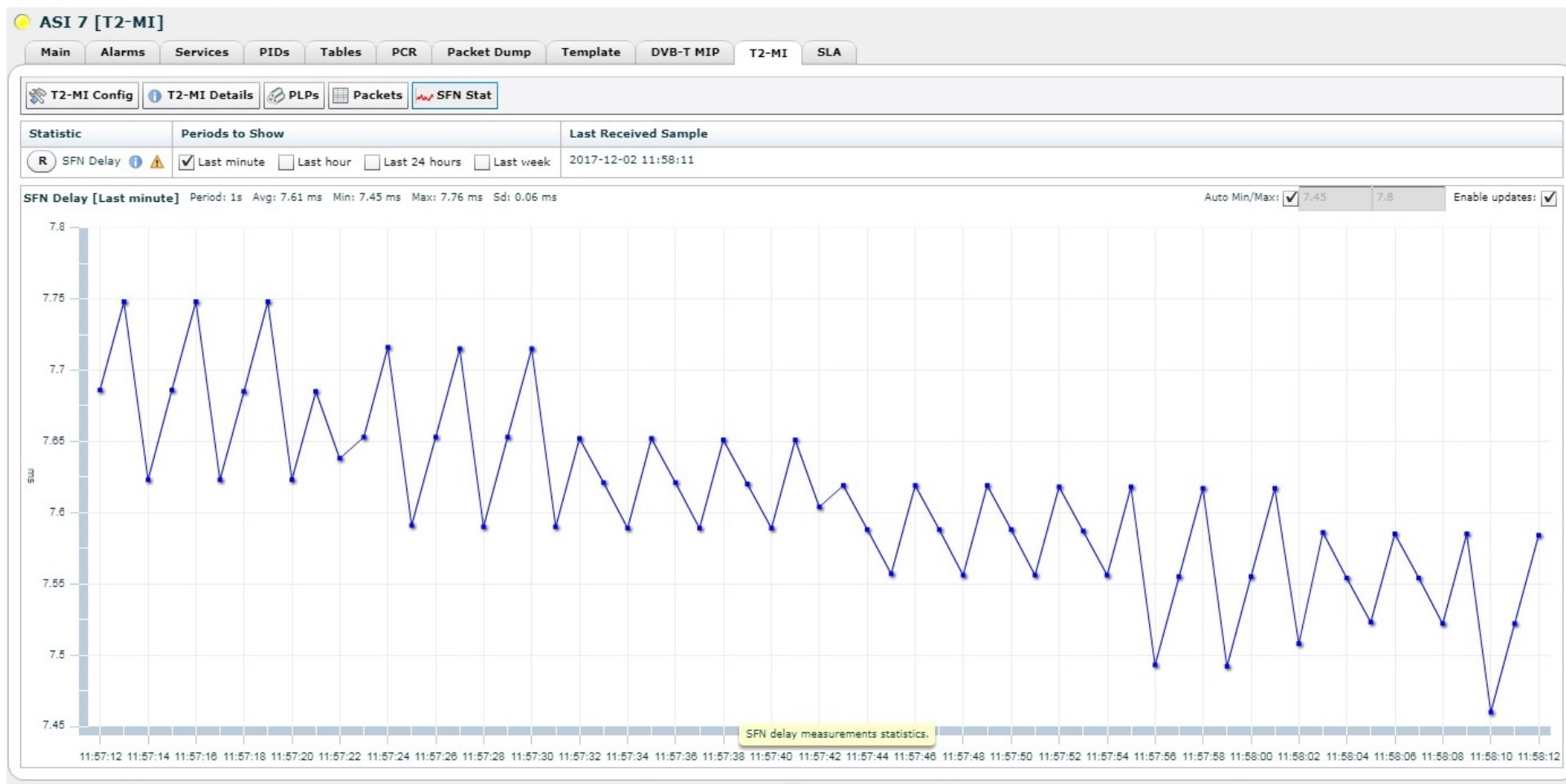


Рисунок Б.4 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -3$ мкс.

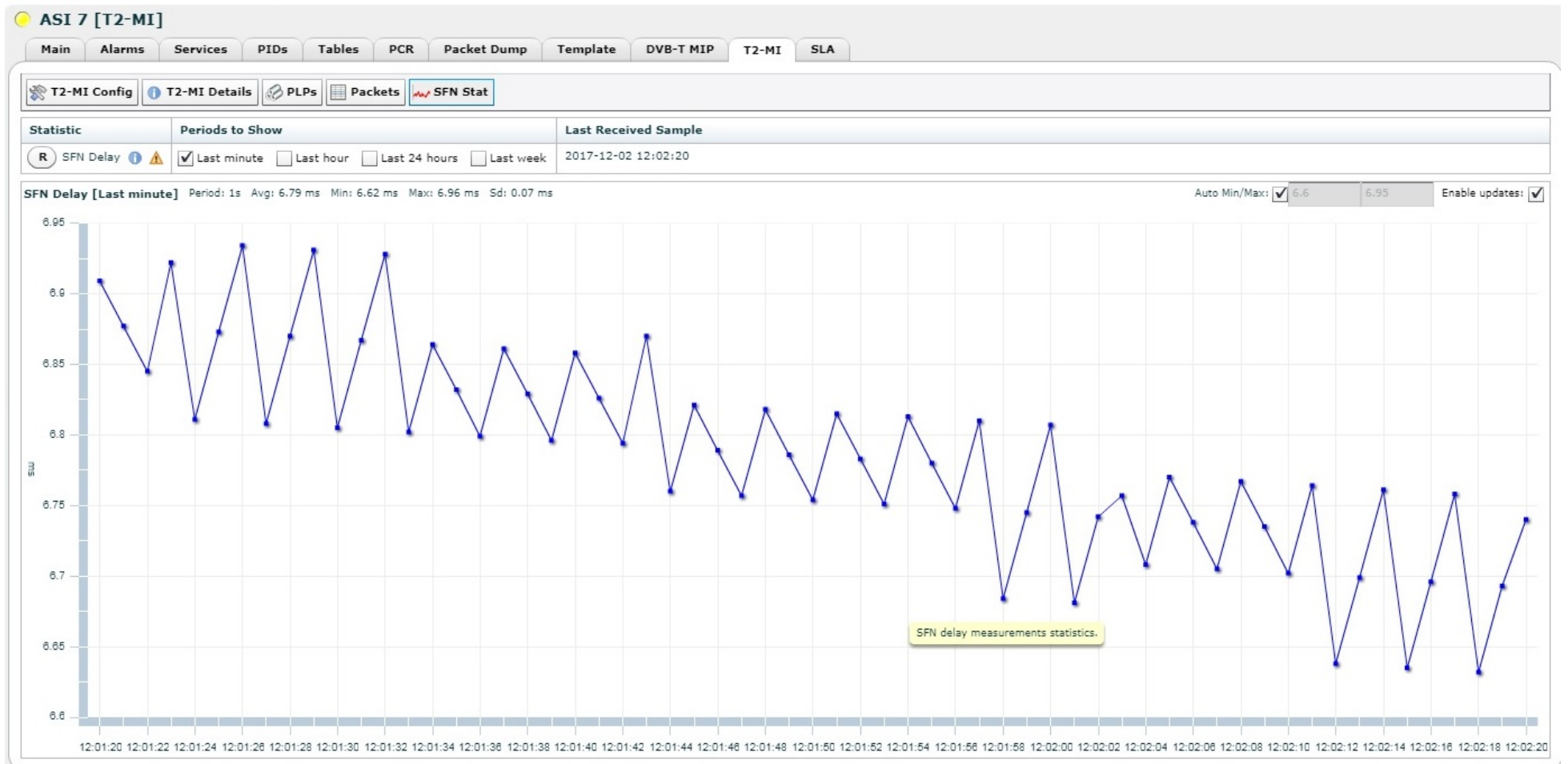


Рисунок Б.5 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -4$ мкс.

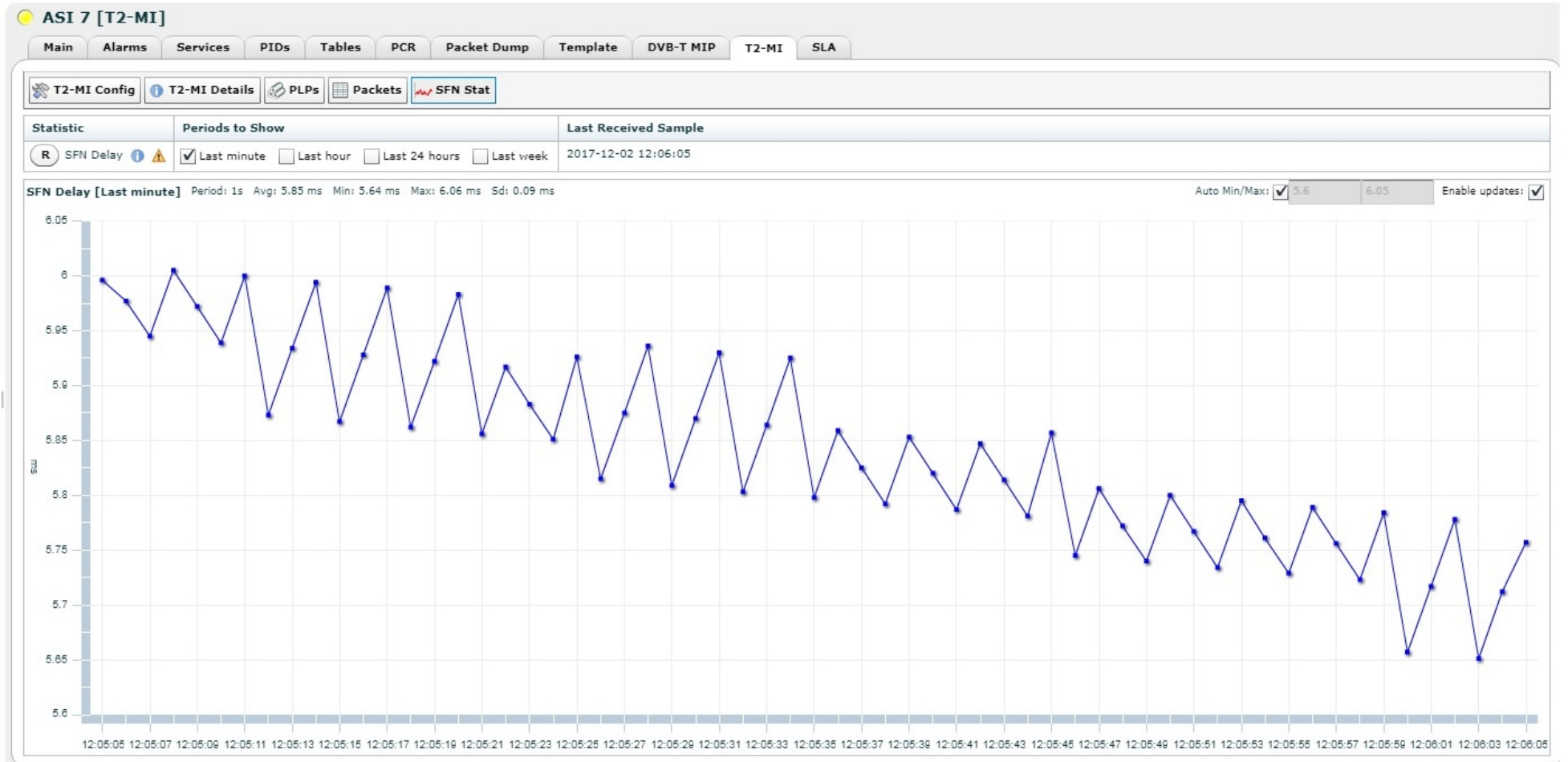


Рисунок Б.6 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -5$ мкс.

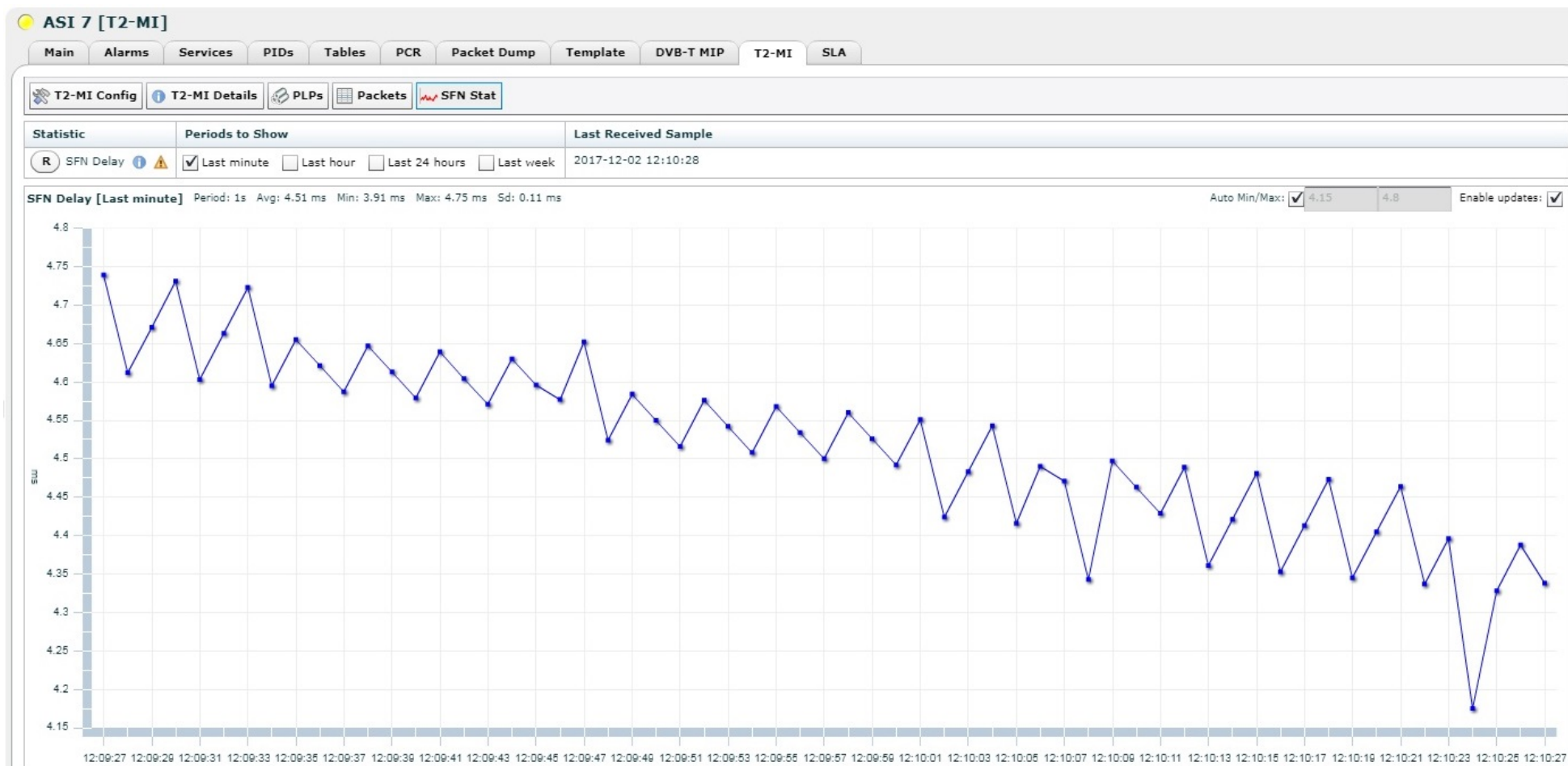


Рисунок Б.7 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = -6$ мкс.

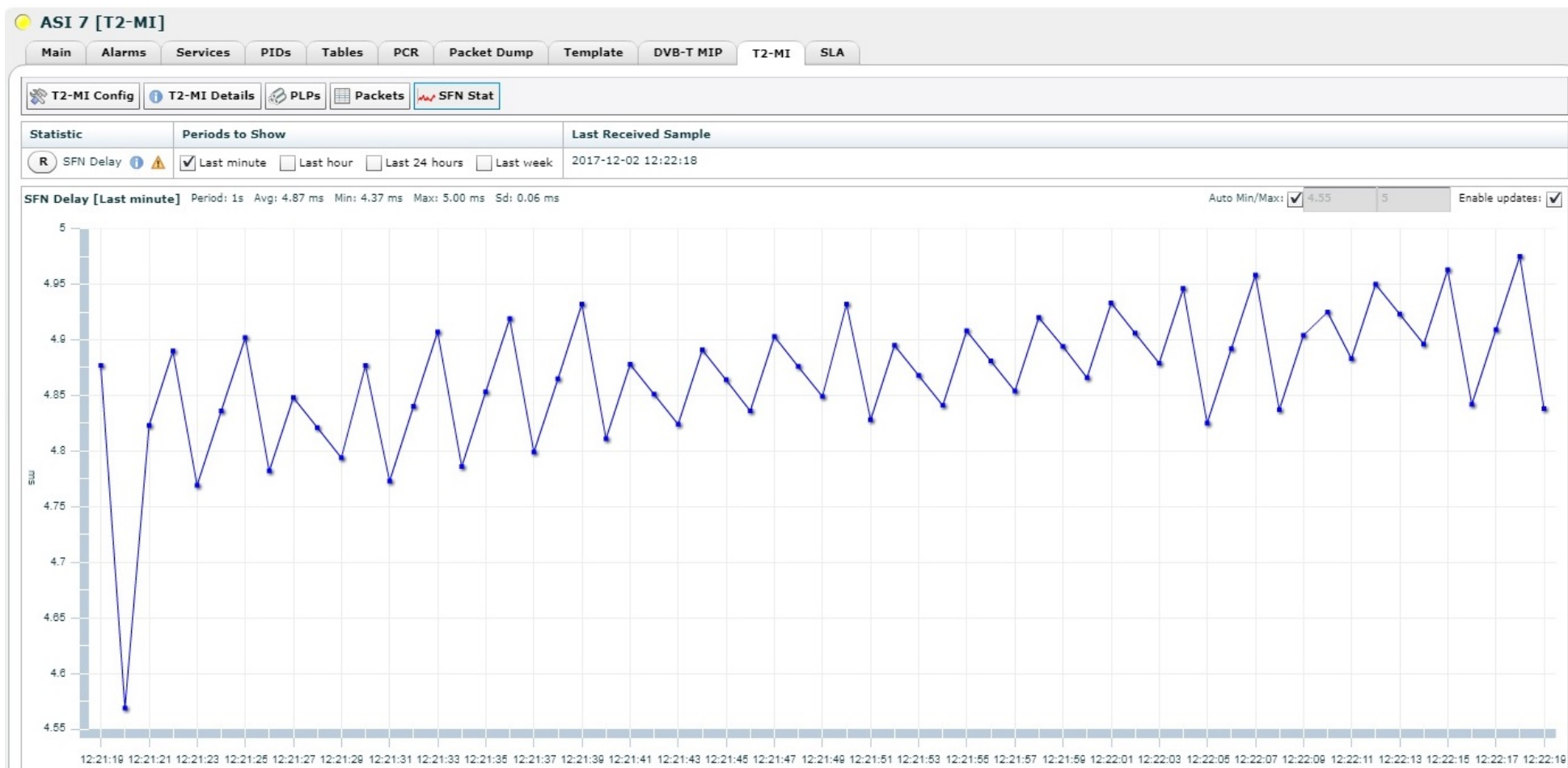


Рисунок Б.8 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = 1$ мкс.

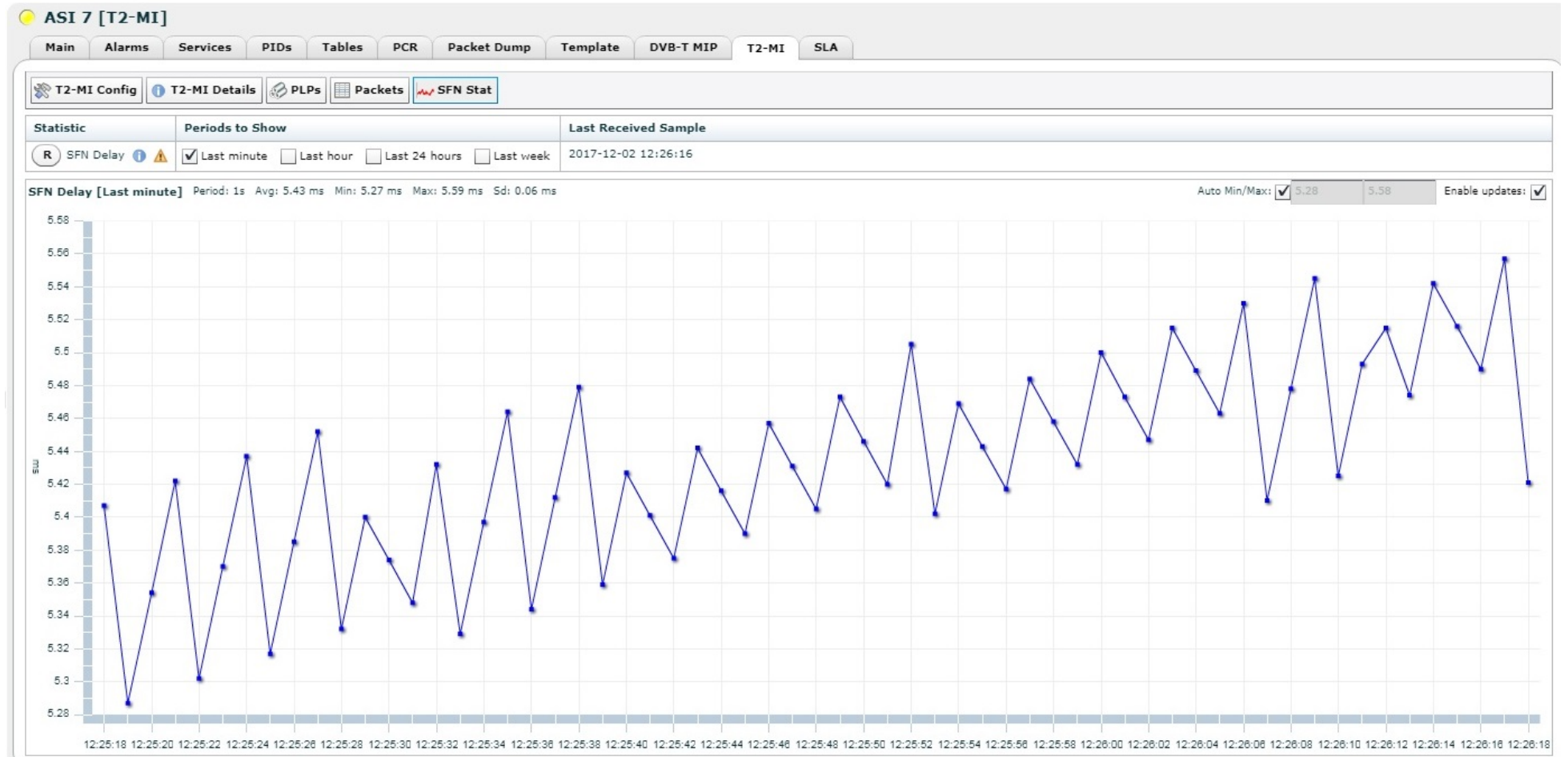


Рисунок Б.9 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = 2$ мкс.

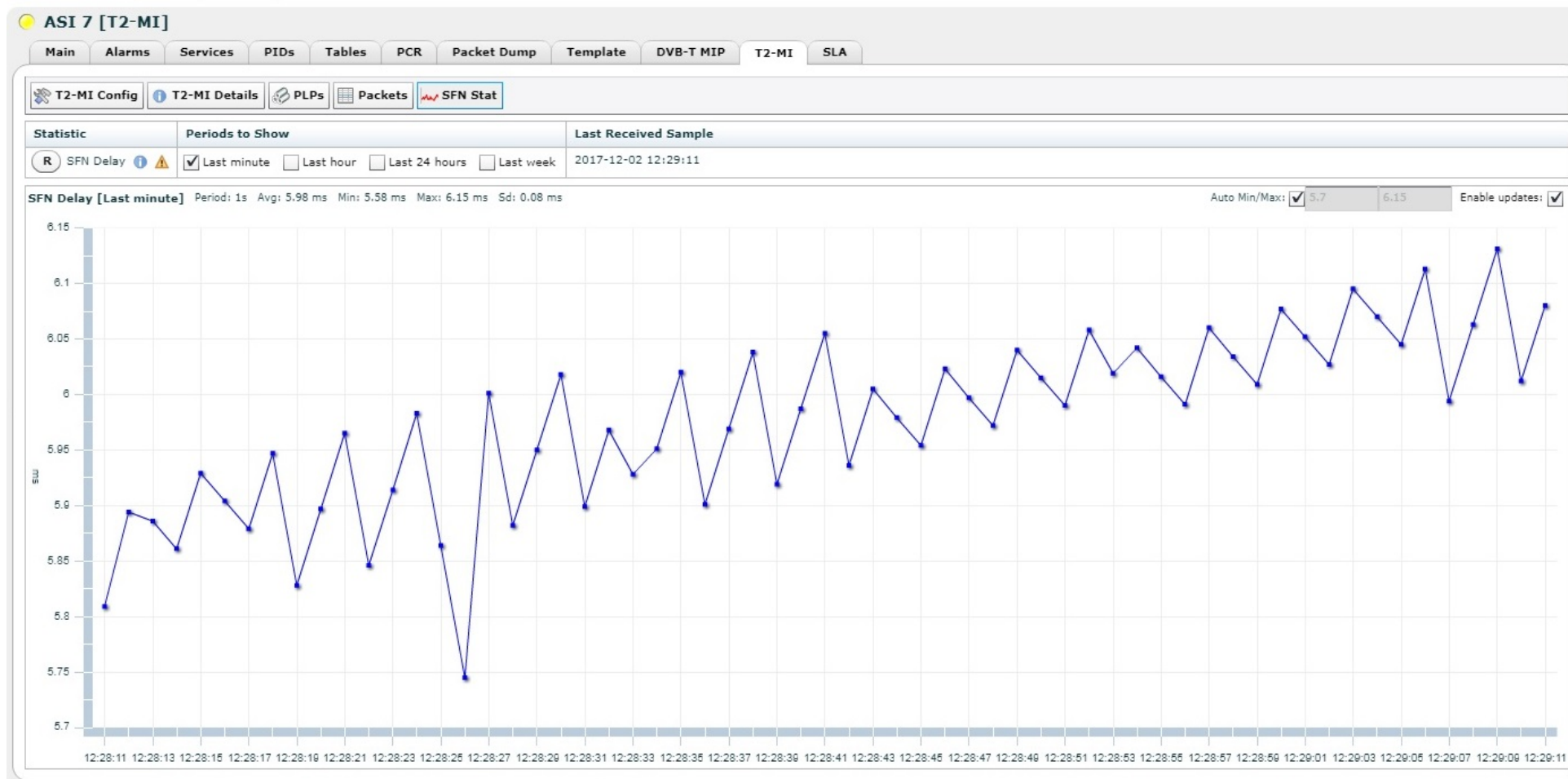


Рисунок Б.10 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = 3$ мкс.

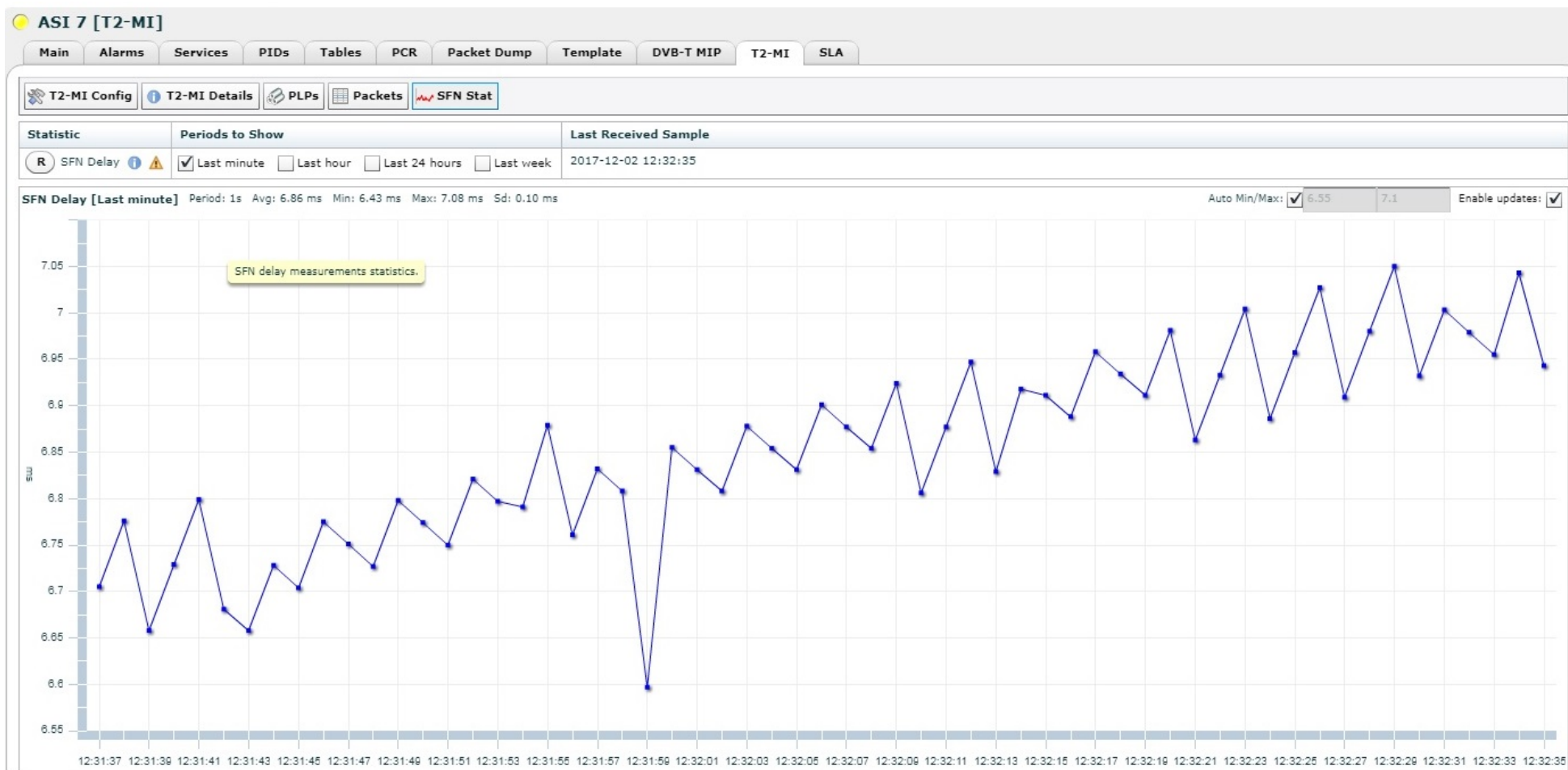


Рисунок Б.11 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = 5$ мкс.

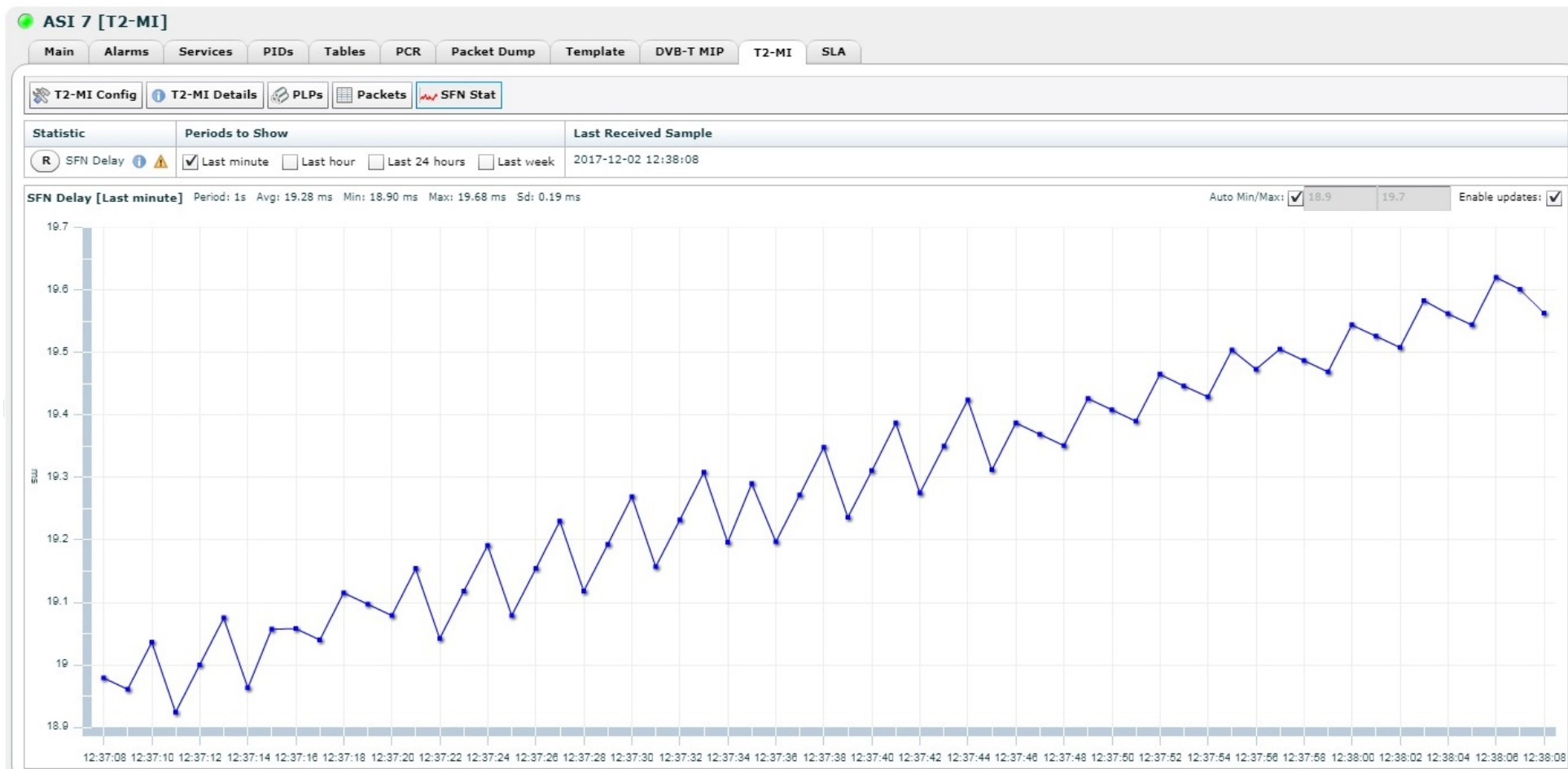
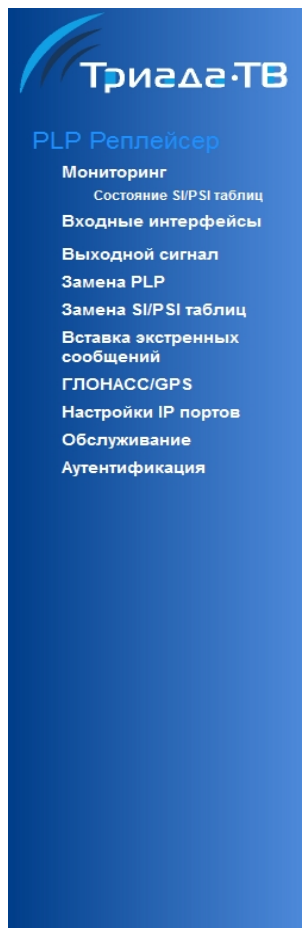



Рисунок Б.12 – Снимок экрана компьютера с изображением WEB интерфейса анализатора TNS-546 при синхронизации его с помощью опорного сигнала с генератора АКПП-3413/3 при $\Delta PPS = 10$ мкс.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВРЕЗКИ КОНТЕНТА









 PLP Реплейсер

РЕЗЕРВ ЦТТВ

Мониторинг

	Конфигурация	Активность
PLP Remux A		
PLP Remux B		
PLP Remux C	---	---
PLP Remux D	---	---

Наименование параметра	Значение
Сигнал PPS	
Выход ASI	Вкл.
Вставка экстренных сообщений	Выкл.
Статус потока видео для вставки экстренных сообщений	
Статус потока аудио для вставки экстренных сообщений	
Температура главного модуля, °C	46

	ASI1	ASI2	ASI выход
Синхронизация TS			
Размер пакетов	188 байт	188 байт	188 байт
Скорость передачи, МБит/с	33.400832	8.025344	33.400832




Сообщения	
	Нет захвата ФАПЧ 10 МГц.
	Не готов к работе в SFN.

Рисунок В.1 – Снимок экрана компьютера с web интерфейсом инсёртера (НПП «ТРИАДА ТВ»). Текущий статус.

Триада ТВ

PLP Реплейсер

- Мониторинг
 - Состояние SI/PSI таблиц
- Входные интерфейсы**
- Выходной сигнал
- Замена PLP
- Замена SI/PSI таблиц
- Вставка экстренных сообщений
- ГЛОНАСС/GPS
- Настройки IP портов
- Обслуживание
- Аутентификация

 **PLP Реплейсер**
РЕЗЕРВ ЦТРВ

Входные интерфейсы

Наименование параметра	Управление
Федеральный поток	<input checked="" type="radio"/> ASI1 (рекомендуется) <input type="radio"/> ASI2 <input type="radio"/> Выкл.
Региональный поток	<input type="radio"/> ASI1 <input checked="" type="radio"/> ASI2 (рекомендуется) <input type="radio"/> Выкл.
PID федерального потока	<input type="text" value="4096"/>
PID регионального потока	<input type="text" value="4096"/>
Источник синхронизации 10 МГц	<input checked="" type="radio"/> Внутр. <input type="radio"/> ГЛОНАСС/GPS <input type="radio"/> PPS
Вход PPS	<input checked="" type="radio"/> Внешний <input type="radio"/> ГЛОНАСС/GPS
Фронт PPS	<input checked="" type="radio"/> Передний <input type="radio"/> Задний
Режим относительной синхронизации	<input type="checkbox"/>
Автосброс ASI1	<input type="checkbox"/>



Применить

Отменить

Рисунок В.2 – Снимок экрана компьютера с web интерфейсом инсёртера (НПП «ТРИАДА ТВ»). Настройки интерфейса передачи опорного сигнала.

PLP Реплейсер

Мониторинг

Состояние SI/PSI таблиц

Входные интерфейсы

Выходной сигнал

Замена PLP

Замена SI/PSI таблиц


Вставка экстренных сообщений

ГЛОНАСС/GPS

Настройки IP портов

Обслуживание

Аутентификация

 PLP Реплейсер

РЕЗЕРВ ЦТРВ

ГЛОНАСС/GPS

Мониторинг	
Состояние модуля синхронизации	Норма
Состояние антенны	Холостой ход
Захват спутников	Нет
Захват ФАПЧ	Нет
Режим	2D
Количество видимых спутников	ГЛОНАСС: 0 , GPS: 0
Количество используемых спутников	ГЛОНАСС: 0 , GPS: 0
Текущие дата и время	1980-01-06 00:15:12
Широта, долгота	0.00000° N, 0.00000° E
Версия прошивки контроллера	v2.1 (2013-12-25)
Версия прошивки приемника НАВИС	CSM24 04.08 20/10/14

Видимые спутники с максимальным ОСШ				
ID спутника	0	0	0	0
ОСШ	0 дБ	0 дБ	0 дБ	0 дБ

Управление	
Привязка PPS	GPS
Навигационная система	GPS, ГЛОНАСС
Режим работы приемника	<input type="radio"/> Навигационный <input type="radio"/> Режим с фиксированными координатами <input checked="" type="radio"/> Режим усреднения координат (рекомендуется)
Время усреднения координат	120 мин
Минимальное значение ОСШ (при котором допускается использование спутника для синхронизации)	20 дБ

Рисунок В.3 – Снимок экрана компьютера с web интерфейсом инсертера (НПП «ТРИАДА ТВ»). Статус встроенного спутникового приёмника.

Navigator

Inputs Overview

- ASI 1 []
- ASI 2 []
- PLP 0
- PLP 1
- PLP 2
- ASI 3 []
- ASI 4 [test]
- PLP 1
- PLP 0
- ASI 5 []
- ASI 6 []
- ASI 7
- ASI 8 []
- IP 1 []
- IP 2 []
- IP 3 []
- IP 4
- IP 5
- IP 6
- IP 7
- IP 8
- IP 9
- IP 10
- IP 11
- IP 12
- IP 13
- IP 14
- IP 15
- IP 16

● ASI 4 [test]

Main Alarms Services PIDs Tables PCR Packet Dump Template DVB-T MIP T2-MI SLA

Alarm Config Alarm Log

Severity	On Time	Off Time	Alarm Type	Source	Description	Alarm ID
Critical	2018-09-06 14:50:19	2018-09-06 14:50:22	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Warning	2018-09-06 14:50:18	2018-09-06 14:50:24	Port	ASI 4 [test]	No T2-MI stream	1594
Critical	2018-09-06 14:50:04	2018-09-06 14:50:18	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Major	2018-09-06 14:50:03	2018-09-06 14:50:18	Port	ASI 4 [test]	Sync unstable	1100
Critical	2018-09-06 14:49:53	2018-09-06 14:49:58	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:49:41	2018-09-06 14:49:46	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Minor	2018-09-06 14:49:32	2018-09-06 14:49:37	Port	ASI 4 [test]	TS unstable	1101
Critical	2018-09-06 14:49:31	2018-09-06 14:49:32	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:49:20	2018-09-06 14:49:30	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Major	2018-09-06 14:49:19	2018-09-06 14:49:30	Port	ASI 4 [test]	Sync unstable	1100
Critical	2018-09-06 14:49:17	2018-09-06 14:49:19	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:49:05	2018-09-06 14:49:08	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:48:53	2018-09-06 14:48:55	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:48:42	2018-09-06 14:48:44	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:48:34	2018-09-06 14:48:42	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Major	2018-09-06 14:48:31	2018-09-06 14:48:42	Port	ASI 4 [test]	Sync unstable	1100
Critical	2018-09-06 14:48:27	2018-09-06 14:48:29	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:48:16	2018-09-06 14:48:18	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:48:05	2018-09-06 14:48:08	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110
Critical	2018-09-06 14:47:54	2018-09-06 14:47:59	Port	ASI 4 [test]	No sync	1110

Alarms in log: 32
 Enable updates

Current alarms

Severity	On Time	Alarm Type	Description	Alarm ID	Details
----------	---------	------------	-------------	----------	---------

Рисунок В.4 – Снимок экрана компьютера с web-интерфейсом аппаратного анализатора транспортных потоков TNS-546 в режиме логирования событий потока с инсёртера.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА СТАТИСТИКИ ХИ-КВАДРАТ

Таблица Г.1 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999995$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.*}$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	P_j	χ^{2+}
5,635	5,665	2	5,635	5,755	9	0,089769	0,0905394	-0,3365	-0,4893	0,1533	0,0030785
5,665	5,695	0	5,755	5,785	9			-0,2389	-0,3365	0,0943	1,6879672
5,695	5,725	4	5,785	5,845	11			0,008	-0,2389	0,2482	0,9819492
5,725	5,755	3	5,845	5,875	12			0,1368	0,008	0,131	2,3615404
5,755	5,785	9	5,875	5,935	10			0,235	0,1368	0,2091	2,8641656
5,785	5,815	8	5,935	6,025	9			0,4772	0,235	0,1329	2,1059059
5,815	5,845	3									
5,845	5,875	12									
5,875	5,905	1									
5,905	5,935	9									
5,935	5,965	1									
5,965	5,995	6									
5,995	6,025	2									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					10,004607

Таблица Г.2 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999996$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.*}$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	P_j	χ^{2+}
6,6125	6,6375	3	6,6125	6,6875	5	0,073765	0,074398	-0,4147	-0,4913	0,0766	0,0355126
6,6375	6,6625	0	6,6875	6,7375	7			-0,258	-0,4147	0,1567	0,6136571
6,6625	6,6875	2	6,7375	6,7625	10			-0,1406	-0,258	0,1174	1,2404793
6,6875	6,7125	6	6,7625	6,7875	8			-0,009	-0,1406	0,1316	0,0013698
6,7125	6,7375	1	6,7875	6,8125	7			0,1219	-0,009	0,1309	0,0928591
6,7375	6,7625	10	6,8125	6,8375	8			0,2422	0,1219	0,1203	0,0847221
6,7625	6,7875	8	6,8375	6,8625	5			0,339	0,2422	0,0968	0,1124077
6,7875	6,8125	7	6,8625	6,8875	5			0,4082	0,339	0,0692	0,1731946
6,8125	6,8375	8	6,8875	6,9375	5			0,478	0,4082	0,0698	0,1574365
6,8375	6,8625	5									
6,8625	6,8875	5									
6,8875	6,9125	1									
6,9125	6,9375	4									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					2,5116389

Таблица Г.3 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999997$ с .

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат								
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.*}$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	P_j	χ^{2+}								
7,4585	7,4815	2	7,4585	7,5275	7	0,064332	0,0648839	-0,398	-0,49	0,092	0,3968116								
7,4815	7,5045	1	7,5275	7,5735	9			-0,2123	-0,398	0,1857	0,41179								
7,5045	7,5275	4	7,5735	7,5965	12			-0,0793	-0,2123	0,133	2,0251128								
7,5275	7,5505	0	7,5965	7,6425	15			0,1915	-0,0793	0,2708	0,0958582								
7,5505	7,5735	9	7,6425	7,6655	7			0,3051	0,1915	0,1136	0,0049671								
7,5735	7,5965	12	7,6655	7,7575	10			0,4887	0,3051	0,1836	0,0937052								
7,5965	7,6195	1																	
7,6195	7,6425	14																	
7,6425	7,6655	7																	
7,6655	7,6885	4																	
7,6885	7,7115	0																	
7,7115	7,7345	3																	
7,7345	7,7575	3																	
Сумма:		60										Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:				3,0282449

Таблица Г.4 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999998$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.*}$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	P_j	χ^{2+}
8,46085	8,47915	3	8,46085	8,51575	9	0,052016	0,0524626	-0,3729	-0,4856	0,1127	0,7407045
8,47915	8,49745	3	8,51575	8,55235	11			-0,17	-0,3729	0,2029	0,1132147
8,49745	8,51575	3	8,55235	8,57065	8			-0,036	-0,17	0,134	0,0001990
8,51575	8,53405	1	8,57065	8,58895	6			0,0987	-0,036	0,1347	0,536343
8,53405	8,55235	10	8,58895	8,60725	10			0,2257	0,0987	0,127	0,7433596
8,55235	8,57065	8	8,60725	8,62555	9			0,3289	0,2257	0,1032	1,2733953
8,57065	8,58895	6	8,62555	8,69875	7			0,4907	0,3289	0,1618	0,7553836
8,58895	8,60725	10									
8,60725	8,62555	9									
8,62555	8,64385	3									
8,64385	8,66215	1									
8,66215	8,68045	0									
8,68045	8,69875	3									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					4,1625998

Таблица Г.5 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 0,999999$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во значений	Объединённый вариационный ряд		Кол-во значений	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}
9,3075	9,3325	2	9,411875	9,460625	8	0,042783	0,043163	-0,379	-0,4893	0,1103	0,401464
9,3325	9,3575	4	9,460625	9,493125	11			-0,1628	-0,379	0,2162	0,189031
9,3575	9,3825	2	9,493125	9,509375	7			-0,016	-0,1628	0,1468	0,269356
9,3825	9,4075	2	9,509375	9,525625	11			0,1293	-0,016	0,1453	0,785328
9,4075	9,4325	9	9,525625	9,541875	6			0,2611	0,1293	0,1318	0,35373
9,4325	9,4575	7	9,541875	9,558125	9			0,3621	0,2611	0,101	1,685245
9,4575	9,4825	11	9,558125	9,623125	6			0,4952	0,3621	0,1331	0,383133
9,4825	9,5075	6									
9,5075	9,5325	9									
9,5325	9,5575	4									
9,5575	9,5825	0									
9,5825	9,6075	0									
9,6075	9,6325	2									
Сумма:		58	Сумма:		58	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					4,067287

Таблица Г.6 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,0$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол- во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправлен- ное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероят- ность	Статис- тика хи- квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}
997,6185	997,6315	3	997,6185	997,6445	5	0,04427	0,0446511	-0,4192	-0,4767	0,0575	0,696377
997,6315	997,6445	2	997,6445	997,6575	6			-0,3665	-0,4192	0,0527	2,547199
997,6445	997,6575	6	997,6575	997,6705	5			-0,2939	-0,3665	0,0726	0,09521
997,6575	997,6705	5	997,6705	997,6965	8			-0,0948	-0,2939	0,1991	1,303442
997,6705	997,6835	2	997,6965	997,7225	9			0,1331	-0,0948	0,2279	1,597651
997,6835	997,6965	6	997,7225	997,7355	7			0,2389	0,1331	0,1058	0,066967
997,6965	997,7095	4	997,7355	997,7615	9			0,3888	0,2389	0,1499	4 10^{-6}
997,7095	997,7225	9	997,7615	997,7875	7			0,4641	0,3888	0,0753	1,363507
997,7225	997,7355	7									
997,7355	997,7485	1									
997,7485	997,7615	8									
997,7615	997,7745	3									
997,7745	997,7875	4									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:				7,670356	

Таблица Г.7 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,000001$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол-во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}
4,7614583	4,7785417	3	4,7614	4,812708	7	0,050047	0,050484	-0,379	-0,4854	0,1064	0,083131
4,7785417	4,795625	2	4,8127	4,846875	11			-0,1879	-0,379	0,1911	0,006702
4,795625	4,8127083	2	4,8469	4,863958	7			-0,0596	-0,1879	0,1283	0,042876
4,812708	4,8297917	5	4,864	4,881042	10			0,0753	-0,0596	0,1349	0,523335
4,8297916	4,846875	6	4,8810	4,915208	12			0,3051	0,0753	0,2298	0,179079
4,846875	4,863958	7									
4,8639583	4,8810417	10									
4,8810417	4,898125	5									
4,898125	4,9152083	7									
4,9152083	4,9322917	7									
4,9322917	4,949375	1									
4,949375	4,9664583	3									
4,9664583	4,9835417	1									
Сумма:		59	Сумма:	59	Суммарное значение статистики хи-квадрат:						0,987883

Таблица Г.8 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,000002$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол- во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправлен- ное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероят- ность	Статис- тика хи- квадрат		
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}		
5,27875	5,30125	2	5,27875	5,34625	6	0,062396	0,062932	-0,4147	-0,4927	0,078	0,3723077		
5,30125	5,32375	1	5,34625	5,39125	8			-0,2422	-0,4147	0,1725	0,5335749		
5,32375	5,34625	3	5,39125	5,41375	8			-0,1179	-0,2422	0,1243	0,0393891		
5,34625	5,36875	3	5,41375	5,43625	8			0,0239	-0,1179	0,1418	0,0303319		
5,36875	5,39125	5	5,43625	5,45875	7			0,1628	0,0239	0,1389	0,2135296		
5,39125	5,41375	8	5,45875	5,48125	9			0,2823	0,1628	0,1195	0,4670711		
5,41375	5,43625	8	5,48125	5,50375	5			0,3708	0,2823	0,0885	0,0180979		
5,43625	5,45875	7	5,50375	5,57125	9			0,4861	0,3708	0,1153	0,6265863		
5,45875	5,48125	9											
5,48125	5,50375	5											
5,50375	5,52625	4											
5,52625	5,54875	3											
5,54875	5,57125	2											
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					1,674302		

Таблица Г.9 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,000003$ с.

Интервалы вариационного ряда		Кол- во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправлен- ное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероят- ность	Статис- тика хи- квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}
5,796875	5,823125	1	5,796875	5,875625	7	0,074466	0,075117	-0,4099	-0,4915	0,0816	0,9922
5,823125	5,849375	2	5,875625	5,901875	6			-0,3389	-0,4099	0,071	0,782937
5,849375	5,875625	4	5,901875	5,954375	9			-0,1141	-0,3389	0,2248	1,370323
5,875625	5,901875	6	5,954375	5,980625	10			0,0239	-0,1141	0,138	0,423995
5,901875	5,928125	4	5,980625	6,033125	14			0,2764	0,0239	0,2525	0,05407
5,928125	5,954375	5	6,033125	6,138125	13			0,484	0,2764	0,2076	0,046121
5,954375	5,980625	10									
5,980625	6,006875	2									
6,006875	6,033125	12									
6,033125	6,059375	4									
6,059375	6,085625	6									
6,085625	6,111875	1									
6,111875	6,138125	2									
Сумма:		59	Сумма:	59	Суммарное значение статистики хи-квадрат:						3,669645

Таблица Г.10 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,000005$ с.

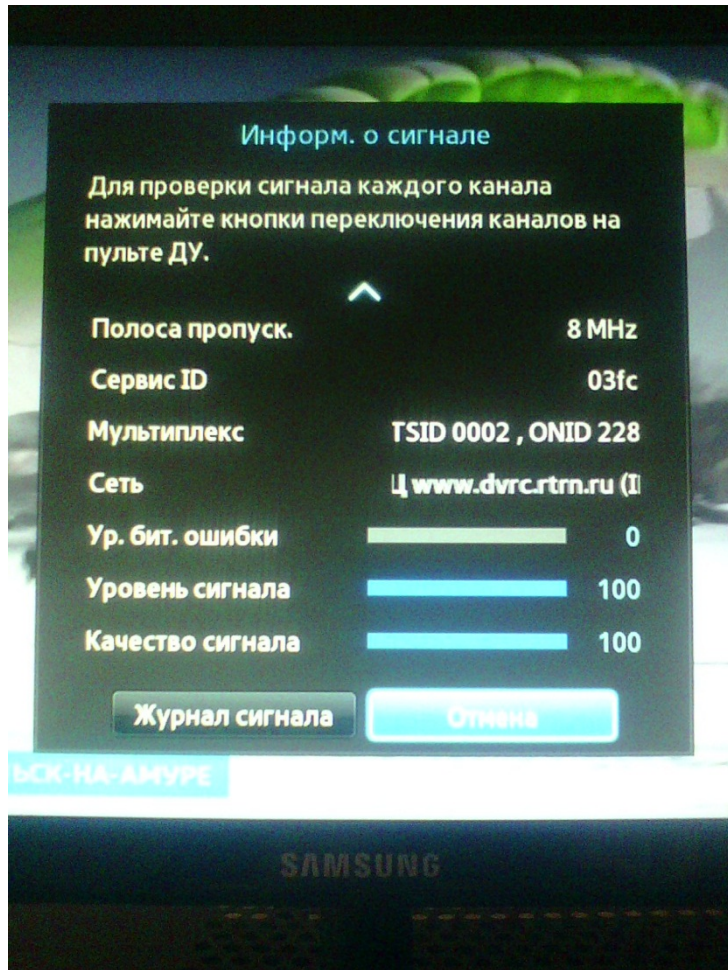
Интервалы вариационного ряда		Кол- во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправлен- ное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероят- ность	Статис- тика хи- квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.}^*$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.}^*}\right)$	P_j	χ^{2+}
6,58125	6,61875	1	6,58125	6,73125	9	0,105632	0,106539	-0,3749	-0,4948	0,1199	0,453383
6,61875	6,65625	1	6,73125	6,80625	10			-0,1736	-0,3749	0,2013	0,357516
6,65625	6,69375	2	6,80625	6,84375	8			-0,0359	-0,1736	0,1377	0,008308
6,69375	6,73125	5	6,84375	6,91875	14			0,2291	-0,0359	0,265	0,227044
6,73125	6,76875	4	6,91875	6,95625	10			0,3315	0,2291	0,1024	2,420042
6,76875	6,80625	6	6,95625	7,0688	9			0,4783	0,3315	0,1468	0,004185
6,80625	6,84375	8									
6,84375	6,88125	10									
6,88125	6,91875	4									
6,91875	6,95625	10									
6,95625	6,99375	3									
6,99375	7,03125	4									
7,03125	7,06875	2									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					3,470479

Таблица Г.11 - Результаты расчёта параметров статистики хи-квадрат для $TPPS = 1,00001$ с.

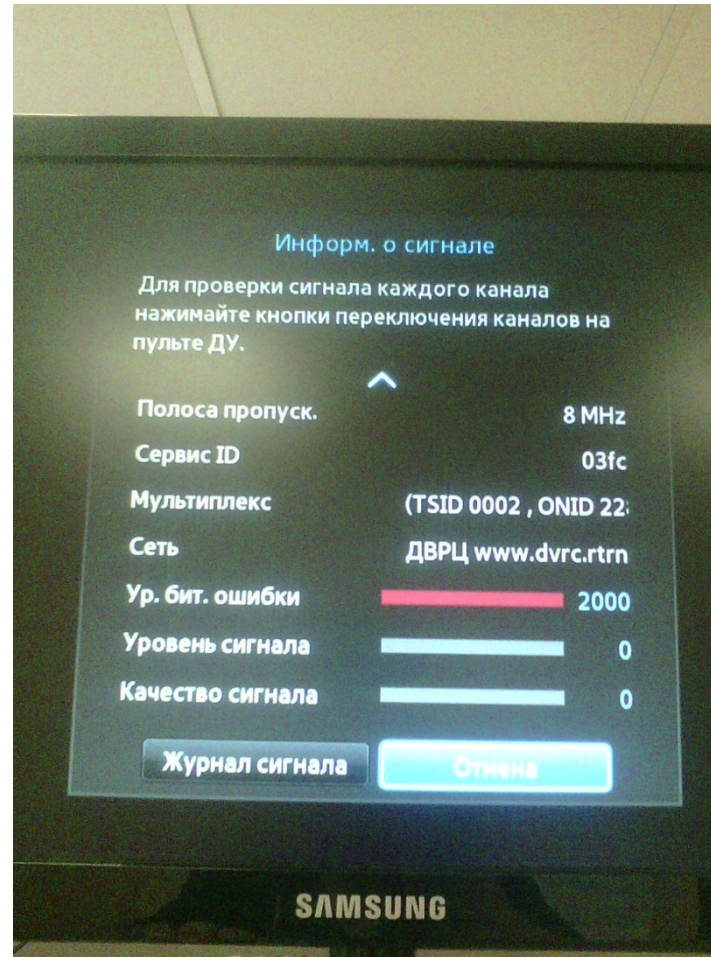
Интервалы вариационного ряда		Кол-во знач.	Объединённый вариационный ряд		Кол-во знач.	СКО	СКО исправленное	Слагаемое вероятности	Слагаемое вероятности	Вероятность	Статистика хи-квадрат
a_j^*	a_{j+1}^*	n_j^*	a_j	a_{j+1}	n_j	$S_{кв.}$	$S_{кв.*}$	$\Phi\left(\frac{a_{j+1} - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	$\Phi\left(\frac{a_j - \overline{TNDTX}}{S_{кв.*}}\right)$	P_j	χ^{2+}
18,89125	18,94875	1	18,89125	19,00625	5	0,190177	0,191809	-0,4207	-0,4772	0,0565	0,764631
18,94875	19,00625	4	19,00625	19,06375	6			-0,3643	-0,4207	0,0564	2,022298
19,00625	19,06375	6	19,06375	19,12125	6			-0,2881	-0,3643	0,0762	0,446016
19,06375	19,12125	6	19,12125	19,23625	9			-0,0793	-0,2881	0,2088	0,993517
19,12125	19,17875	3	19,23625	19,29375	5			-0,0319	-0,0793	0,0474	1,634436
19,17875	19,23625	6	19,29375	19,35125	6			0,1517	-0,0319	0,1836	2,283974
19,23625	19,29375	5	19,35125	19,40875	5			0,2549	0,1517	0,1032	0,229468
19,29375	19,35125	6	19,40875	19,46625	7			0,3389	0,2549	0,084	0,762222
19,35125	19,40875	5	19,46625	19,52375	5			0,4015	0,3389	0,0626	0,412017
19,40875	19,46625	7	19,52375	19,63875	6			0,4706	0,4015	0,0691	0,829068
19,46625	19,52375	5									
19,52375	19,58125	4									
19,58125	19,63875	2									
Сумма:		60	Сумма:		60	Суммарное значение статистики хи-квадрат:					10,37765

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЁМА СИГНАЛА В ОДНОЧАСТОТНОЙ ЗОНЕ

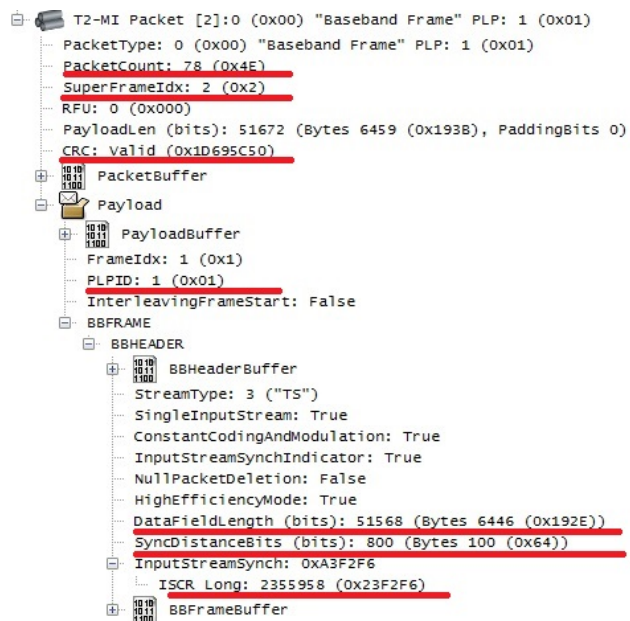


а)

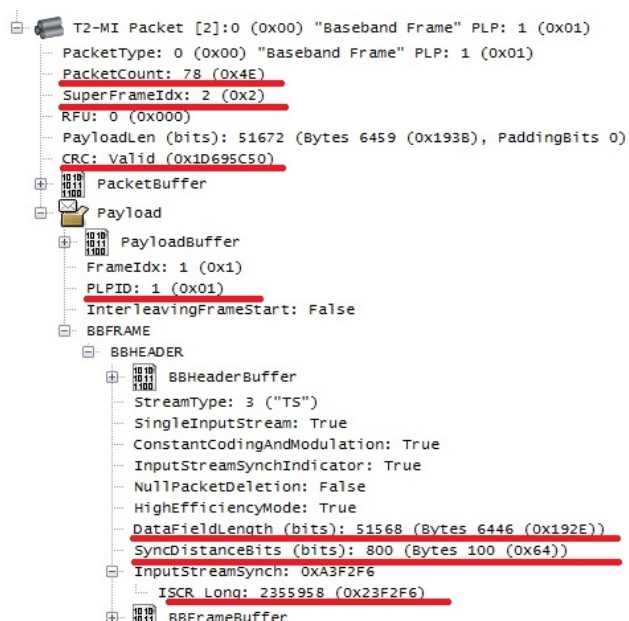


б)

Рисунок Д.1 – Телевизионная таблица информации о сигнале: а) декодирование сервисов PLP_1, б) отсутствие декодирования сервисов PLP_1.

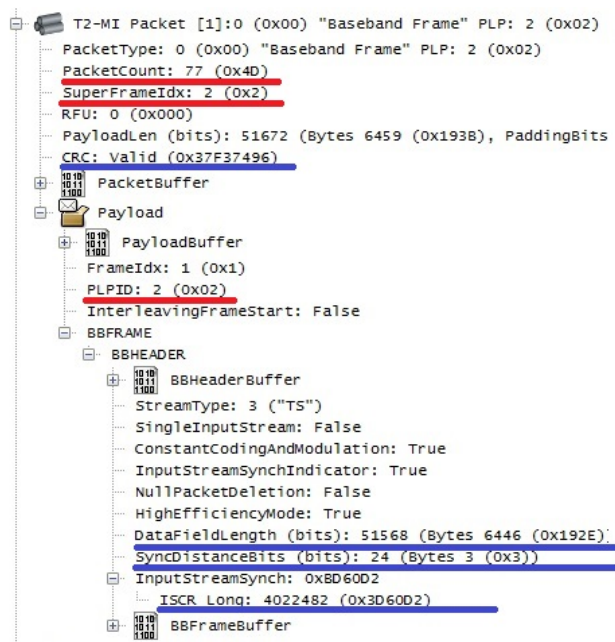


а)

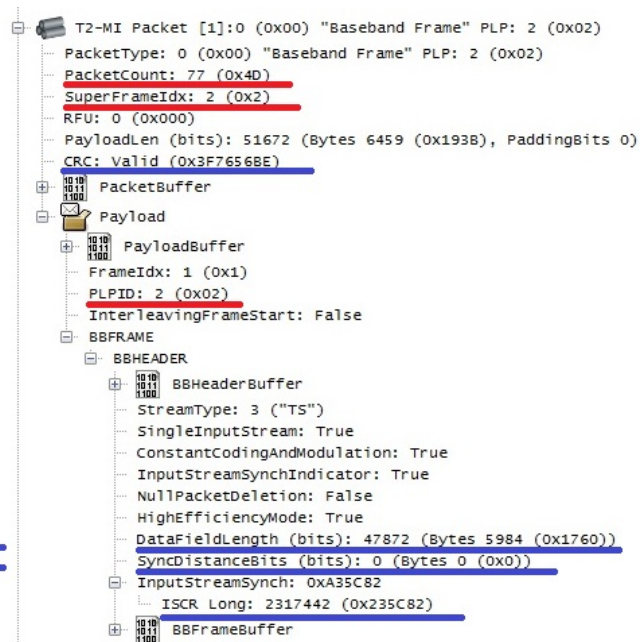


б)

Рисунок Д.2 – Снимок экрана компьютера с интерфейсом программы 4T2 Content-Analyzer. а) фрагмент декодирования Baseband кадра, описывающего состав потока PLP_1, полученного на выходе инсёртера TTV-PLPSW-0401_1; б) фрагмент декодирования Baseband кадра, описывающего состав потока PLP_1, полученного на выходе инсёртера TTV-PLPSW-0401_2.



а)



б)

Рисунок Д.3 – Снимок экрана компьютера с интерфейсом программы 4T2 Content-Analyzer. а) фрагмент декодирования Baseband кадра, описывающего состав потока PLP_2, полученного на выходе TTV-PLPSW-0401_1; б) фрагмент декодирования Baseband кадра, описывающего состав потока PLP_2, полученного на выходе инсёртера TTV-PLPSW-0401_2.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
СТАТУСНЫЕ СООБЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Таблица Е.1 – Возможные события спутникового приёмника CISCO D9854 [61].

Событие	Краткое описание	Влияние на состояние (таблица 2.6)*					
		A2 / C2	A3 / C3	A4 / C4	B2 / D2	B3 / D3	B4 / D4
1	2	3	4	5	6	7	8
Alarms							
PSB non-compliant	PROD incomplete or PSB non-compliant						
Pri Flash Fail	Contact Customer Service (%s fail at %d)					X	
Sec Flash Fail	Contact Customer Service (%s fail at %d)					X	
Settings Lost	Stored configuration incomplete.						
Signal Status	ASI Signal - No Content	X	X	X			
	RF Signal - No Content	X	X	X			
	Signal is lost	X	X	X			X
	Tuning Parameters Invalid						X
PE n: ISE Not Auth	Channel is not authorized						
	Channel requires an authorization key						
	Channel is blacked out	X					
	Channel uses an unknown CA system	X					
	Channel authorization refused	X					
	Channel requires an IRD with CA support	X			X		
	Channel requires the PE to have an ISE						
Channel Unavailable - LEC timeout	X						
CI Top Slot Status	Initialization Fail				X	X	
	No Descrambling				X		
CI Bottom Slot Status	Initialization Fail				X	X	
	No Descrambling				X		

Продолжение таблицы E.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
PE n CI Status	Program Not Descrambled	X			X		
	1 or more ES Not Descrambled						
PE n: Loss of Input	Loss of input detected	X	X	X			X
Digital Program Mapping	PID Collision	X				X	
	Program Collision	X				X	
	Mode-i PMT out of range						
Shutdown Event	DL APP REBOOT				X	X	
	User requested FPGA change				X		
	User requested APP change				X		
	User requested factory reset					X	
	User requested reboot					X	
	User requested service restore					X	
	PRODUCTION - Protect Flash				X		
	I2C Failure						
	WDOG: FPGA not loaded					X	
	osal_SetDataForAllTasks						
	aw_LoadFaultList						
	aw_LoadFaultList						
	NVS FLASH mounted						
	DB_Table_Cl::populateNvsRecords						X
	STAPI_Init						X
	dprm startup						X
	dprm clear startup						X
	DB_Array32_Cl init failed						X
	DB_FlagArray32_Cl init failed						X
	Wrong DB Item detected: item = AAA, table = BBB						X
DB_Item_Cl::addItem() failed						X	

Продолжение таблицы Е.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
Shutdown Event	Memory allocation error on DB table construction					X	
	DB_Table_Cl::addTable() failed					X	
	DB_Table_Cl::addItem() failed: too many DB Items					X	
	DBT Init Failed: AAA					X	
	Framework Registration Error					X	
	7109 exception! Code = X, Address = Y, Task = Z					X	
	Memory Error: AAA, Phase X					X	
	Time Control object creation failed					X	
	Wrong UIC Item detected: item = AAA, table BBB					X	
	Memory allocation error on UIC table construction					X	
	Error adding UIC table(AAA)					X	
	HTTP - http_init4() FAILED to create partition					X	
	http_init4: FAILED to allocate scratch buffer					X	
	HTTP - http_init4() FAILED to allocate memory from AVMEM Partition					X	
	UD - ud_init_phase_4() FAILED to allocate memory from System Partition					X	
	UD - ud_init_phase_4() FAILED to create partition					X	
	'--- COMPONENT 'AAA' FAILED TO INIT IN PHASE X, rc=NNN					X	
	VBI DB creation failed						
	VBI DB allocation failed						
	VBI Status DB creation failed						
	VBI Status DB allocation failed						
	UIC_ENUM_CL given invalid ENUM_ST: item = AAA, table = BBB, problem with primary: X						
	FW: Memory or List Full						
	Framework Registration Error						
Watchdog 'AAA' has expired							

Продолжение таблицы E.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
System Startup	System Startup					X	
SMI Setup	Phase lock error on SMI SDRAM						
	SMI SDRAM exhaust test failed						
LMI setup	LMI SDRAM exhaust test failed						
Param Storage	DB NVS flushing ignored						
	RAM flush to NVS failed						
	DB Factory Reset in progress					X	
	DB Total Reset in progress					X	
	DB NVS flush in progress						
	DB Populate in progress						
	DB Factory Reset failed					X	
	DB Total Reset failed					X	
	DB Populate failed						
Flash STORAGE	DB NVS flush failed						
	RECORD: init failed				X		
	RECORD MANAGER: Record contents check error, erasing all				X		
	RECORD: sector setup check error, erasing sector				X		
LNB PS	LNBPS: No Load						X
	LNBPS: Over Temperature						X
	LNBPS: Over Loaded						X
	LNBPS: Short Circuit						X
Flash Sector Error	Check setting. Counted <number> events on <device>.						
Signal Quality	Audio Muted due to RF noise						
	Unstable RF Signal						X
	Poor Quality RF Signal						X
Poor Quality RF Signal	PTI lockup						
Version Mismatch	Version Mismatch						

Продолжение таблицы Е.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
DL:NVS Flash Failure	APP5514 Flash Write Failed						
	APP/SAT7109/PPC CRC/Write has Failed						
	TEB Flash Write Failed						
Temperature Alarm	Temperature over Alarm threshold				X		
Fan	Fan RPM Alarm						
FPGA Temperature Alarm	Temperature over Alarm threshold						
ASI Out Status	ASI Overflow. Output Muted. Reduce content.					X	
MPoIP Status	MPEGoIP Overflow. Output Muted. Reduce content.					X	
Boot Host	KB not accessible						
	LCD not connected						
	FLASH Not Found					X	
	EMI SDRAM Test Failed				X	X	
	BOOT Invalid					X	
	APP Invalid					X	
Boot Secondary	BOOT Invalid					X	
	FPGA Invalid					X	
	APP Invalid					X	
Decoder Processor Start	B Startup failed					X	
	App Transfer Fail					X	
	No Response					X	
	Synchronization Failure				X	X	
LEC Timeout	LEC Table Missing/timeout:channels currently unavailable					X	
FPGA status	FPGA Init failed to go high					X	
	FPGA Init and Done failed to go low					X	
	FPGA Init went LOW (CRC error)					X	

Продолжение таблицы E.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
FPGA status	FPGA Done failed to go high					X	
	SW ver outside upper or lower limit					X	
	FPGA ID does not match FPGA DESIGNATION					X	
	FPGA ID does not match HW FPGA ID					X	
PE <n>: CA System Error	No PowerVU support					X	
	No Matching CAM				X		
Disaster Declared	Disaster declared						
Warnings							
ASI TS Overflow	ASI Output Overflow					X	
MPoIP TS Overflow	MPEGoIP Output Overflow					X	
Transport Error	Continuity Count Error		X	X			X
	Buffer Overflow						X
	Transport Error Indicator		X	X			X
	Transport Rate Error: FPGA Overflow	X					
CI Status	Different CA Systems in Top/Bottom Slots						
Video Format Mismatch	Video format mismatch						
Temperature Warning	Temperature over Warning threshold				X		
FPGA Temperature War.	Temperature over Warning threshold				X		
VBI Data	2nd VBI PID attempt to write same line						
TDT timeout	TDT timed out						
	TDT is lost						
SDT timeout	SDT timeout						
	SDT # is lost						
PMT timeout #	PMT # timed out			X			X
	PMT # is lost			X			X

Продолжение таблицы Е.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
PAT timeout #	PAT # timed out			X			X
	PAT # is lost			X			X
NIT timeout	NIT timeout						
	NIT is lost						
CAT timeout	CAT timeout			X			X
	CAT is lost			X			X
DRT timeout	DRT timeout						
	DRT # is lost						
MCT Timeout	MCT Timeout #						
	MCT # is lost						
ECT Timeout	ECT Timeout #						
	ECT # is lost						
Memory Usage Host	Excessive (stack/partition) memory usage					X	
Memory Usage Secondary	Excessive (stack/partition) memory usage					X	
FPGA Code Version	FPGA newer than SW, Supported=AAA, Running=BBB						
Ethernet Port	Link is down				X		
FW: Resource Use Host	Memory or List Near Full						
FW: Resource Use Second	Memory or List Near Full						
Backup Failure Reason	FTP Failed						
	Internal Error						
Restore Failure Reason	FTP Failed						
	Not Accepted						
	Bad Content						
SDI Aud SFR Data	SDI Audio sampling frequency mismatch						

Продолжение таблицы Е.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
SDI CC VANC	CC (SMPTE-334): configured line collides with VII, service will be dropped						
SDI AFD VANC	AFD (SMPTE-2016-3): configured line collides with VII, service will be dropped						
SDI DPI VANC	DPI (RP2010): configured line collides with VII, service will be dropped						
SDI VBI VANC	VBI (SMPTE-2031): configured line collides with VII, service will be dropped						
SDI VBI (OP47 SDP)	VBI (OP47SDP): configured line collides with VII, service will be dropped						
SDI VBI (OP47 MDP)	VBI (OP47MDP): configured line collides with VII, service will be dropped						
MPoIP Bitrate Port #<n>	Total configured output is marginal or too high					X	
Hardware Platform	Non-matching HW Platform.				X		

Здесь X – событие оказывает влияние на качество цифрового потока T2-MI в соответствующем состоянии.

* на основе опыта практической эксплуатации оборудования.

Таблица Е.2 – Возможные события формирователя сигнала РТ-2000.

Событие	Краткое описание	Влияние на состояние (таблица 2.6)*				
		F2 (сбой АО)	F3 (сбой ПО)	F4 (проблемы в MPEG-2 TS)	F5 (проблемы синхронизации)	F6 (некорректная задержка потока)
1	2	3	4	5	6	7
Reference	int 10 MHz loss				X	
	Ext 10 MHz loss				X	
	ext 10 MHz ref holdover				X	
	ext 1 PPS loss				X	
	ext 1 PPS ref holdover				X	
	NTP synh loss				X	
Ts primary	synch loss			X		
	t2-mi validation error			X		
	t2-mi L1 error			X		
	T2-MI Timestamp error			X		
Ts secondary	synch loss			X		
	t2-mi validation error			X		
	t2-mi L1 error			X		
	T2-MI Timestamp error			X		
ASI	ASI1 data error rate		X			
	ASI2 data error rate		X			
SFN	SFN Delay too low					X
RF	Synthesis					
	level out of range		X			
GNSS	unlocked				X	
	holdover				X	
GLONASS GPS	navigation unit				X	
	antenna short circuit				X	X

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4	5	6	7
GLONASS GPS	antenna not connected				X	X
	satellites synch				X	X
	PLL	X				
	No connection	X				
TSolP	RX1 signal loss	X		X		
	RX1 package error ratio exceeded			X		
	RX2 signal loss			X		
	RX2 package error ratio exceeded			X		
External	amplifier	X				
	alarm input 2					
	alarm input 3					
	alarm input 4					
HW monitor	chassis fan warning	X				
	chassis fan alarm	X				
	main board FPGA temperature	X				
	main board CPU temperature	X				
	main board temperature	X				
	main board fan 1	X				
	main board fan 2	X				
Internal	backplane status					
	ARM 7 status					
	reference status					
	upconverter status					
	downconverter status					
	main board status					
	firmvare 3 status					

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4	5	6	7
Internal	firmware 1 status					
	GNSS status					
	TSoIP status					
	PLL out of lock					

Здесь X – событие оказывает влияние на качество цифрового потока T2-MI в соответствующем состоянии.

* на основе опыта практической эксплуатации оборудования.

Таблица Е.3 – Возможные события устройства врезки контента TTV-PLPSW-0401* [46].

Событие	Краткое описание	Влияние на состояние (таблица 2.6)**			
		Е2 (сбой АО, сбой ПО)	Е3 (ошибка врезки)	Е4 (ошибки во входном сигнале)	Е5 (срыв синхронизации)
1	2	3	4	5	6
Ошибка федерального потока	Ошибка в модифицируемом потоке, препятствующая замещению			X	
Ошибка регионального потока	Ошибка в модифицирующем потоке, препятствующая замещению			X	
Внутренняя неисправность устройства	Аппаратная неисправность	X			
Ошибка загрузки ПО	Программная неисправность	X			
Перегрев устройства	Перегрев	X			
Ошибка синхронизации 1PPS	Отсутствие синхросигнала				X
Неисправность антенны GPS/ГЛОНАСС	Неисправность в антенне				X
Антенна не подключена	Отсутствие GPS/ГЛОНАСС антенны при соответствующих настройках				X

Продолжение таблицы Е.3

1	2	3	4	5	6
КЗ в антенне	Короткое замыкание в антенне				X
Не готов к работе в SFN	Устройство не готово для работы в режиме одночастотной сети				X
Ошибка замены PLP	Замещение контента невозможно		X		
Ошибка замены SI/PSI таблиц	Замещение служебных таблиц невозможно		X		
Нет требуемых SI/PSI таблиц	Отсутствуют служебные таблицы		X		
Нет данных с экстренным оповещением	Отсутствуют таблицы вставки экстренной информации		X		
Ошибка вставки экстренного оповещения	Вставка экстренной информации невозможна		X		
Ошибка синхронизации 10 МГц	Ошибка синхронизации 10 МГц				X
Нет захвата спутников GPS/ГЛОНАСС	Нет захвата требуемого количества спутников				X
A power-on reset occurred	Произошёл сброс питания	X			
Non compatibility Hardware / Software	Несовместимая программная или аппаратная части	X			
Failure in loading process	Ошибка в процессе загрузки	X			
Failure in internal communication	Ошибка во внутренней связи	X			
License validation failed	Ошибка лицензии	X			
Internal PLL clock unstable	ФАПЧ нестабильная				X
10 MHz PLL unlocked	Нет захвата ФАПЧ				X
External PPS reference lost	Внешний сигнал 1 PPS отсутствует				X
PLP Remux Configuration valid/invalid	Настройки замещения корректны / некорректны		X		
TimeStamp is missing	Нет пакетов временной метки			X	
L1 signalization is missing	Нет пакетов L1			X	

Продолжение таблицы Е.3

1	2	3	4	5	6
T2MI extraction error	Ошибка извлечения T2-MI			X	
Buffer overflow	Буфер переполнен			X	
Buffer underflow	Буфер пуст			X	

Здесь X – событие оказывает влияние на качество цифрового потока T2-MI в соответствующем состоянии.

* для устройства врезки с версией ПО S1116.

** на основе опыта практической эксплуатации оборудования.

Таблица Е.4 – Возможные события синхронного сплайсера Qualitreq TTL-2012* [67].

Событие	Краткое описание	Влияние на состояние (таблица 2.7)**			
		I2 (сбой АО, сбой ПО)	I3 (ошибка вставки)	I4 (ошибки во входном сигнале)	I5 (срыв синхронизации)
1	2	3	4	5	6
Bypass mode on/off	Включён режим обхода		X		
10 Mhz lock/unlock	Есть / нет захвата сигнала 10 МГц				X
ignore SCTE 35	Режим игнорирования меток		X		
Temperature	Перегрев	X			
Input status unlock	Нет сигнала на входе			X	
Stream status unlock	Нет сигнала на входе			X	
General status					
"Media file download error"	Ошибка скачивания медиафайла (без указания, какого именно).				
"Media file MD5 error"	Ошибка вычисленной контрольной суммы медиафайла			X	
"Media file MD5 download error"	Ошибка скачивания файла контрольной суммы для медиафайла				

Продолжение таблицы Е.4

1	2	3	4	5	6
"Config file download error"	Ошибка загрузки конфигурационного файла устройства.				
"Config file MD5 error"	Ошибка вычисленной контрольной суммы конфигурационного файла устройства.			X	
"Config file MD5 download error"	Ошибка скачивания файла контрольной суммы для конфигурационного файла устройства.				
"Config service download error"	Ошибка загрузки файла конфигурации программы				
Config service MD5 error"	Ошибка вычисленной контрольной суммы конфигурационного файла программы.			X	
Config service MD5 download error"	Ошибка скачивания файла контрольной суммы для файла конфигурации программы				
"Service playlist download error"	Ошибка загрузки файла расписания программы				
Service playlist MD5 error"	Ошибка вычисленной контрольной суммы файла расписания программы.			X	
"Service playlist MD5 download error"	Ошибка скачивания файла контрольной суммы для файла расписания программы				
"FPGA error"	Ошибка оборудования	X			
"HDD error"	Сбой встроенного жёсткого диска	X			
"TS error"	Ошибка в потоке			X	
"ASI error"	Ошибка входа ASI			X	
"RAID in resync, please wait till completion"	Рассинхронизирована информация на свтроенном RAID массиве	X			
Service status					
0002 Generic Failed	Общая ошибка выхода рекламы		X		
0004 Failed, Bypass On.	Врезка не произошла из-за режима обхода		X		
0005 Failed, Logging Turned Off.	Врезка не произошла из-за отключённого логирования		X		

Продолжение таблицы Е.4

1	2	3	4	5	6
0008 Failed, User Abort.	Рекламный блок вышел не полностью	X			
0009 Failed, Inserter Abort.	Врезка прервана	X			
0010 Failed, Device Not Ready.	Врезка не произошла вследствие неготовности устройства	X			
0012 Failed, Unknown Error.	Врезка не произошла, неизвестная ошибка	X			
0013 Failed, Time Out.	Врезка не произошла, общее зависание	X			
0014 Failed, Device Time Out.	Врезка не произошла, устройство недоступно	X			
0015 Failed, System Error.	Врезка не произошла, системная ошибка	X			
0016 Failed, Operator Error.	Врезка не произошла, ошибка оператора	X			
0017 Failed, Inserter Busy.	Врезка не произошла, система врезки загружена		X		
0018 Failed, Insertion Conflict.	Врезка не произошла, конфликт врезки		X		
0019 Failed, Directory Error.	Врезка не произошла, ошибка расположения файла		X		
0020 Failed, No Ad Copy in Inserter.	Врезка не произошла, нет контента для врезки		X		
0021 Failed, Cued Late.	Врезка не произошла, метка врезки поступила не вовремя		X		
0022 Failed, Channel Collision.	Врезка не произошла, конфликт каналов		X		
0023 Failed, No Cue in Window.	Врезка не произошла, нет метки во время рекламного окна		X		