Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(СибГУТИ)

Кафедра СРС
Допустить к защите

Зав.каф. _____*Носов В.И.*

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Анализ принципов построения одночастотных сетей в цифровом эфирном телевидении DVB-T2"

Пояснительная записка

Студент _____ /Таратин А.Н./

Факультет МТС Группа МБТП83

Руководитель _____ / Кокорич М.Г./

Новосибирск 2019 г.

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(СибГУТИ)

КАФЕДРА

Система радиосвязи

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРА

СТУДЕНТА Таратина А.Н. ГРУППЫ МБТП83

УТВЕРЖДАЮ

« ___ » _____ 2019 г.

Зав. кафедрой
_____ / *В.И. Носов* /

Новосибирск 2019 г.

1. Тема выпускной квалификационной работы бакалавра
Анализ принципов построения одночастотных сетей в цифровом эфирном телевидении DVB-T2"

утверждена приказом СибГУТИ от «____»____ 20___ г. № ____

2.Срок сдачи студентом законченной работы « » _____20__ г.

3.Исходные данные к работе
1 Специальная литература
2 Материалы сети интернет

4.Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)	**Сроки выполнения по разделам**
Принципы формирования сигнала в стандарте Dvb-т2	06.11.18 г.
Общая структурная схема передающей и приемной части	10.11.18 г.
Методы модуляции и кодирования	25.11.18 г.
Режим модуляции OFDM, защитный интервал	05.12.18 г.
Максимальное расстояние между передатчиками в одночастотной сети	15.12.18 г.
Принципы синхронизации передатчиков в одночастотной сети Dvb-т2	25.12.18 г.
Расчетная часть и методика определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема	20.01.19 г.
Рекомендации по выбору малых зон и мест приема для проведения измерений параметров сигнала передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2	24.01.19 г.

Дата выдачи задания «___» _____ 20___ г.
Руководитель _____
подпись

Задание принял к исполнению «___» _____ 20___ г.
Студент _____
подпись

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(СибГУТИ)

ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу _____
по теме «_____»

Компетенции		Уровень сформированности компетенций		
Общекультурные	ОК-1 - …	высокий	средний	низкий
	ОК-2 - …			
	…			
Профессиональные	ПК-1 - …			
	ПК-2 - …			
	…			

Работа имеет практическую ценность		Тема предложена предприятием	
Работа внедрена		Тема предложена студентом	
Рекомендую работу к внедрению		Тема является фундаментальной	
Рекомендую работу к опубликованию		Рекомендую студента в магистратуру	
Работа выполнена с применением ЭВМ		Рекомендую студента в аспирантуру	

_____ _____

Должность руководителя подпись ФИО руководителя

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа __ Таратин А.Н.__
(Фамилия,И.О.)
по теме «Анализ принципов построения одночастотных сетей в цифровом эфирном телевидении DVB-T2"»

Объём работы - 57 страниц, на которых размещены 17 рисунков и 8 таблиц. При написании работы использовалось 32 источников.

Ключевые слова: DVB – T2, зона обслуживания передающей станции, одночастотная сеть, многолучевость распространения радиоволн, модуляция, кодирование

Работа выполнена на кафедре СРС СибГУТИ
(название предприятия, подразделения)

Основные результаты* Одночастотная сеть (SFN) – сеть передающих станций, в которой вещание осуществляется на одной частоте. Эта технология позволяет использовать множество передатчиков, работающих на одной частоте и покрывающих смежные области. При этом использование одного частотного канала происходит без влияния передатчиков друг на друга из-за технологических особенностей системы DVB-T2. В работе проведён анализ системы наземного цифрового телевизионного вещания – DVB-T2 в одночастотной сети.

Даны пояснительные рисунки принципов построения одночастотных сетей. В 2009 году консорциум DVB выпустил новый стандарт наземного эфирного цифрового телевидения, который называется DVB-T2. Эта спецификация позволяет получить более высокую полезную скорость передачи в стандартной полосе эфирного ТВ вещания в среднем на 30…60 %, по сравнению с предшественником DVB-T. Величина выигрыша зависит от конкретных режимов модуляции и варианта построения вещательной сети. Максимальный такой выигрыш будет достигнут в одночастотных сетях.

Достоинства и преимущества цифрового телевидения: повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов; повышение качества изображения и звука в телевизионных приемниках с

обычным стандартом разложения (625 или 525 строк); создание телевизионных систем с новыми стандартами разложения изображения (в том числе телевидение высокой четкости – ТВЧ); расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры, используемой при подготовке и проведении телевизионных передач; передача в телевизионном сигнале различной дополнительной информации, превращение телевизионного приемника в многофункциональную информационную систему.

***В данном разделе должны быть отражены основные результаты исследования**

Содержание

Введение.....7
Глава 1 Принципы формированиясигнала в стандарте dvb-t2.....10
1.1 Общая структурная схема передающей и приемной части.....13
1.2 Методы модуляции и кодирования.....18
1.3. Режим модуляции OFDM, защитный интервал.....20
1.4 Максимальное расстояние между передатчиками в одночастотной сети. 23
Глава 2 Принципы синхронизации передатчиков в одночастотной сети dvb-t2 36
Глава 3 Расчетная часть и методика определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема 50
3.1.1. Определение границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема 50
3.1.2. Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений.....54
3.2. Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала.....56
3.3. Обработка результатов измерений.....56
Глава 4 Рекомендации по выбору малых зон и мест приема для проведения измерений параметров сигнала передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2 63
4.1. Выводы и рекомендации по выбору малых зон и мест приема.....65
Заключение.....66
Библиографические ссылки.....68

Введение

Цифровое телевидение - это отрасль телевизионной техники, в которой передача, обработка и хранение телевизионного сигнала осуществляются с его преобразованием в цифровую форму. Преимущества цифрового телевидения по сравнению с аналоговым телевидением: повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов; повышение качества изображения и звука в телевизионных приемниках с обычным стандартом разложения (625 или 525 строк); создание телевизионных систем с новыми стандартами разложения изображения (в том числе телевидение высокой четкости – ТВЧ); расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры, используемой при подготовке н проведении телевизионных передач; передача в телевизионном сигнале различной дополнительной информации, превращение телевизионного приемника в многофункциональную информационную систему. Эти достоинства обусловлены как самими принципами цифрового телевидения, так и наличием разнообразных алгоритмов, схемных решений и мощной технологической базы для создания соответствующих устройств. В своем развитии цифровое телевидение прошло ряд этапов.

Первый из этих этапов – использование цифровой техники в отдельных частях телевизионной системы при сохранении обычного стандарта разложения и аналогового канала связи. Наиболее важным достижением данного этапа было создание полностью цифрового студийного оборудования.

Другое направление использования цифровой техники, характерное для первого этапа развития цифрового телевидения, введение цифровых блоков в телевизионные приемники с целью повышения качества изображения или расширения функциональных возможностей. Примерами таких блоков могут служить цифровые фильтры для разделения яркостного и цветоразностных сигналов и для подавления эхо–сигналов, возникающих при отражении радиоволн от поверхности Земли и различных объектов. Широко известны также

устройства для перехода от чересстрочной развертки к квазипрогрессивной, реализации функций «стоп–кадр» и «кадр в кадре», декодирования и воспроизведения на экране дополнительной информации, передаваемой по системе «Телетекст» и т. д. Все эти усовершенствования не затрагивают стандарт разложения и принципы передачи телевизионного сигнала по каналу связи.

Второй этап развития цифрового телевидения – создание гибридных аналого–цифровых телевизионных систем с параметрами, отличающимися от принятых в обычных стандартах телевидения. Можно выделить два основных направления изменений телевизионного стандарта: переход от одновременной передачи яркостного и цветоразностных сигналов к последовательной их передаче и увеличение количества строк в кадре и элементов изображения в строке. Реализация второго направления связана с необходимостью сжатия спектра телевизионных сигналов для обеспечения возможности его передачи по каналам связи с приемлемой полосой частот. Примерами гибридных телевизионных систем могут служить японская система телевидения высокой четкости MUSE и западноевропейские системы семейства MAC. Во всех этих системах в передающей и приемной частях сигналы обрабатываются цифровыми средствами, а в канале связи сигналы передаются в аналоговой форме.

Третьим этапом развития цифрового телевидения можно считать создание полностью цифровых телевизионных систем. Значительный шаг вперед в решении этой задачи был сделан в 1990 – 1993 годах и связан в первую очередь с работами, выполненными в США и завершившимися принятием весной 1994 года Национального стандарта на системы наземного цифрового телевизионного вещания.

Главными особенностями нового поколения телевизионных систем являются:

1. Высокая степень сжатия спектра цифрового телевизионного сигнала, достигаемая путем последовательного применения нескольких методов эффективного кодирования изображений и позволяющая передавать программы

ТВЧ по стандартным наземным каналам телевизионного вещания с шириной полосы частот 6 МГц.

2. Единый подход к кодированию и передаче телевизионных сигналов с различным разрешением: видеотелефон с уменьшенной четкостью, стандартный сигнал NTSC, ТВЧ с количеством строк 1050.

3. Интеграция с другими видами информации при передаче по цифровым сетям связи

Глава 1 Принципы формированиясигнала в стандарте dvb-t2

Одночастотная сеть (SFN) — является сетью передающих станций, осуществляющих вещание на одной частоте. Использование такой технологии дает возможность применения множества передатчиков, которые работают на одной частоте и покрывают смежные области. При этом использование одного частотного канала происходит без существенного взаимного влияния передатчиков друг на друга из-за технологических особенностей системы DVB-T.

В настоящее время успешно проходит развертывание первого слоя наземного цифрового телевизионного вещания (НЦТВ) стандарта DVB-T, ведется разработка второго и третьего мультиплексов, в июне этого года завершена опытная эксплуатация сети стандарта нового поколения DVB-T2. Результаты опытной эксплуатации подтвердили основное преимущество стандарта второго поколения – увеличение пропускной способности на 30–40 % по сравнению со стандартом DVB-T. Это позволяет использовать радиочастотный ресурс более рационально: в одном радиочастотном канале передавать до 16–20 программ стандартной четкости или до 4–6 программ высокой четкости (вместо 8–12 и 2–3 соответственно в системе DVB-T), а также дает возможность организации 3D-вещания и трансляции множества мультимедийных потоков. Анализ мирового опыта показывает, что в зарубежных странах (Англия, Финляндия, Швеция, Испания) стандарт DVB-T2 применяется для организации вещания программ высокой четкости, что связано с потребительским спросом на данный вид услуг.

Стандарт нового поколения является наиболее перспективным для дальнейшего развития НЦТВ, поэтому здесь будут рассмотрены особенности построения одночастотной сети стандарта DVB-T2. В настоящее время цены на приставки, поддерживающие стандарт DVB-T2, снижаются. Так, например, в Англии в феврале 2010 г. цена на приставку достигала порядка 250 дол. США, к августу она снизилась до 155, и уже в июне 2011 г. составила 125 дол. США.

Ожидается, что к моменту внедрения DVB-T2 цены на приставки будут соизмеримы с ценами на приставки DVB-T.

Россия, переходит к цифровому телевизионному вещанию. Изначально признали рациональность внедрения европейской системы цифрового телевизионного вещания DVB (Digital Video Broadcasting). В 2011 года вышла новая версия стандарта DVB-T2 ETSI EN 302 755 (Digital VideoBroadcasting — Second Generation Terrestrial) — второе поколение европейского стандарта эфирного цифрового вещания DVB-T.

Прогрессивный стандарт DVB-T2 позволил как минимум на 30% увеличить емкость телевизионных сетей по сравнению с предшественником при той же инфраструктуре сети и частотных ресурсах. Скорость передачи сигнала, устойчивость к помехам, качество картинки и другие показатели в стандарте DVB-T2 примерно в полтора раза выше, чем в DVB-T.

В системе DVB-T2 по сравнению с DVB-T изменены такие параметры, как число несущих, длительность защитного интервала и размещение пилотсигналов. Новый метод, названный «поворот сигнального созвездия», обеспечивает существенный прирост устойчивости в сложных эфирных условиях

Принципиальное отличие стандарта DVB-T2 – это изменение магистральных потоков физического уровня (PLP). Если стандарт DVB-T был предназначен исключительно для передачи пакетов MPEG-2, то сеть DVB-T2 способна транслировать самые разные по природе и структуре информационные потоки [11]. Система DVB-T2 способна передавать несколько независимых мультимедийных потоков, каждый со своей схемой модуляции, скоростью кодирования и временными интервалами. Возникает относительно сложная кадровая структура, как на логическом, так и на физическом уровне. Соответственно в системе DVB-T2 появляется новая функция – предварительная обработка входных потоков. В целом, общая схема обработки сигналов в системе DVB-T2 существенно усложняется. В стандарте различаются три основных типа потоков – транспортный (TS), обобщенный инкапсулированный (GSE) и

обобщенный непрерывный (GCS). Каждый поток представляет собой последовательность пользовательских пакетов (UP).

Пакеты каждого магистрального потока объединяются в потоковые кадры (BB) – отдельно для каждого потока: BB-заголовок, поле данных, поле выравнивания и/или внутриканальная синхронизация. BB-кадр содержит BB-заголовок (80 бит), поле данных и поле выравнивания. В последнем можно передавать данные внутриканальной сигнализации. В заголовке пакета содержится информация о типе транспортного потока, размере пользовательского пакета (при необходимости) и всего поля данных, наличии режимов удаления пустых пакетов и дополнительных синхропакетов, используется постоянная/переменная модуляция и т. п. Размер поля данных и выравнивающего поля определяется параметрами сверточного кодера (в сумме не более 53770 бит).

Стандарт DVB-T2 ориентирован на передачу телевизионных потоков, в которых зачастую используются пустые пакеты (для выравнивания скорости потока), разного рода задержки и т. п. для сохранения постоянной скорости потока. Поэтому в DVB-T2 предусмотрены средства удаления этой избыточной информации, но с возможностью ее восстановления на приемном конце. Кроме того, опционально предусмотрен и механизм сверточного кодирования CRC-8 на уровне пользовательских пакетов. Сформированный BB-кадр скремблируется (рандомизируется путем перемножения на псевдослучайную последовательность) и подвергается корректирующему кодированию [10, 11].

Предусмотрен механизм раздельной настройки устойчивости сигнала в пределах канала для каждой предоставляемой службы (табл. 1). В целом, все эти нововведения позволяют создать гибкую и эффективную систему трансляции мультимедийных потоков. При этом максимальная скорость входного транспортного потока после предварительной обработки может превышать 50 Мбит/с.

Стандарт DVB-T2 – это мощный инструмент мультимедийного вещания, в который заложены огромные возможности по расширению функциональности.

Таблица 1.1 - Сравнение режимов, применяемых в стандартах DVB-T и DVB-T2 [10, 11, 13]

Параметр	DVB-T	DVB-T2
Коррекция ошибок (FEC)	Сверточное кодирование Рида – Соломона 1 /2, 2 /3, 3 /4, 5 /6, 7 /8	LDPC + МПБ 1 /2, 3 /5, 2 /3, 3 /4, 4 /5, 5 /6
Модуляция	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Защитный интервал	1 /4, 1 /8, 1 /16, 1 /32	1 /4, 1 /8, 1 /16, 1 /32 19/256, 19/128, 1 /128
Размер ДПФ	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Переменная пилотов от общего числа, %	8	1,2,4,8
Постоянное пилотов от общего числа, %	2,6	0,35

Среди других преимуществ DVB-T2:

- возможность увеличения количества каналов в мультиплексе;

- возможность организации регионального вещания («региональной врезки»);

- экономия частотного ресурса;

- возможность внедрения эфирного вещания в форматах высокой и сверхвысокой четкости, объемного звука, а также интерактивного гибридного телевидения на платформе HbbTV, объединяющей возможности интернета и цифрового телевидения.

1.1 Общая структурная схема передающей и приемной части

При использовании стандарта DVB-T2 в значительной степени расширятся возможности наземного цифрового телевидения, при этом не

возникнет необходимости в изменении уже существующей инфраструктуры сети НЦТВ РУП «Белтелеком» и РУП «БРТПЦ». Однако новая система DVB-T2 неизбежно потребует внедрения нового оборудования. Структура одночастотной сети НЦТВ стандарта DVB-T2 представлена в соответствии с рисунком 1.1.

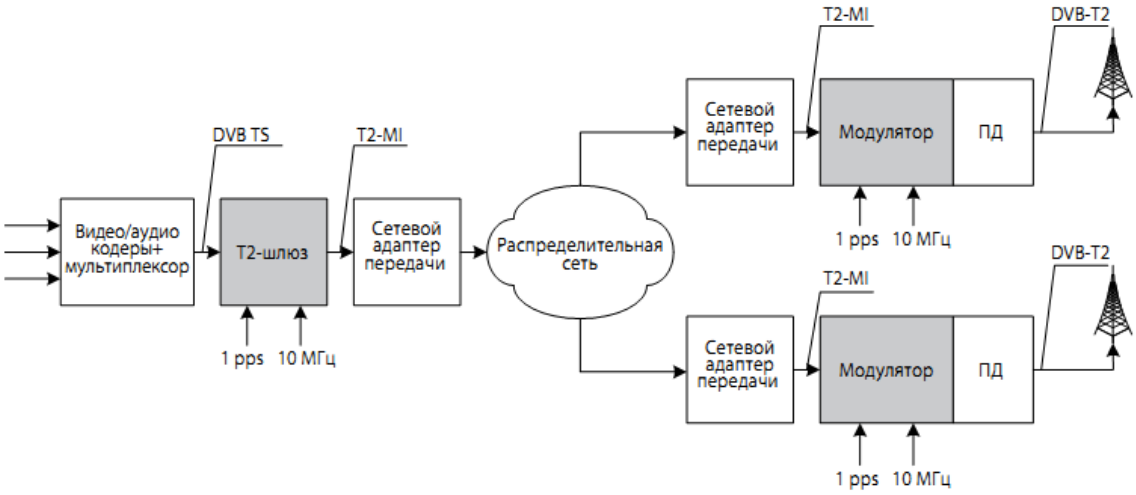

Рисунок 1.1 – Структурная схема сети стандарта DVB-T2

Серым цветом на схеме отмечены элементы (модулятор и T2-шлюз), отличие от используемых в сети стандарта DVB-T. Поступающие на вход системы транспортные потоки инкапсулируются в Baseband-кадры (BB-кадры), являющиеся наименьшей структурной единицей логического уровня сигнала DVB-T2. T2-шлюз представляет собой связующее звено между выходом мультиплексора и распределительной сетью и может выполнять следующие функции:

- инкапсуляцию MPEG TS потоков, приходящих от типовых DVB-T мультиплексоров, в BB-кадры;

- формирование T2-MI пакетов, содержащих информацию, необходимую модулятору для дальнейшего формирования структуры сигнала DVB-T2;

- синхронизацию радиопередатчиков одночастотной сети;

- формирование T2-MIP (DVB-T2 Modulator Information Packet – информационный пакет для модулятора DVB-T2) при использовании ретрансляторов в сети;

- поддержку MISO (multi input – single output);

- управление PLP (physical layer pipes – каналы физического уровня).

Поскольку все функции – опциональные, конфигурация T2-шлюза зависит от требуемых функциональных возможностей проектируемой сети. При построении многочастотных сетей T2-шлюз может не использоваться, тогда функцию инкапсуляции данных в BB-кадры выполняет модулятор.

Применение T2-шлюза обязательно при:

- организации одночастотных сетей;

- использовании технологии MISO;

- использовании режима передачи нескольких PLP

На выходе T2-шлюза формируются T2-MI пакеты, формат которых представлен в соответствии с рисунком 1.2 [1].

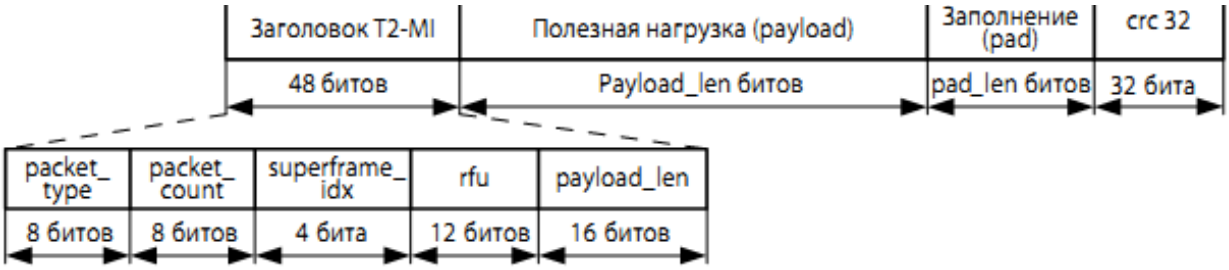

Рисунок 1.2 – Общий формат T2-MI пакетов

Содержимое полезной нагрузки зависит от типа T2-MI пакета, определяемого полем packet_type. В поле payload («полезная нагрузка») может передаваться полезная (BB-кадр) или служебная информация. Например, если поле packet_type содержит значение 0016, то в поле полезной нагрузки передается BB-кадр, если значение 2016 – метка времени (DVB-T2 timestamp), необходимая для обеспечения синхронизации всех радиопередатчиков одночастотной сети НЦТВ стандарта DVB-T2. Другие значения поля packet_type отражают наличие служебной информации, нужной для формирования физической структуры кадра сигнала DVB-T2 в мо дуляторе. Посредством

передаваемой служебной информации также осуществляется конфигурация модуляторов DVB-T2.

Сформированные T2-MI пакеты посредством интерфейса ASI (Asynchronous Serial Interface – асинхронный последовательный интерфейс) или IP (Internet Protocol) передаются через распределительную сеть (ВОЛС) к модуляторам.

Система нового поколения обладает рядом особенностей высокочастотной обработки сигнала: используются новые алгоритмы кодирования, дополнительные виды модуляции, размерности быстрого преобразования Фурье (БПФ), относительные скорости кодирования, защитные интервалы и др. Высокочастотная обработка осуществляется в модуляторе радиопередатчика DVB-T2, где BB-кадр вместе со своим заголовком подвергается кодированию LDPC и BCH. В результате образуются последовательности длиной 64800 или 16200 бит, которые называются FEC-кадром. Полученные биты перемежаются в FEC-кадре (битовое перемежение) и в зависимости от выбранного вида модуляции разбиваются на слова (например, 6 бит для созвездия 64QAM, 8 бит для 256QAM). На векторной диаграмме определенному набору бит в слове соответствует свой вектор, а каждому вектору – свое комплексное число (Re(z) ∓ jIm(z)). Совокупность элементов Re(z) и Im(z) называется COFDM ячейкой. Последовательность ячеек COFDM, соответствующих одному FEC-кадру, и называется FEC-блоком в соответствии с рисунком 1.3.

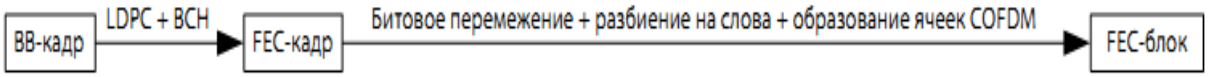

Рисунок 1.3 – Процесс формирования FEC-блока

В стандарте DVB-T2 дополнительно введено временное перемежение, обеспечивающее защиту от импульсных помех. Завершающей структурной единицей логического уровня сигнала DVB-T2, «заключающей в себе» закон перемежения, является кадр перемежения. Он и определяет расположение отдельных потоков PLP в суперкадре.

Кадр перемежения состоит из целого числа TI-блоков, которые в свою очередь состоят из FEC-блоков в соответствии с рисунком 1.4.



Рисунок 1.4 – Последовательность формирования сигнала DVB-T2 на логическом уровне

Рекомендуется использовать комбинацию «один TI-блок в одном кадре перемежения». Именно в этом случае перемежение будет выполняться в течение более длительного периода времени [2]. Каждый кадр перемежения на физическом уровне проецируется на один или несколько T2-кадров. Назначение T2-кадра заключается в переносе потоков PLP, P1- и L1-сигнализации, т. е. T2-кадр содержит в себе услуги DVB-T2 и связанную с ними служебную информацию. P1-сигнализация предназначена для первичной инициализации сигнала DVB-T2. L1-сигнализация необходима для:

- быстрого обнаружения приемником полезного сигнала;

- доступа к потокам PLP в рамках текущего (или последующего) T2-кадра.

Завершающей структурной единицей сигнала DVB-T2 на физическом уровне является суперкадр, который включает T2-кадры и FEF-кадры (Future Extension Frame – кадры перспективного расширения) в соответствии с рисунком 1.5.

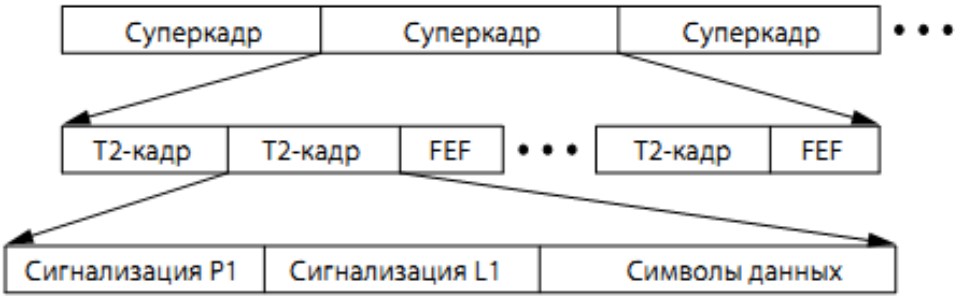

Рисунок 1.5 – Физический уровень сигнала DVB-T2

FEF-кадры являются резервными и предназначены для будущего использования. В одном суперкадре может содержаться до 255 T2-кадров.

Сформированный на выходе модулятора сигнал DVB-T2 усиливается и передается в эфир. Таким образом, для организации одночастотных сетей вещания в стандарте DVB-T2 следует в тракте формирования программ установить T2-шлюз, а в тракте передачи – модуляторы (радиопередатчики) стандарта DVB-T2.

1.2 Методы модуляции и кодирования

Модификация DVB-T2 является идеальным решением, предоставляющим высокий уровень устойчивости сигнала и обеспечивающая необходимое увеличение пропускной способности, при сохранении существующей инфраструктуры антенн. Еще одна принципиальная особенность стандарта DVB-T2 – механизм защитного кодирования. В качестве корректирующего кода используется каскадный код. В качестве внешнего кода в нем применен блоковый кодер (БЧХ, BCH). В качестве внутреннего – низкоплотностный код с проверкой на четность (LDPC). В зависимости от скорости кодирования LDPC размер входного блока данных для БЧХ-кодера может различаться, однако выходной размер кодового слова после LDPC всегда составляет 64800 бит. Перед модуляцией (кроме BPSK и QPSK) кодовые слова подвергаются побитному перемежению и распределяются по модуляционным символам. В VB-T2 добавлена модуляция 256-QAM (8 бит на символ), что

повышает емкость канала передачи на 33 % (относительно схемы 64-QAM в DVB-T). Обычно переход от 64-QAM к 256-QAM требует увеличения соотношения сигнал / шум на поднесущей на 4–5 дБ. Однако благодаря применению корректирующих кодов BCH-LDPC, эффективность которых гораздо выше традиционных кодов исправления ошибок (в т. ч. Рида – Соломона), в DVB-T2 скорость кодирования может быть намного выше и общая пропускная способность канала существенно возрастает. Это улучшение позволяет повысить пропускную способность канала примерно на 30 % [10–11].

Стандарт DVB-T2 поддерживает полосы пропускания канала 1,7; 5; 6; 7; 8 и 10 МГц (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Значения ширины полосы пропускания канала и ширины полосы сигнала стандарта DVB-T2

Ширина полосы пропускания канала, МГц	1,7	5	6	7	8	10
Элементарный период, с	71/131	7/40	7/48	1/8	7/64	7/80
Ширина полосы сигнала, МГц	1,54	4,76	5,71	6,66	7,61	9,51

В стандарте DVB-T2 используются такие виды модуляции, как QPSK, 16-QAM, 64-QAM и 256-QAM. Кроме того, сигнальное созвездие может быть повернуто в I/Q системе координат (повернутое созвездие). За счет поворота диаграммы на точно подобранный угол каждая точка созвездия приобретает уникальные координаты (u1 и u2) в соответствии с рисунком 1.6 и таблицей 1.3.

Таблица 1.3 - Значения углов поворота констеляционной диаграммы [10–11]

Модуляция	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
ϕ (градусы)	29,0	16,8	8,6	atan (1 /16)

Каждая координата точки обрабатывается в модуляторе передается в OFDM-сигнале отдельно, смешиваясь с координатами u2 и u1, другого символа (т. е. u2 и u1 могут передаваться на разных OFDM-несущих и в разных OFDM-символах). В приемнике u2 и u1 опять объединяются, формируя исходное констеляционное созвездие, сдвинутое по кругу.

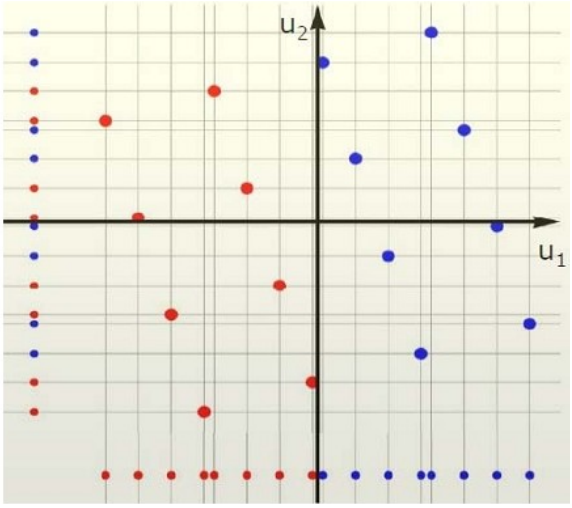

Рисунок 1.6 - Построение точек сигнала в системе координат u2 и u1

Таким образом, перед началом вращения квадратурная Q координата каждого модуляционного символа циклически сдвигается в рамках одного кодового слова (т. е. берется из предыдущего символа этого слова, Q-компонента первого символа становится равной Q-компоненте последнего). В результате этого, если одна несущая или символ будут потеряны в результате интерференции, сохранится информация о другой координате, это позволит восстановить символ, хотя и с более низким уровнем соотношения сигнал/шум. При использовании симметричного констеляционного созвездия разнесение u2 и u1 смысла не имеет, потому что сигнал может быть распознан только по сочетанию этих двух координат. Каждая из них в отдельности имеет двойников, и уникально только их сочетание.

1.3. Режим модуляции OFDM, защитный интервал

OFDM представляет собой принципиально новый вид модуляции, при которой последовательный цифровой поток преобразуется в большое число параллельных потоков (субпотоков), каждый из которых передается на отдельной несущей в соответствии с рисунком 1.7.

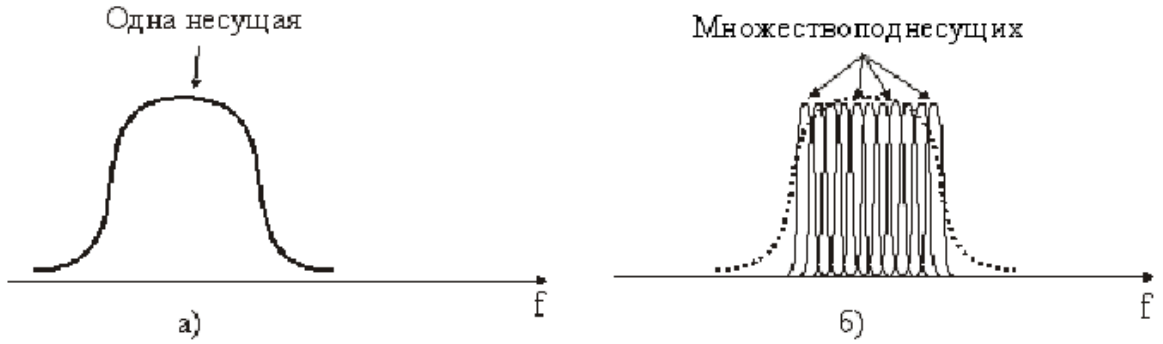

Рисунок 1.7 - Спектр радиосигнала с одной несущей (а) и OFDM (б)

Частотный разнос Δf между соседними несущими f1, f2, ..., fn в групповом радиоспектре OFDM выбирается из условия возможности выделения в демодуляторе индивидуальных несущих. При этом возможно применение двух методов частотного разделения (демультиплексирования) несущих. Во- первых, с помощью полосовых фильтров и, во-вторых, с помощью ортогональных преобразований сигналов.

В первом случае частотный разнос между модулированными несущими выбирается таким, чтобы их соседние боковые полосы взаимно не перекрывались. Это условие будет выполнено, если величину частотного разноса выбрать равной $\Delta f > 2/TU$, где TU – рабочий интервал информационного символа. Однако при этом эффективность использования радиоспектра будет невысокой. Напротив, стандарт OFDM характеризуется сильным перекрытием спектров соседних поднесущих, что позволяет уменьшить в два раза значение частотного разноса и во столько же раз повысить плотность передачи цифровой информации (бит/с)/Гц.

Благодаря ортогональному методу демодуляции поднесущих группового спектра происходит компенсация помех от соседних частот, несмотря на то, что их боковые полосы взаимно перекрываются. Для выполнения условий ортогональности необходимо, чтобы частотный разнос между несущими был постоянен и точно равен значению Δf = 1/TU, то есть на интервале TU должно укладываться целое число периодов разностной частоты f2 - f1. Пример сигнала COFDM в версии 8K в стандарте DVB-T показан в соответствии с рисунком 1.8.

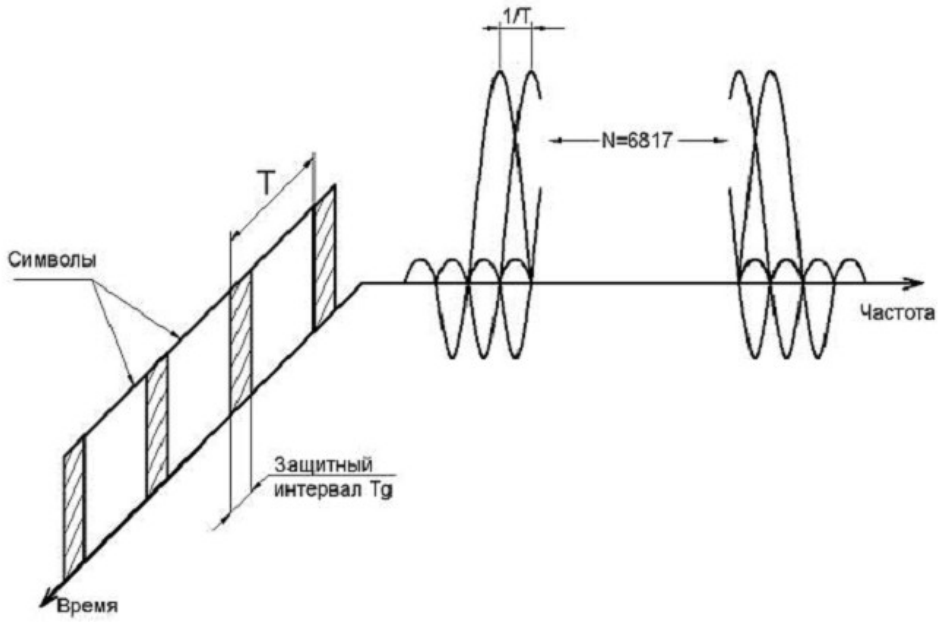

Рисунок 1.8 - COFDM в версии 8K в стандарте DVB-T

Выполнение этого соотношения достигается введением в модеме OFDM двух видов сигналов синхронизации: сигналов для синхронизации несущих частот группового спектра и сигналов для синхронизации тактовых частот функциональных блоков демодулятора.

Группа несущих частот, которая в данный момент времени переносит биты параллельных цифровых потоков, называется символом OFDM. Благодаря тому, что используется большое число параллельных потоков, длительность символа в параллельных потоках оказывается существенно больше, чем в последовательном потоке данных.

Это позволяет в декодере задержать оценку значений принятых символов на время, в течение которого изменения параметров радиоканала из-за действия

эхо-сигналов прекратятся, и канал станет стабильным. Таким образом, при OFDM временной интервал символа субпотока TS делится на две части – защитный интервал TG, в течение которого оценка значения символа в декодере не производится, и рабочий интервал символа TU, за время которого принимается решение о значении принятого символа. Для правильной работы системы эхоподавления необходимо, чтобы защитные интервалы находились в начале символов субпотоков, то есть в защитном интервале продолжается модуляция несущей предшествующим символом.

Технически метод OFDM реализуется путем выполнения инверсного дискретного преобразования Фурье (Fast Fourier Transform, FFT) в модуляторе передатчика и прямого дискретного преобразования Фурье в демодуляторе приемника приемопередающего устройства.

На физическом уровне OFDM является цифровой схемой модуляции, которая использует большое количество близко расположенных, ортогональных поднесущих. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции (например, квадратурная амплитудная модуляция) на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания.

На практике сигналы OFDM получаются путем использования ОБПФ (обратное быстрое преобразование Фурье). Основным преимуществом OFDM по сравнению со схемой с одной несущей является её способность противостоять сложным условиям в канале.

1.4 Максимальное расстояние между передатчиками в одночастотной сети

Для построения эффективно работающей одночастотной сети требуется выполнение нескольких условий:

Требуется синхронизации передатчиков одночастотной сети по частоте. Требуемая точность частоты зависит от частотного интервала между смежными несущими, для режима модуляции 8k стабильность частоты должна быть не

менее 1,1 Гц, для режима 32k — примерно 0,25 Гц. Такая высокая стабильность достигается за счет использования синхронизации передатчиков от внешнего генератора с привязкой к синхросигналам GPS. Источник сигнала с высокой стабильностью по частоте – GPS приемник, подключенный к измерительному прибору.

Применение цифрового телевидения в наземном телевизионном вещании представляет новые технологические возможности одночастотных сетей (Single Frequency Network - SFN). Здесь, мы можем иметь множество передатчиков, которые покрывают смежные области, и работают на одной частоте, передавая одинаковые программы. При этом использование всего одного канала излучения происходит без взаимного влияния, значительно экономя частотный ресурс. Одночастотные сети используются в Англии, Швеции, Испании и Франции.

Цифровые одночастотные сети (SFN) построены следующим образом. Прежде всего, особые требования предъявляются к точности/стабильности частоты. Для передатчиков многочастотных сетей (MFN) нормой является отклонение в 100 Гц, а для передатчиков SFN точность должна быть намного больше. В сетях SFN все передатчики должны быть синхронизированы на одной частоте, что обычно обеспечивается сигналом спутниковой навигационной системы GPS. Сигнал, излучаемый спутниками GPS, может быть получен почти всюду в мире и содержит очень точную информацию времени. Точность/стабильность частоты при этом будет иметь порядок величины 1 Гц. Каждый передатчик SFN должен передать точно тот же самый Транспортный Поток (TS - цифровой поток данных, содержащий программы) и излучать его синхронно с другими передатчиками. Внутри Транспортного Потока, обычно при генерации в Мультиплексоре, цифровой поток данных разделяют на "Мегаструктуры", и в них добавляются данные MIP (Пакет Инициализации Мегаструктуры - MIP), чтобы синхронизировать излучение каждого передатчика в сети. Синхронизация достигается благодаря сигналу частотой 1 Гц (1pps - 1 импульс в секунду) принимаемый приемниками GPS. Теперь сигналы всех передатчиков излучаются синхронно на одной частоте и имеют одинаковые биты

данных. Для одночастотной сети вещания главным достоинством цифровой модуляции COFDM является успешная борьба с эхо-сигналами, которые могут возникать из-за отражений от окружающих предметов или при работе нескольких передатчиков на одном и том же радиочастотном канале. Собственно говоря, система COFDM способна использовать с выгодой некоторые виды эхо-сигналов (т.е. те, которые усиливают принимаемый сигнал) и игнорировать эхо-сигналы, которые сказываются отрицательно на полезном сигнале. Главная особенность, позволяющая в сети SFN избежать взаимного влияния в зонах, где накладываются сигналы – защитный интервал. Защитный интервал - временной интервал, после передачи каждого символа, в течение которого передатчик не излучает никакого полезного сигнала. Это позволяет приемнику, синхронизированному с передатчиком не принимать сигналы в течении защитного интервала. Таким образом, приемники, не подвержены возможным "наложениям" символов, которые могли бы сделать полученный сигнал невозможным для демодуляции, даже если его уровень будет достаточно хорошим. Чем длиннее защитный интервал, тем больше времени, чтобы гасить нежелательное эхо. Но при этом ниже количество данных, которые могут быть переданы (скорость передачи Bit rate - число и/или качество программ). Защитный интервал может быть установлен от нескольких микросекунд до, более чем 200 микросекунд, чтобы гасить отраженные сигналы, прибывающие от разных передатчиков, как близко расположенных, так и расположенных на расстоянии до 70 км. Электромагнитные волны распространяются со скоростью света; то есть приблизительно 300 м. в 1 микросекунду.

В аналоговых системах, используя технологию смещения несущей частоты, теоретически можно уменьшить интерференцию в пределах зоны действия каждого передатчика по отношению к передатчикам, покрывающим смежную область. Однако, на практике появляются области существенного влияния, в которых качество сигнала ухудшается значительно, даже в случае чрезвычайно хорошо запланированных зон покрытия и применения направленных антенных систем.

Телевизионный сигнал может транспортироваться в цифровом формате (то есть в виде Транспортного Потока MPEG-2) или в аналоговом формате (то есть в виде несущей, модулированной согласно спецификации DVB-T).

Децентрализованная генерация сигнала DVB-T предполагает транспортировку цифрового Транспортного Потока MPEG-2 через первичную распределительную сеть и последующую обработку сигнала в каждом месте установки передатчика. В качестве первичной сети могут использоваться фиксированные наземные линии связи (например, оптическое волокно, беспроводная связь) или линии спутниковой связи. Для этой цели могут быть применены различные технологии или их комбинация (например, ATM, PDH, SDH, DVB и т. д.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) — комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), параметров движения (скорости, направления движения и т. д.) и временной синхронизации для наземных, водных и воздушных объектов. В настоящее время в эксплуатации находятся две ГНСС: американская NAVSTAR (GPS) и российская система ГЛОНАСС.

На рисунке 1.9 представлен расчет зоны видимости системы ГЛОНАСС для конкретной точки Земли (в частности, город Минск). Видим, что на протяжении всех суток видно не менее четырех спутников (минимальное количество, необходимое для расчета координат и высоты), а, как правило, число видимых спутников существенно больше.

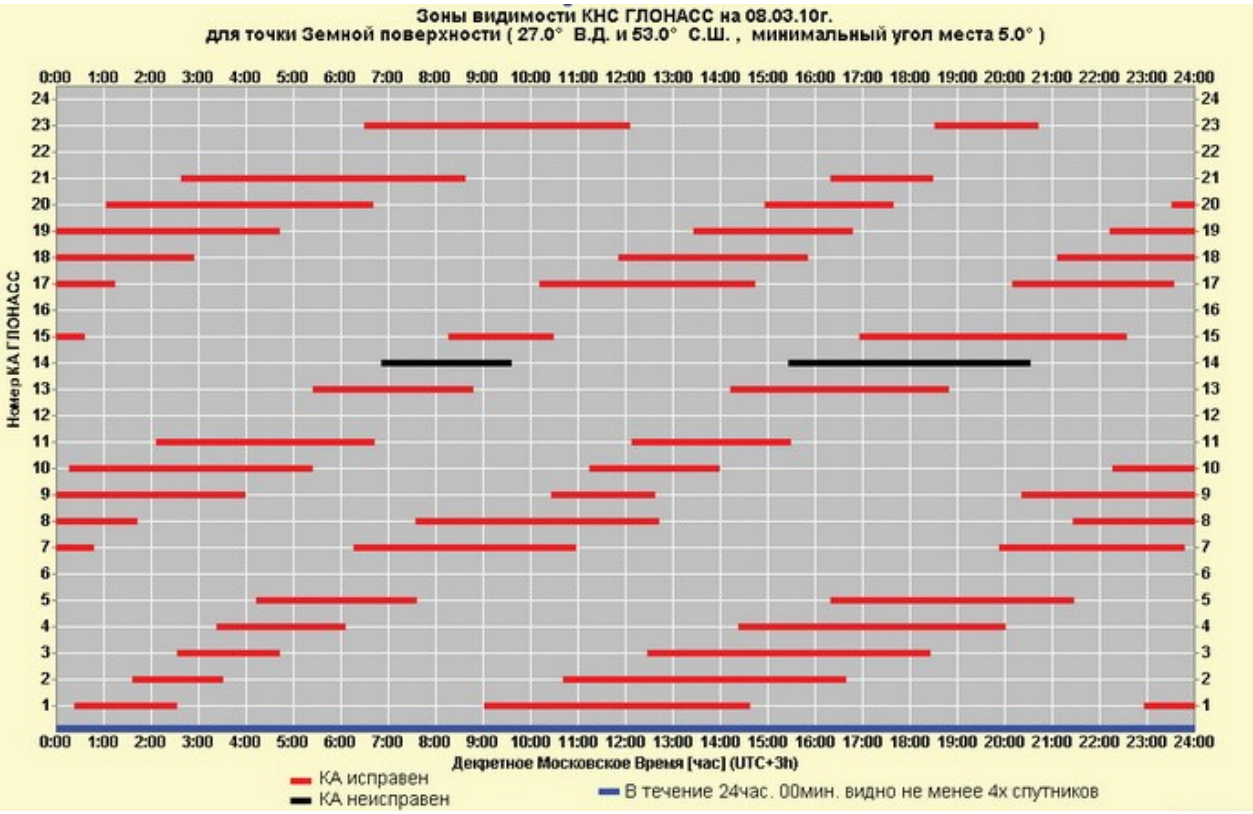

Рисунок 1.9 – Зоны видимости системы ГЛОНАСС для заданной точки земной поверхности

Считается, что для определения с заявленной точностью необходимо, чтобы значение PDOP (позиционный трехмерный геометрический фактор) было меньше шести. Интегральная доступность рассчитывается на основе текущего альманаха для суточного интервала как процент времени, в течение которого это условие выполняется. В соответствии с рисунком 1.10 представлена интегральная доступность навигации наземного потребителя по системе ГЛОНАСС.

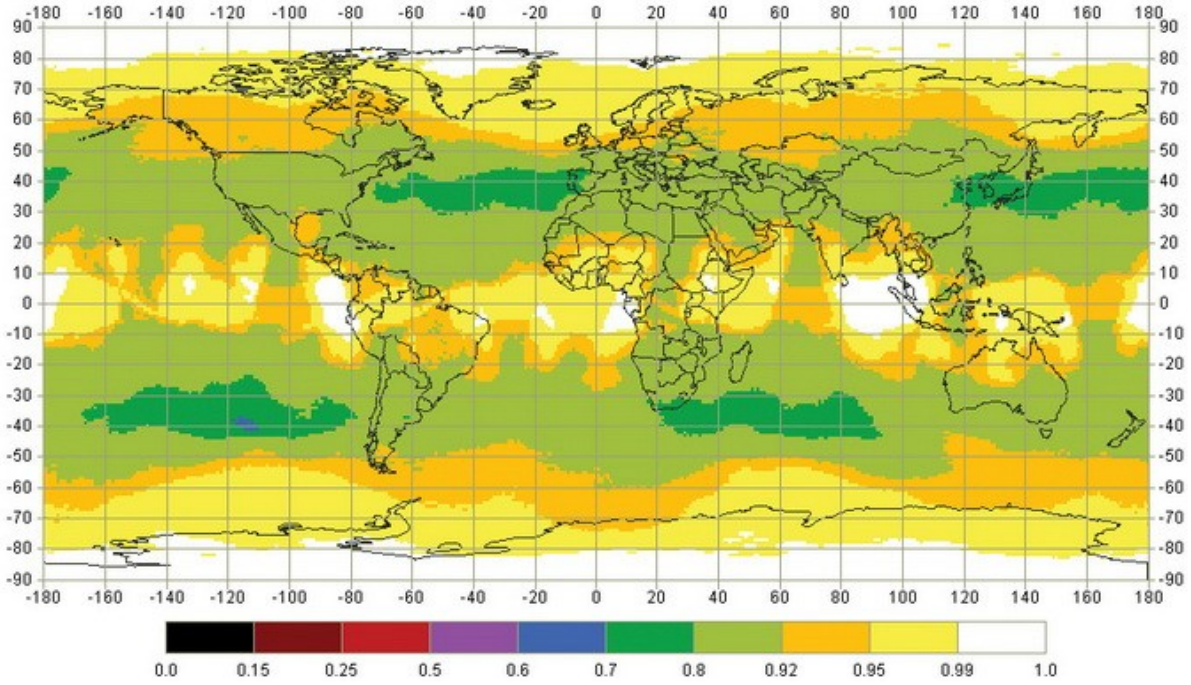

Рисунок 1.10 – Интегральная доступность навигации наземного потребителя по системе ГЛОНАСС

Спутниковая навигационная система включает в себя три сегмента:

1. Космический. К нему относятся спутники, выведенные на орбиту Земли.

2. Наземный сегмент управления. Он состоит из главной станции, совмещенной с вычислительным центром группы контрольно-измерительных станций, и наземного эталона времени и частоты [29].

3. Наземный сегмент потребителей. К нему относится приемное оборудование всех конечных пользователей ГНСС. Основная задача навигационной аппаратуры потребителей (НАП) — прием информации со спутников, ее интерпретация и вывод на дисплей либо в канал связи в надлежащем виде.

Глобальные навигационные спутниковые системы определяют местоположение, скорость и точное время. Однако существенным фактором, влияющим на точность работы наземного навигационного оборудования, является количество видимых на небосклоне спутников. Для гарантированной работы GPS необходимо открытое пространство, когда в поле зрения находится максимальное число спутников, и отсутствуют отраженные сигналы.

При наличии различных затенений радиовидимости, которые характерны для условий применения на наземном транспорте, а особенно в условиях современного городского ландшафта, возможности точного позиционирования значительно ухудшаются. Количество видимых спутников одной системы может быть недостаточным для решения навигационной задачи с требуемой точностью, и само решение часто становится невозможным. Использование двух навигационных систем улучшает и расширяет возможности для потребителей.

Характерным примером является работа навигационного приемника вблизи стены дома, когда физически половина небосвода закрыта. В таких условиях использование ГЛОНАСС совместно с GPS существенно (почти в два раза) повышает надежность и достоверность приемника по определению координат. Поскольку решение навигационных задач на наземном транспорте предполагает работу в условиях частичных и частых затенений радиовидимости, приемник ГЛОНАСС+GPS имеет значительные преимущества перед любым односистемным приемником GPS или ГЛОНАСС.

Система ГЛОНАСС, в отличие от GPS, позволяет осуществлять уверенный прием навигационного сигнала в северных и южных полярных широтах Земли.

Рассматривая ГЛОНАСС/GPS-приемники, предлагаемые отечественными производителями, ограничимся только одним классом, а именно OEM-приемниками, то есть законченными модулями, предназначенными для встраивания в качестве электронного компонента в законченные изделия различного назначения. Ряд производителей предлагают на рынок и законченные навигационные изделия для морских, авиационных, наземных носителей, и геодезическую аппаратуру, однако в основе этих изделий все равно лежат OEM-приемники.

КБ «ГеоСтар Навигация» предлагает на рынок два приемника: ГеоС-1 иГеоС-1м. ГеоС-1 представляет собой законченную плату, представленную в соответствии с рисунком 1.11.

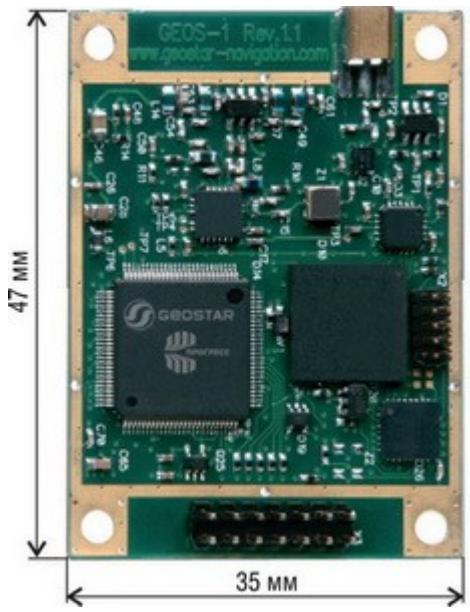

Рисунок 1.11 – Совмещенный ГЛОНАСС/GPS-приемник ГеоС-1

Приемник использует сигналы со спутников обеих навигационных систем ГеоС-1, что позволяет определить точное местоположение объекта там, где это невозможно (или возможно с ограничениями — режим 2D) в случае использования систем по отдельности. Приемник ГеоС-1 способен получать данные местоположения, используя или только сигналы ГЛОНАСС, или только GPS, или работая по совмещенному созвездию ГЛОНАСС+GPS. Структурная схема приемника представлена в соответствии с рисунком 1.12.

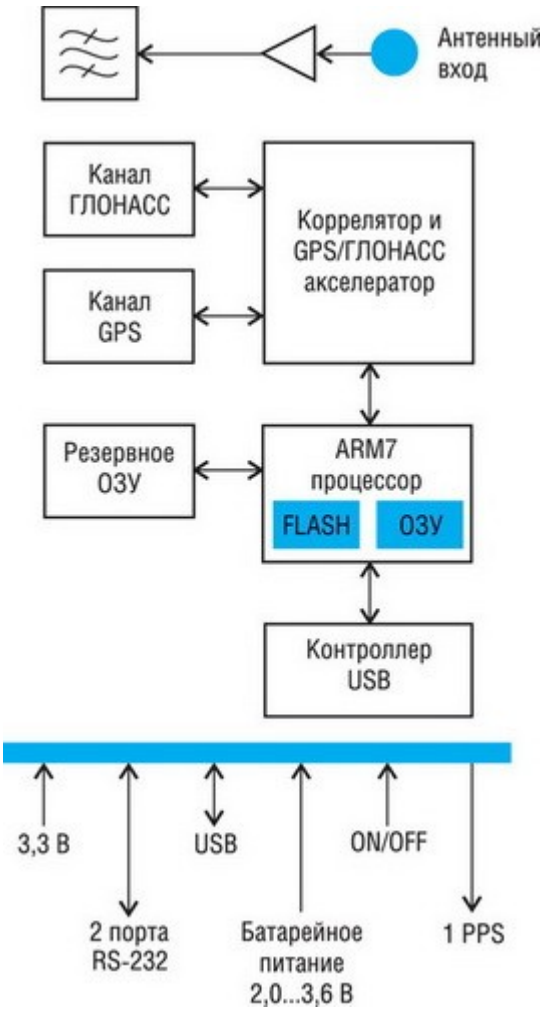

Рисунок 1.12 – Структурная схема приемника ГеоС-1

Цифровая часть приемника ГеоС- 1 состоит из БИС процессора с архитектурой ARM-7 (AT91FR40162S компании Atmel) и коррелятора с акселератором (автомат быстрого поиска), выполненного на заказной БИС, являющейся разработкой ФГУП НИИМА «Прогресс». Применение специализированной микросхемы обеспечивает достижение высоких показателей по времени от подачи питания до первых координат и высокие показатели чувствительности приемника. За счет аппаратной реализации алгоритмов поиска ГеоС-1 обеспечивает получение навигационных данных в течение 36 секунд в «холодном» старте и в течение 4 секунд в «горячем» старте.

Точность определения координат (среднеквадратичное отклонение) в плане 3 м, по высоте 5 м. Точность определения скорости 0,05 м/с. Темп выдачи навигационной информации — пять раз в секунду. Приемник выдает импульс

метки времени (1PPS — один импульс в секунду) с точностью 50 нс по отношению к шкале времени GPS-Time.

Чувствительность приемника в режиме обнаружения составляет -170 дБВт; в режиме слежения -180 дБВт. Требования к антенне: активная, с дополнительным усилением 10…35 дБ.

Питание 3,3 В ±5%; потребляемая мощность в режиме слежения 500 мВт, в дежурном режиме (питание от батарейного источника) 20…30 мкВт.

Каналы обмена данными: один канал USB 2.0, два дуплексных канала RS-232 (уровни сигналов LVTTL) с программно задаваемой скоростью передачи 4800…203400 бит/с. В зависимости от используемых каналов обмена (два канала RS-232 или один канал RS-232 + USB) и исполнения батарейного источника питания (установленный на плате или внешний) возможны четыре варианта исполнения, обозначаемые в заказе как суффикс «xx» в наименовании ГеоС-1xx. Габаритные размеры изделия 47x35x9 мм.

Фотография приемника Геос-1м представлена в соответствии с рисунком 1.13.

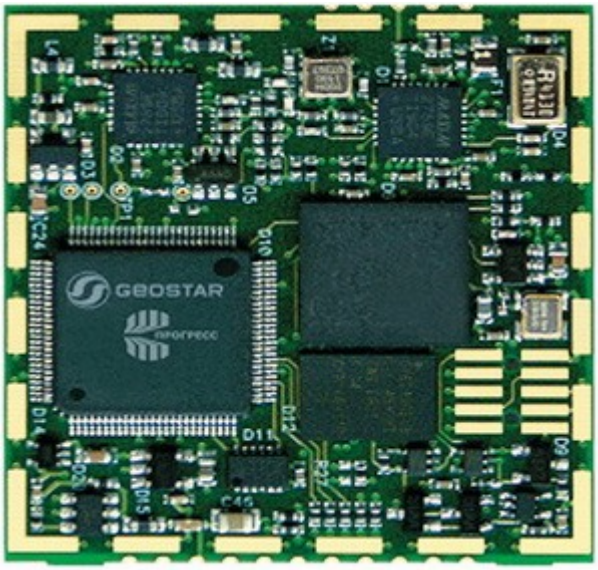

Рисунок 1.13 – Совмещенный ГЛОНАСС/GPS-приемник ГеоС-1м

В отличие от ГеоС-1, который устанавливается в аппаратуру пользователя автономно и соединяется с платами пользователя кабелями, приемник ГеоС-1м представляет собой модуль для поверхностного монтажа. Модуль непосредственно распаивается на пользовательскую печатную плату в рамках

единого цикла ее монтажа. Габаритные размеры ГеоС-1м 35х35х3 мм (то есть на 47% меньше ГеоС-1). Вариант исполнения один — два канала RS-232 и внешний батарейный источник. Потребляемая мощность, по сравнению с ГеоС-1, также снижена и составляет 350 мВт в режиме слежения.

Технические характеристики модуля и его структура (за исключением отсутствия USB-порта) аналогичны приведенным для ГеоС-1.

Оба приемника являются изделиями гражданского назначения. Высокая чувствительность приемника и скорость определения координат в совокупности с малыми габаритами и низкой потребляемой мощностью обеспечивают их успешное применение в бортовой аппаратуре различных систем мониторинга транспорта.

Появление сигналов третьего диапазона L3 позволит более чем в два раза повысить точность определения местоположения.

Максимальное расстояние между передатчиками ограничено длительностью защитного интервала. При превышении определенного расстояния между передатчиками, происходит выход из защитного интервала сигналов передатчиков, т.е. передатчики будут создавать помехи друг другу. В системе Т в режиме 8к максимальное расстояние между передатчиками 67 км, в системе Т2 при 32 к – 159.6 км в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Интервалы и скорость цифрового потока сигнала

Модуляция	Скорость кода	Защитный интервал			
		1/4	1/8	1/16	1/32
		Скорость цифрового потока, Мбит/с			
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Требуется временная синхронизация группы передатчиков одночастотной сети для одновременного излучения сигнала. Для синхронизации передатчиков используется глобальная система позиционирования – GPS. Через спутниковый канал от T2 шлюза по интерфейсу T2-MI на вход каждого передатчика поступает временная метка по которой выполняется привязка к сигналу GPS, и каждый передатчик вычисляет время излучения, что приводит к их совместимости.

Система синхронизации обеспечивает синхронность излучения в эфир сигналов передатчиков. Это обеспечивается привязкой излучения к сигналам 1 PPS (Pulse Per Second), получаемым из сети GPS.

DVB-T модулятор должен обеспечивать фиксированную задержку обработки сигнала, от входа, до его излучения. Информация, имеющаяся в MIP (modulator information packet), может быть использована для прямого управления работой передатчика (например, задержка излучения, уровень мощности передатчика, смещение рабочей частоты и т.д.).

Основное требование к модуляторам – все излучаемые сигналы различных передатчиков должны совпадать с точностью до бита с местной временной синхронизацией.

Интервал времени между последним импульсом 1 PPS , который предшествовал началу мегафрейма M+1 и временем действительного начала мегафрейма M+1 (первый бит первого пакета), называется STS (synchronization timestamp). Его величина записывается в MIP мегафрейма.

Максимальная задержка – это время между началом мегафрейма на входе SFN-адаптера и началом его излучения в антенне передатчика. Величина максимальной задержки должна быть больше суммы «наибольшая задержка в распределительной сети ++ задержка на обработку сигналов в модуляторе ++ время прохождения ВЧ сигнала через усилитель мощности + + время прохождения сигнала в антенном фидере».

Максимальная задержка, допустимая в сети SFN не должна превышать 1 сек. Максимальная задержка задается дискретно с шагом 100 нс.

Одновременное начало излучения передатчиков в эфир не является необходимым для сетей SFN. Главное чтобы эти излучения происходили синхронно! Поэтому в каждом передатчике заложена возможность менять время начала излучения сигнала индивидуально. Величина этой задержки обозначается td. Она также изменяется дискретно 100 нс. Использование возможности менять индивидуально начало излучения сигналов передатчиков позволяет варьировать геометрию областей приема.

Механизм доставки синхроинформации для DVB-T2 передатчиков несколько отличается от предшествующего стандарта. Здесь, для синхронизации применяется специальный пакет DVB-T2 timestamp.

Глава 2 Принципы синхронизации передатчиков в одночастотной сети dvb-т2

При пропадании сигналов gps от спутников устройство в течение нескольких часов удерживает синхронизацию, благодаря внутреннему термостабилизированному опорному генератору 10 МГц. Тем не менее потеря синхронизации в таких условиях – вопрос времени. По этой причине устанавливается интервал времени работы в режиме удержания синхронизации, после которого устройство автоматически выключается и генерирует сообщение об этом.

Этот интервал зависит от регулировок сети (величины защитного интервала) и от качества генератора.

После возвращения сигнала GPS большая часть устройств, представленных на рынке, синхронизирует работу генератора 10 МГц, однако модулятор SFN остается рассинхронизированным из-за накопленной к этому моменту времени ошибки.

На практике к накоплению ошибки приводит не отсутствие сигналов GPS в течение длительного времени, а периодическая многократная потеря спутниковых сигналов. ABE Elettronica разработала собственный алгоритм, называемый Holdover Error Recovery (“Исправление накопленной ошибки”), позволяющий компенсировать такие ошибки и предотвращать потерю синхронизации сети.

Можно устанавливать максимальное значение исправляемой ошибки. При его превышении устройство кратковременно выключает сигналы 1 pps, вызывая этим принудительный перезапуск модуляторов.

Алгоритм работает корректно также в случае, когда предыдущая ошибка полностью не скомпенсирована, а сигналы GPS вновь потеряны.

Алгоритм настроек передатчиков, предназначенных для работы в одночастотной сети цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2 в соответствии с рисунком 2.1.

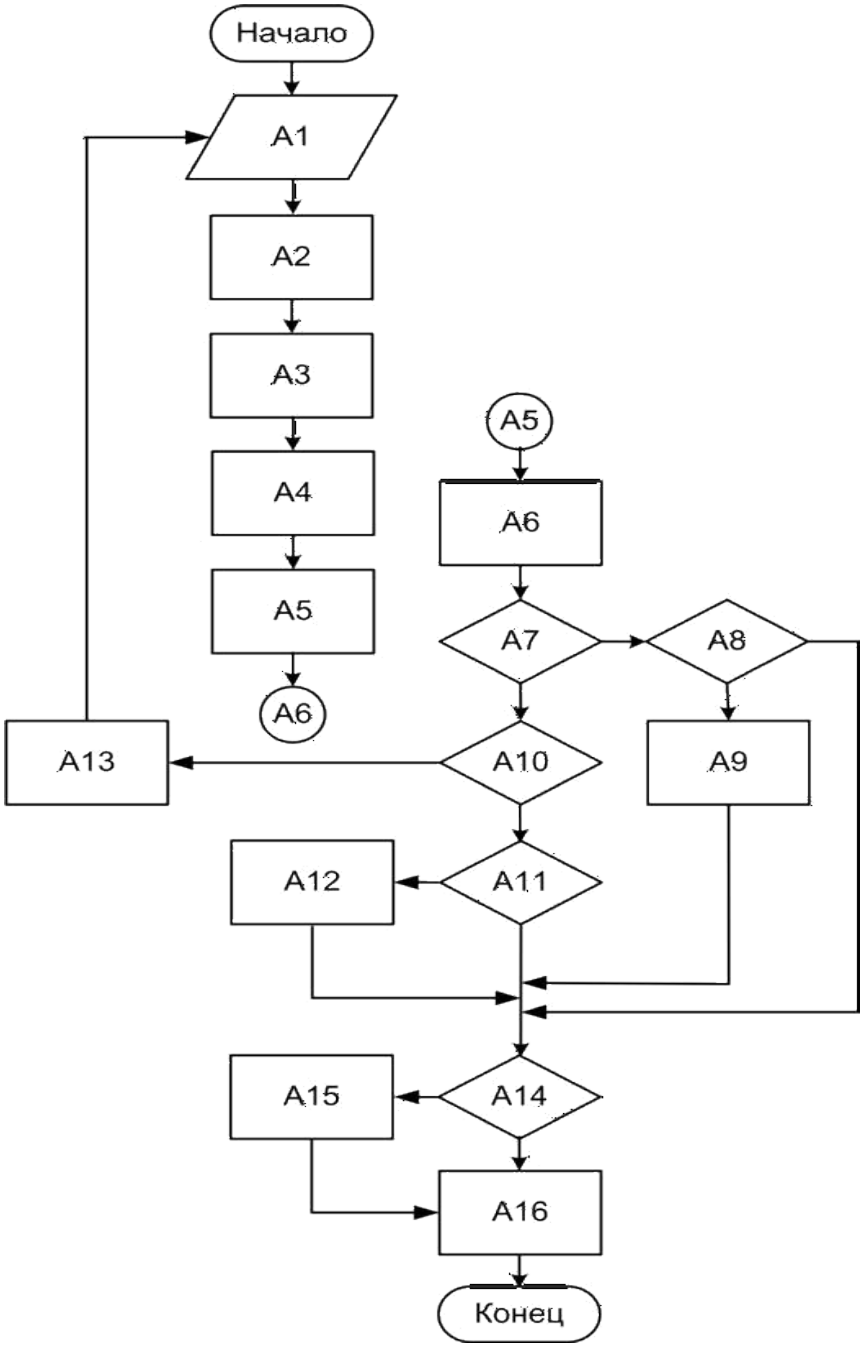

Рисунок 2.1 – Алгоритм настроек передатчиков стандарта DVB-T2

Настройки передатчиков включают в себя следующие этапы: A1 Ввод исходных данных: GI – защитный интервал времени, соответствующий топологии размещения передатчиков в зоне обслуживания; S1; S2; S3;….Sn-1; Sn – временные задержки информационного сигнала (ИС) при его распространении от Т2-шлюза Центра формирования мультиплексов (ЦФМ) до

каждого из передатчиков; М1; М2; М3;…Mn-1; Mn – итоговые задержки ИС в модуляторах передатчиков. Здесь n – количество передатчиков в одночастотной сети SFN.

А2 Определение результирующей задержки ИС в каждом из передатчиков Ri = Si + Mi, где i = 1, 2, 3,…, n. А3 Определение максимальной задержки Rmax ИС в SFN сети. А4 Определение величины отклонения задержек в каждом из передатчиков SFN сети от максимального значения Ei = Rmax - Ri. А5 Ввод дополнительных задержек ИС в модуляторы передатчиков Ri = Ri + Ei . А6 Измерение значения метки времени Тм излучения передатчиков. А7 Проверка выполнения условия Ri <1 сек если условие не выполняется, идти к А10 А8 Проверка выполнения условия установления синхронизма на первой секунде 1 сек> Тм ≥ Ri если условие выполняется, идти к А14 А9 Установка метки времени излучения передатчиков Тм в Т2-шлюзе ЦФМ, удовлетворяющей условию 1 сек> Тм ≥ Ri. Идти к А14 А10 Проверка выполнения условия 2 сек> Ri> 1 сек если условие не выполняется идти к А13. А11 Проверка выполнения условия установления синхронизма на второй секунде 2 сек> Тм +1 ≥ Ri. Если условие выполняется, идти к А14. А12 Установка метки времени излучения передатчиков Тм в Т2-шлюзе ЦФМ, удовлетворяющей условию 2 сек> Тм +1 ≥ Ri. Идти к А14. А13 Устранение причин возникновения задержек, превышающих две секунды. Идти к А1.

А14 Проверка соответствия установленного защитного интервала в передатчиках SFN сети задержкам эхо-сигналов Zj в зоне обслуживания. Если GI > Zj , j = 1, 2, 3,…, k. Здесь k – номер контрольной точки измерений в зоне обслуживания. Если условие выполняется, идти к А16. А15 Установка защитного интервала, удовлетворяющего условию GI > Zj , j = 1, 2, 3,…, k. А16 Завершение настройки синхронной работы передатчиков SFN сети и переход к анализу качества ТВ вещания в зоне обслуживания.

Настройка передатчиков, входящих в состав одночастотной сети, должна обеспечить равенство временных задержек, не превышающих двух секунд, на всех передатчиках в полном соответствии с выбранной относительной меткой

времени, устанавливаемой в формирователе транспортного потока T2-MI. Оценка сетевых задержек на входе возбудителя и итоговых задержек в модуляторах должна обеспечивается измерителем с визуальной индикацией результатов измерений. При большом разбросе задержек на программном или аппаратном уровне необходимо ввести дополнительные статические задержки, выровняв, таким образом, разброс задержек в модуляторах передатчиков.

Следует подчеркнуть, что методы обеспечения синхронизации SFN сети во многом определяются техническими характеристиками модуляторов передатчиков.

К возбудителям зарубежных передатчиков, например, передатчиков R&S и Harris, входящих в состав SFN-сети, предъявляются жесткие требования по разбросу задержек при обработке информационного сигнала, а также по унификации управления этими задержками.

К сожалению, на практике приходится выбирать тип возбудителя по другим критериям качества. Поскольку эффективность управления нелинейностью тракта усилителя мощности также во многом зависит от технических характеристик возбудителя в передатчиках мощных и средней мощности могут быть применены возбудители с большим разбросом задержек, что требует принципиально других методов работ по обеспечению синхронизации передатчиков одночастотной сети.

Для проверки компенсации ошибок был проведен тест, при котором сигналы GPS отключались в течение 90% общего времени работы. Каждое отключение составляло около восьми часов и не превышало установленного порога накопленной ошибки, а интервалы включения сигналов GPS составляли десятки минут и были достаточны для необходимой компенсации ошибки. Тест дал положительный результат работы системы удержания синхронизации.

Временная синхронизация в соответствии с рисунком 2.2. Временной сдвиг между сигналами от соседних передатчиков одночастотной сети в точке приема должен лежать в пределах длительности защитного интервала. Исходя из данного требования, должно выбираться максимальное расстояние между

соседними передатчиками в одночастотной сети. Все передатчики одночастотной сети должны излучать одни и те же Т2 - кадры синхронно.

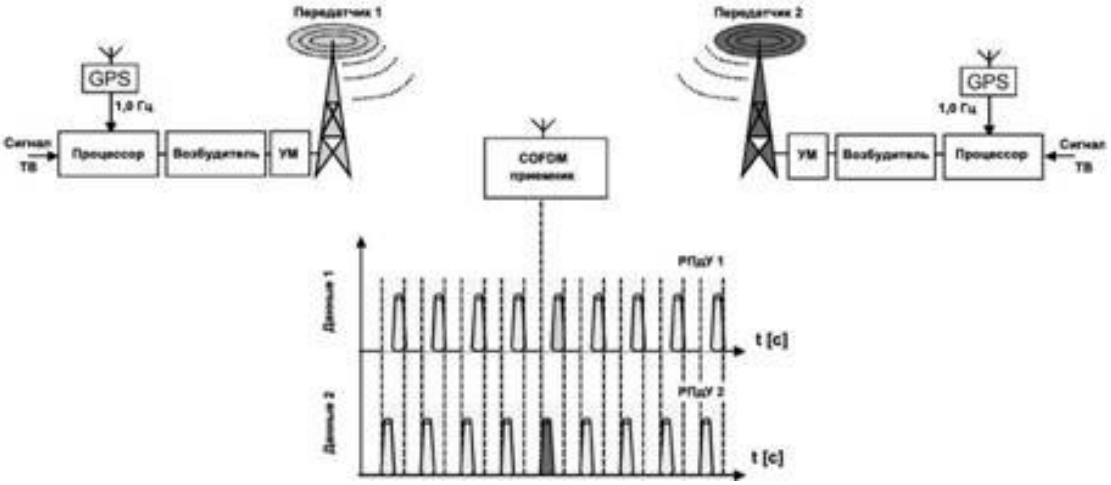

Рисунок 2.2 - Временная синхронизация передатчиков

Синхронизация передатчиков, получающих контент по интерфейсу Т2 – MI, должна осуществляться с помощью пакетов временного штампа DVB-T2 типа 20_{16} в составе потока Т2-MI.

Синхронизация передатчиков, получающих контент через эфир, должна осуществляться с помощью информационных пакетов модулятора Т2-MIP в составе принимаемого ими транспортного потока. Пакеты временного штампа DVB-T2 и информационные пакеты модулятора Т2-M1P должны содержать информацию о времени излучения согласно [1].

Под временем излучения должен приниматься момент, к которому в эфир излучено 50 % энергии первой временной выборки ОБПФ части ≪С≫ символа Р1 первого в суперкадре Т2-кадра [1].

Частотная синхронизация в соответствии с рисунком 2.3. Абсолютное отклонение центральной частоты канала передатчиков одночастотной сети для ширины канала 8 МГц.

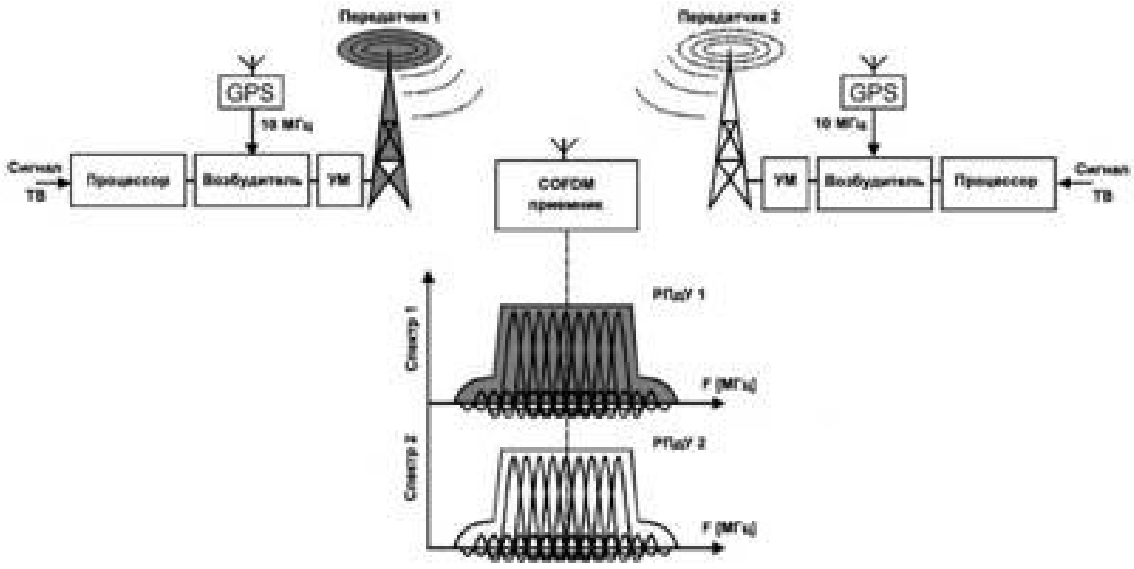

Рисунок 2.3 - Частотная синхронизация

В зависимости от размерности БПФ недолжно превышать значений, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Максимальное абсолютное отклонение центральной частоты канала передатчиков одночастотной сети для ширины канала 8 МГц

Наименование показателя	Размерность БПФ					
	1K	2K	4K	8K	16K	32K
Максимальное отклонение частоты. Гц	6	4	2	1	0,5	0,25

Для иных значений ширины полосы канала максимальное абсолютное отклонение центральной частоты канала должно быть пересчитано прямо пропорционально ширине полосы канала.

В сетях SFN все передатчики должны быть синхронизированы на одной частоте, что обычно обеспечивается сигналом спутниковой навигационной системы GPS. Сигнал, излучаемый спутниками GPS, может быть получен почти всюду в мире и содержит очень точную информацию времени. Точность/стабильность частоты при этом будет иметь порядок величины 1 Гц.

Каждый передатчик SFN должен передать точно тот же самый Транспортный Поток (TS — цифровой поток данных, содержащий программы) и излучать его синхронно с другими передатчиками. Внутри Транспортного Потока, обычно при генерации в Мультиплексоре, цифровой поток данных разделяют на «Мегаструктуры», и в них добавляются данные MIP (Пакет Инициализации Мегаструктуры — MIP), чтобы синхронизировать излучение каждого передатчика в сети. Синхронизация достигается благодаря сигналу частотой 1 Гц (1pps — 1 импульс в секунду) принимаемый приемниками GPS. Теперь сигналы всех передатчиков излучаются синхронно на одной частоте и имеют одинаковые биты данных. Для одночастотной сети вещания главным достоинством цифровой модуляции COFDM является успешная борьба с эхо-сигналами, которые могут возникать из-за отражений от окружающих предметов или при работе нескольких передатчиков на одном и том же радиочастотном канале. Собственно говоря, система COFDM способна использовать с выгодой некоторые виды эхо-сигналов (т.е. те, которые усиливают принимаемый сигнал) и игнорировать эхо-сигналы, которые сказываются отрицательно на полезном сигнале.

Главная особенность, позволяющая в сети SFN избежать взаимного влияния в зонах, где накладываются сигналы — защитный интервал. Защитный интервал — временной интервал, после передачи каждого символа, в течение которого передатчик не излучает никакого полезного сигнала. Это позволяет приемнику, Синхронизированному с передатчиком не принимать сигналы в течении защитного интервала. Таким образом, приемники, не подвержены возможным «наложениям» символов, которые могли бы сделать полученный сигнал невозможным для демодуляции, даже если его уровень будет достаточно хорошим. Чем длиннее защитный интервал, тем больше времени, чтобы гасить нежелательное эхо. Но при этом ниже количество данных, которые могут быть переданы (скорость передачи Bit rate — число и/или качество программ). Защитный интервал может быть установлен от нескольких микросекунд до, более чем 200 микросекунд, чтобы гасить отраженные сигналы, прибывающие

от разных передатчиков, как близко расположенных, так и расположенных на расстоянии до 70 км. Электромагнитные волны распространяются со скоростью света; то есть приблизительно 300 м. в 1 микросекунду.

В режиме 2K IFFT (модуляция OFDM с 1705 несущими), имеющем символьную скорость выше, чем в режиме 8 K IFFT (6817 несущих), возможные защитные интервалы имеют более короткую продолжительность, будучи всегда выраженными как доля продолжительности времени символа (1/4; 1/8; 1/16; 1/32). Поэтому в сетях SFN чаще используют режим 8 K IFFT с более длинными защитными интервалами. Различия между режимами 2K IFFT и 8K IFFT.

Выбор величины защитного интервала для одночастотной сети оказывает решающее влияние на топологию сети: поскольку длительность интервала определяет допустимую для данной сети величину задержки эхо-сигнала, то она и определяет максимальное расстояние между передатчиками. Резюме. Чтобы построить сеть одночастотную сеть цифрового вещания (SFN).

1. Транспортный Поток должен быть сформирован мультиплексором, который, должен иметь приемник GPS (чтобы гарантировать точность частоты сгенерированных данных); и иметь возможность вставлять Пакеты Инициализации Мегаструктуры (MIP).
2. Все передатчики должны быть синхронизированы приемниками GPS.
3. Планирование сети (выбор мощности и местоположения передатчиков, диаграммы направленности антенных систем, и т.д.) должно быть выполнено, таким образом, чтобы уменьшить до минимума, возможные, области интерференции.
4. Сеть должна быть «оптимизирована», регулировкой защитного интервала, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

Всегда, даже при самом тщательном планировании одночастотной сети на границе зоны уверенного приема имеются места, где прием сигнала затруднен или даже невозможен. Это могут быть низины ландшафта, местность за

небольшим холмом или высотным зданием, пространство в туннеле или даже внутри здания.

Цифровые DVB-T2 в соответствии с рисунком 2.4 передатчики диапазона серии СТ - это новейшее поколение телевизионных устройств, в которых используются самые современные компоненты, технологические и конструктивные решения. Используемый в передатчиках OEM DVB-T/T2 модулятор разработан и производится компанией TeamCast (Франция) - он полностью интегрирован в передатчик, что улучшает эксплуатационные характеристики последнего.

Цифровые передатчики серии СТ полностью соответствуют стандартам EN 302 755 (DVB-T2), EN 300 744 (DVB-T), EN 302 304 (DVB-H)



Рисунок 2.4 – DVB-T2 передатчик СТ-001

Передатчики содержат систему внутреннего и внешнего АРМ и имеют интеллектуальную защиту от перегрузок: по напряжению сети; по превышению КСВ; по току потребления выходных транзисторов; по напряжению питания узлов; по превышению выходной мощности; по перегреву. Дополнительные опции: Эквивалент антенны НС-50-100 ; переключатель «антенна-эквивалент»; антенна ГЛОНАСС/GPS; синхронизатор ГЛОНАСС/GPS; выходной фильтр с критической маской; трансформатор сопротивлений 50/75 Ом в таблице 2.2, 2.3.

Таблица 2.2 – Состав передатчика:

Формирователь СТ-001	1 шт.
Выходной фильтр	1 шт.
Основные параметры:	
Выходная мощность, Вт	1
Потребляемая мощность, Вт	не более 80
Питание однофазное, В	220 ± 15 %
Габаритные размеры	450х482х88 (2U)
Масса, кг	12
Рабочий диапазон, °С	от +5 до +45
Относительная влажность	90%
Высота над уровнем моря, м	2000
Тепловыделение, Вт	60
Уровень акустического шума, дБА	51 дБА
Охлаждение	воздушное
Гарантия, лет	до 3
Срок службы, лет	15
Степень защиты по IP	IP30
Наработка на отказ, час	30 000

Таблица 2.3 –Технические характеристики:

Диапазон рабочих частот, МГц	174-230 и 470-860
ТВ стандарт	DVB-T /H/ T2
Ширина полосы, МГц	5, 6, 7, 8
Режимы модуляции	1K, 2K, 4K, 8K, e8K, 16K, e16K, 32K, e32K
Типы модуляции	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Защитный интервал	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
Скорость кода	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Поддержка SFN	есть
Поддержка MFN	есть
MER до фильтра маски, дБ	не хуже 35
BER	не более 10^{-9}
цифровая коррекция	есть
предкоррекция АЧХ	есть
предкоррекция нелинейности AM-AM и AM-PM	есть
предкоррекция спектра в полосе 20 МГц	есть
Возможность синхронизации сигналов	ГЛОНАСС, GPS
Режим передачи	SISO, MISO
Поворот звездной диаграммы	29°, 16,8°, 8,6°, arctg(1/16)
Количество PLP	2, 4, 8
Входной формат	TS (режим A, опция для 1 кВт и более), T2-MI (режим B, все мощности)

В технике цифровой связи методы модуляции играют весьма значительную роль. Помимо своей основной функции – преобразования символ – сигнал – процесс модуляции является составной частью общего процесса

согласования сигнала с характеристиками канала. Современные методы многопозиционной модуляции в полном соответствии с теоремой Шеннона могут рассматриваться и как способ кодирования данных сообщений в символы канала. Специфика выбора тех или иных методов модуляции в системах цифрового телевидения обусловлена заданностью сетки каналов эфирного вещания, т.е. использованием уже существующих частотных планов. В разных странах доступными являются радиоканалы с полосами частот 6, 7 или 8 МГц. Цифровой поток различных служб, который должен передаваться в этих полосах в нормальных условиях составляет в разных системах вещания около 20 Мбит/с и выше. Таким образом удельная скорость передачи должна составлять примерно 4 бит/(с·Гц) в полосе 6 МГц и 3 бит/(с·Гц) в полосе 7 или 8 МГц. Но включение в тракт передачи фильтров, задающих коэффициент скругления спектра 25-35%, а также необходимость повышения скорости передачи данных за счет ввода символов кодовой защиты от ошибок приводит к дополнительному повышению удельной скорости сверх приведенных теоретических значений. Теоретически спектральную эффективность до 4 бит/(с·Гц) могут обеспечить такие виды модуляции, как 16 QAM, 4 VSB или 16 PSK. Но по указанным причинам приходится поднимать кратность модуляции и применять модуляцию более высокого порядка, такую как 64 QAM и 8 VSP. В кабельных распределительных ТВ системах, где уровень помех существенно ниже, чем при наземном вещании, есть возможность еще более увеличить кратность модуляции и использовать 256 QAM и 16 VSB.

Одним из методов модуляции в системах цифрового ТВ вещания является многоуровневая амплитудная модуляция с частично подавленной нижней боковой полосой (АМ-ЧПБП, более известная как 8- и 16- VSB). Модулирующий сигнал представляет собой 8- или 16-уровневые импульсы, сглаженные формирующим фильтром. Протяженность нижнего и верхнего срезов спектра составляет 620 кГц при полной ширине спектра 6 МГц. Модуляция 8-VSB предназначена для применения в наземном цифровом вещании, а 16-VSB - для кабельных распределительных сетей. Обе разновидности модуляции VSB имеют

одномерные созвездия с различным числом точек, из которых только половина используется для передачи полезной информации, а другая половина - для корректирующего кодирования. Поэтому по скорости передачи полезной информации модуляция 8- (16-) VSB фактически соответствует 4- (8-) VSB без кодирования. Скорость передачи символов при всех вариантах VSB практически в 2 раза выше численного значения занимаемой полосы частот. Помехоустойчивое кодирование практически важный вывод работ Шеннона состоит в том, что если скорость передачи информации меньше пропускной способности канала, то с использованием кодов, исправляющих ошибки, можно создать систему связи со сколь угодно малой вероятностью ошибки на выходе декодера канала. При этом адекватная система без корректирующего кодирования будет более сложной, дорогой и энергоемкой. Отсюда вывод: система, не имеющая корректирующего кодирования и работающая без ошибок, - это крайне неэффективная система. Наоборот, эффективная система должна иметь возможность работы в режиме с достаточно высокой частотой ошибок в потоке на входе декодера, а сам декодированный поток должен иметь крайне малую вероятность ошибки на бит.

Положительным эффектом помехоустойчивого кодирования является либо снижение вероятности ошибки, либо снижение энергетики передачи при той же вероятности ошибки, либо и то, и другое одновременно. Таким образом, кодирование расширяет возможности компромисса между полосой и энергетикой канала, присущего любой системе связи.

В качестве примера системных компромиссов рассмотрим возможности выбора между кратностью относительной фазовой модуляции K = lg2M, кодовой скоростью R и минимально необходимой полосой BN.

Положим, что кодер источника производит биты информации со скоростью

$$Vb=1/Tb, \qquad (2.1)$$

где Tb - длительность информационного символа (тактовый интервал) в системе без кодирования.

Тогда в зависимости от кратности модуляции M- позиционного сигнала ФМ требуется полоса Найквиста BN = 1/KTb. При кодировании кодом, исправляющим ошибки, скорость группового потока, состоящего из информационных и проверочных символов, возрастает в 1/R раз и становится равной y = 1/RTb, соответственно увеличивается и полоса Найквиста BN=1/KRTb. Данные расчетов для ряда значений K и R приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Числовые позиции и скорость R

Число позиций сигнала *ФМ-М*	Кратность модуляции *K*	Кодовая скорость *R*	Полоса Найквиста
2	1	1 (без кодирования) 1/2 2/3 3/4 4/5	$1/T_b$ $2/T_b$ $3/2T_b$ $4/3T_b$ $5/4T_b$
4	2	1 (без кодирования) 1/2 2/3 3/4 4/5	**$1/2T_b$** $1/T_b$ $3/4T_b$ $2/3T_b$ $5/8T_b$
8	3	1 (без кодирования) 1/2 2/3 3/4 4/5	$1/3T_b$ $2/3T_b$ **$1/2T_b$** $4/9T_b$ $5/12T_b$
16	4	1 (без кодирования) 1/2 2/3 3/4 4/5	$1/4T_b$ **$1/2T_b$** $3/8T_b$ $1/3T_b$ $5/13T_b$

Из таблицы следует, что при передаче с неизменной скоростью Vb = const, одно и то же значение полосы Найквиста, например, BN = 1/2Tb, обеспечивается для сочетаний (K=2, R=1), (K=3, Д=2/3), (K=4, R=1/2). Какое же сочетание лучше? Ответ на этот вопрос дает параметр, называемый энергетическим выигрышем кодирования (ЭВК).

Глава 3 Расчетная часть и методика определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема

Методика включает в себя два этапа. На первом этапе определяют границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ по результатам расчёта и измерения напряженности электромагнитного поля в запланированных малых зонах.

На втором этапе осуществляется исследование проблемных областей зоны покрытия, в которых выявлен нестабильный прием сигнала от передающей станции НЦТВ. Как правило, такие измерения проводят в тех случаях, когда эти области приходятся на населенные пункты.

Зона обслуживания определяется как суммарная зона, полученная нанесением на карту местности границ зоны покрытия и результатов обследований, вышеупомянутых областей.

3.1.1. Определение границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема

Для исследуемой станции НЦТВ с выбранным PLP с помощью СПО в соответствии с выбранным методом расчета определяют границу расчетной зоны покрытия с заданной вероятностью охвата мест (X%; например, X=95%).

Расчет границы зоны покрытия для исследуемой станции производят следующим образом:

- в секторе азимутальных углов от 0° до 360° с интервалом не более 10° от станции выбирают радиальные направления;
- на каждом радиальном луче определяют положения расчетных точек с шагом:
  - для передатчиков мощностью менее 100 Вт: 50 м;
  - для передатчиков мощностью 100 Вт и выше: 100 м;

- в каждой точке в соответствии с выбранным методом расчета (например, Рекомендация МСЭ-R P.1546 [6]) вычисляют напряженность электромагнитного поля;
- в каждой точке расчетную напряженность поля сравнивают с требуемой минимальной медианной напряженностью электромагнитного поля;
- на каждом направлении, начиная с 21-ой расчетной точки, находят точку A_i такую, что большинство расчетных точек, лежащих на отрезке (A_{i-20}; A_{i+20}), не принадлежат зоне покрытия (расчетная напряженность поля в большинстве выбранных точек оказалась ниже требуемой минимальной медианной напряженности поля), тогда точка A_{i-1} считается граничной, а расстояние от исследуемой станции до точки A_{i-1} определит радиус расчетной зоны покрытия на заданном направлении;
- последовательно на каждом радиальном направлении от исследуемой станции определяют граничные расчетные точки;
- замкнутая кривая, соединяющая граничные точки по всем направлениям, будет определять расчетную границу зоны покрытия.

При расчетах высота приемной антенны определяется типом местности и равна:

- для районов города с многоэтажными и высотными зданиями – 30 м;
- для районов города, где преобладают здания средней этажности (от 3 до 5 этажей) – 15 м;
- для районов города с малоэтажной застройкой (1-2 этажа) и в сельской местности – 10 м.

В случае отсутствия данных о типе местности высота приемной антенны при расчетах берется равной 10 м. Расчетную границу зоны покрытия наносят на карту местности.

Для расчета границы зоны покрытия допускается использование любых известных программных средств, например: «РАКУРС», «ПИАР», «ЭФИР» и

др., при условии, что они обеспечивают выполнение вышеуказанных требований.

Анализируя карту местности, определяют радиальные направления от станции НЦТВ, по которым будут проводить измерения, для нахождения положения реальной границы зоны покрытия данной станции. Условия выбора направлений:

- количество радиальных направлений должно быть не менее 4 и не более 36; - азимутальный угол между двумя смежными направлениями должен быть не менее 10° и не должен превышать 150°;
- направления выбирают с учетом рельефа местности и наличия радиальных шоссейных дорог.

Выбранные радиальные направления наносятся на карту местности.

На каждом радиальном направлении определяют положение не менее 7 малых зон. Положение первой малой зоны должно удовлетворять следующим требованиям:

- малая зона должна располагаться в дальней зоне излучения антенны станции НЦТВ на расстоянии $R \geq 2D^2/\lambda$, где: *D* – линейный размер апертуры антенны станции цифрового вещания в плоскости поляризации

  излучения (в метрах), λ - длина волны излучения (в метрах);
- малая зона должна находиться в пределах прямой видимости на исследуемую станцию;
- малая зона должна находиться в зоне облучения основного лепестка диаграммы направленности передающей антенны.

Остальные малые зоны размещают ближе к расчетной границе зоны покрытия по возможности с одинаковым шагом S, равным от 1 до 10 км, на отрезке:

от ~(0,6…0,7)·$R_{расч}$ до ~(1,3…1,4)·$R_{расч}$,

где $R_{расч}$ – расстояние от передатчика до расчетной границы зоны покрытия с заданной вероятностью охвата мест приема (рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример назначения малых зон для определения границы зоны покрытия с последующей корректировкой положения этой границы по результатам измерений.

Уточняют положение малых зон и мест приема по фотографиям с ИСЗ или по данным их предварительного осмотра на местности. Места для размещения малых зон следует выбирать так, чтобы локальных мешающих предметов в окрестностях малой зоны было бы как можно меньше, а на возможное изменение напряженности поля внутри малой зоны в первую

очередь влияла бы неровность рельефа подстилающей поверхности на исследуемом направлении.

3.1.2. Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений

В выбранной малой зоне намечают не менее 5 мест приема.

В условиях сельской местности или в условиях малоэтажной застройки приемную антенну устанавливают на мачту, ориентируют по поляризации и поднимают на высоту 10 м.

При многоэтажной застройке в зоне с неустойчивым приёмом в случае недостаточного уровня приёма сигнала на 10 м измерения проводят с использованием штатива с креплением для измерительной антенны. Штатив устанавливают на крыше наиболее высокого дома в окрестностях выбранной малой зоны. К штативу крепят приемную антенну, после чего антенну ориентируют по поляризации и поднимают на высоту не менее 2 м над уровнем крыши.

В каждом месте приема записывают текущие координаты. Зная координаты исследуемой станции, по карте местности определяют азимут на исследуемую станцию НЦТВ (расчетный азимут прихода полезного сигнала).

Поворачивая антенну в горизонтальной плоскости, определяют направление прихода полезного сигнала максимального уровня, наличие/отсутствие помех.

Азимут прихода сигнала определяют с помощью компаса. Для этого измеряют азимутальный угол, по которому направлена несущая стрела приемной антенны (траверса). Истинный (географический) азимут прихода сигнала определяют по формуле:

$$A_и = A_м + \gamma + \Delta\psi, \quad (1)$$

где: $A_и$ – истинный (географический) азимут прихода сигнала;

$A_м$ – измеренный по компасу магнитный азимут несущей стрелы приемной антенны (траверсы); γ – склонение магнитной стрелки (магнитное склонение) – угол между истинным (географическим) и магнитным меридианами; магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным – если к западу;

$\Delta\psi$ – угол в горизонтальной плоскости между направлением основного лепестка диаграммы направленности и несущей стрелой (траверсой) приемной антенны.

Если реальное значение азимута прихода полезного сигнала в точке измерения не совпадает с расчетным значением азимута на ТВ-станцию (отклонение превышает ±15□), то делается соответствующая запись в журнале измерений об аномальном направлении прихода. Дальнейшие измерения в в этой точке приема не проводят, а измерительный комплекс перемещают в следующее место приема данной малой зоны, где повторяют процедуру проверки азимута прихода полезного сигнала с максимальным уровнем.

Если реальный азимут прихода полезного сигнала совпадает с расчетным (в пределах ±15□), но в месте приема присутствует помеха, то делают соответствующую запись в журнале измерений.

В каждом месте приема, где не выявлено присутствие помеховых сигналов и азимут прихода полезного сигнала совпадает с расчетным (в пределах ±15□), устанавливают приемную антенну в направлении прихода сигнала с максимальным уровнем, после чего выполняют измерения параметров принимаемого сигнала. Результаты измерений сохраняют для дальнейшей обработки.

Если в первом месте приема малой зоны каналом приема был канал Гаусса, то измерения в последующих местах приема данной малой зоны

можно не проводить. Если в первых трех местах приема малой зоны основным каналом приема был канал Райса или Релея, и разница между измеренными медианными значениями нормированной напряженности поля в этих точках не превышает 6 дБ, то измерения в дальнейших местах приема данной малой зоны можно не проводить.

3.2. Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала

В каждом месте приема в течение 60 секунд с помощью СПО и документацией на используемое оборудование в каждом 2-х секундном интервале проводят измерение напряженности электромагнитного поля $E_{иi}$ и записывают огибающую спектра сигнала. Затем вычисляют нормированную напряженность поля $E^{норм}_{иi}$. По 30-ти полученным значениям $E_{иi}$ и $E^{норм}_{иi}$ определяют медианное значение измеренной и нормированной напряженности электромагнитного поля $E_{мпi}$ и $E^{норм}_{мпi}$ в данном месте приема.

В каждом месте приема по окончании измерений напряженности поля в течение 60 секунд определяют коэффициент ошибок по битам после декодера LDPC. Измерение параметра $LBER_{мпi}$ производят в соответствии с документацией на используемое оборудование.

При невозможности проведения измерений в месте приема параметра $LBER_{мпi}$, оператор дает субъективную оценку качества изображения принимаемого DVB-T2 сигнала на не менее трех тестовых бытовых приемниках. Для этого выход с приемной антенны последовательно подключают к каждому тестовому приемнику и далее дают оценку качества изображения для каждого приемника по окончании просмотра отрывка длительностью не менее 60 секунд.

3.3. Обработка результатов измерений

Для выбранного PLP определяют принадлежность каждого места приема к зоне покрытия станции НЦТВ:

- экспериментально полученное медианное значение $E^{норм}_{мпi}$ каждого места приема сравнивают с минимальной медианной напряженностью поля E_{med}(X%) (см. Приложение В). Если $E^{норм}_{мпi}$ ≥ E_{med}(X%), то считают, что это место приема

принадлежит зоне покрытия.

Определяют принадлежность каждого места приема к зоне обслуживания станции НЦТВ:

- экспериментально полученное значение $LBER_{мпi}$ сравнивают с пороговым значением равным 10^{-7}. Если при $E^{норм}_{мпi}$ ≥ E_{med}(X%) было зафиксировано, что $LBER_{мпi} \leq 10^{-7}$, то считают, что это место приема принадлежит зоне обслуживания.

Если во время измерений параметра $LBER_{мпi}$ наблюдался сбой, в результате которого процесс измерения *LBER* начинался заново, или если за время наблюдения, измеренное значение $LBER_{мпi}$ превысило порог 10^{-7}, то считают, что данное место приема не принадлежит зоне обслуживания.

При субъективной оценке качества принимаемого ТВ-сигнала на экране телевизора за все время наблюдений ни для одного приемника не должно быть зафиксировано наличие артефактов при показе. В ином случае считают, что место приема не принадлежит зоне обслуживания.

Принадлежность малой зоны зоне обслуживания определяется большинством мест приема в данной малой зоне, принадлежащих/не принадлежащих зоне обслуживания. Малая зона, принадлежащая зоне обслуживания, помечают зеленым цветом, а не принадлежащая зоне обслуживания – красным цветом (см. рис. 5).

В результате выполнения измерений во всех местах приема каждой малой зоны получают ряд, состоящий из *n* численных значений

нормированной напряженности электромагнитного поля – по количеству мест приема в малой зоне:

$$E_{\text{норм}_{\text{мп}1}};\ E_{\text{норм}_{\text{мп}2}};\ E_{\text{норм}_{\text{мп}3}};\ E_{\text{норм}_{\text{мп}4}};\ \ldots\ E_{\text{норм}_{\text{мп}n}}.$$

Методом попарного последовательного отбрасывания наибольшего и наименьшего значений [7] определяют медианное значение нормированной напряженности электромагнитного поля для каждой малой зоны $E^{\text{норм}}{}_{\text{мз}j}$.

Если для исследуемого направления в двух крайних наиболее дальних от передатчика малых зонах выполняется условие:

$$E_{\text{норммз}j} < E_{med}(\text{X}\%), \qquad (2)$$

то измерения на данном направлении можно считать законченными. В ином случае на данном направлении, с тем же шагом S, размещают еще 2 – 3 малые зоны, в которых проводят дополнительные измерения и по их завершению повторяют процедуру проверки окончания измерений результатов измерений (см. рисунок 4).

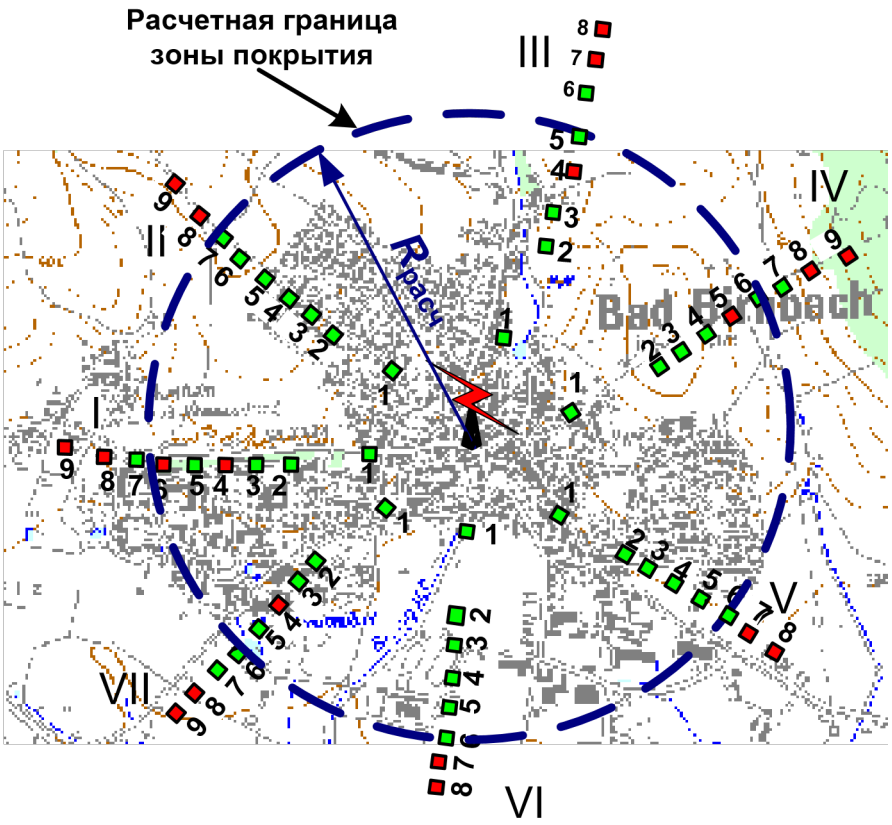

Рисунок 4 – Пример представления обработанных результатов измерений по направлениям.

Рассчитанную границу зоны покрытия корректируют с учетом результатов измерений:

- для выбранного направления (например, «I» рисунок 4), определяют итоговый азимут, как среднеарифметическое значение азимутов малых зон, в которых по данному направлению от исследуемой станции проводились измерения;
- в поле координатных осей *E(R)* наносят точки, соответствующие медианным значениям нормированной напряженности поля сигнала, полученным по измерениям в малых зонах данного направления;
- согласно методике, описанной в Приложении Г, определяют кривую аппроксимирующую полученных значений нормированной напряженности поля;

• кривая определяет усредненное сглаженное распределение напряженности поля вдоль данного направления;

• проводят горизонтальную прямую, соответствующую минимальной медианной напряженности поля с заданной вероятностью охвата местоположений

E_{med}(X%) (см. пример – рисунок 5);

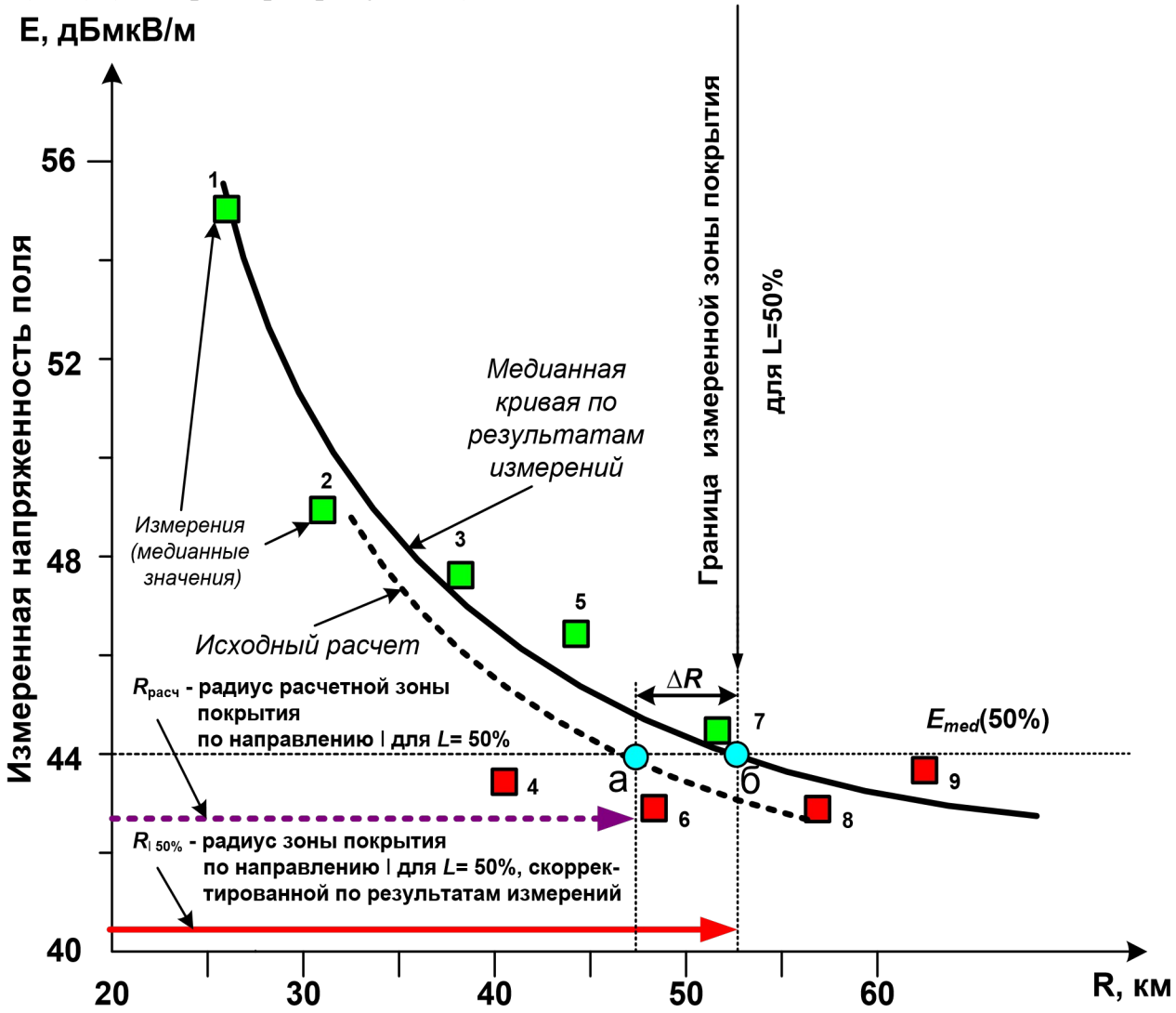

Рисунок 5 – Пример обработки результатов измерений на одном из направлений при определении границы зоны покрытия для вероятности охвата 50% мест.

• точка пересечения «*б*» определит радиус реальной на момент измерений зоны покрытия по данному направлению «I», т.е. $R_{I\ X\%}$;

- точка пересечения расчетной кривой с прямой E_{med}(X%) (точка «*a*» на рисунке 6) определит радиус расчетной зоны покрытия $R_{расч}$;
- величину и знак коррекции положения границы зоны покрытия по данному направлению ΔR вычисляют как: $\Delta R = R_{расч} - R_{I\ X\%}$;
- аналогичные действия выполняют для всех запланированных

направлений;

- расчетную границу корректируют с учетом поправки ΔR. При корректировке границы на промежуточных направлениях, где измерения не проводились, значение ΔR определяют как линейную функцию угла, находящегося между двумя смежными направлениями. Например, для *i*-го направления лежащего между направлениями «I» и «II» ΔR_i определяют по формуле:

$$\Delta R_i = \Delta R_I + \frac{(\Delta R_{II} - \Delta R_I)\Delta_{i-I}}{\Delta_{II-I}}, \qquad (3)$$

где:

ΔR_I, ΔR_{II} – величина коррекции по расстоянию соответственно для направления «I» и для направления «II»,

Δ_{II-I}, Δ_{i-I} - углы секторов между соответственно направлениями «II» и «I», и направлениями «*i*» и «I»;

- на карте местности отображают скорректированную границу зоны покрытия (см. рисунок 6).

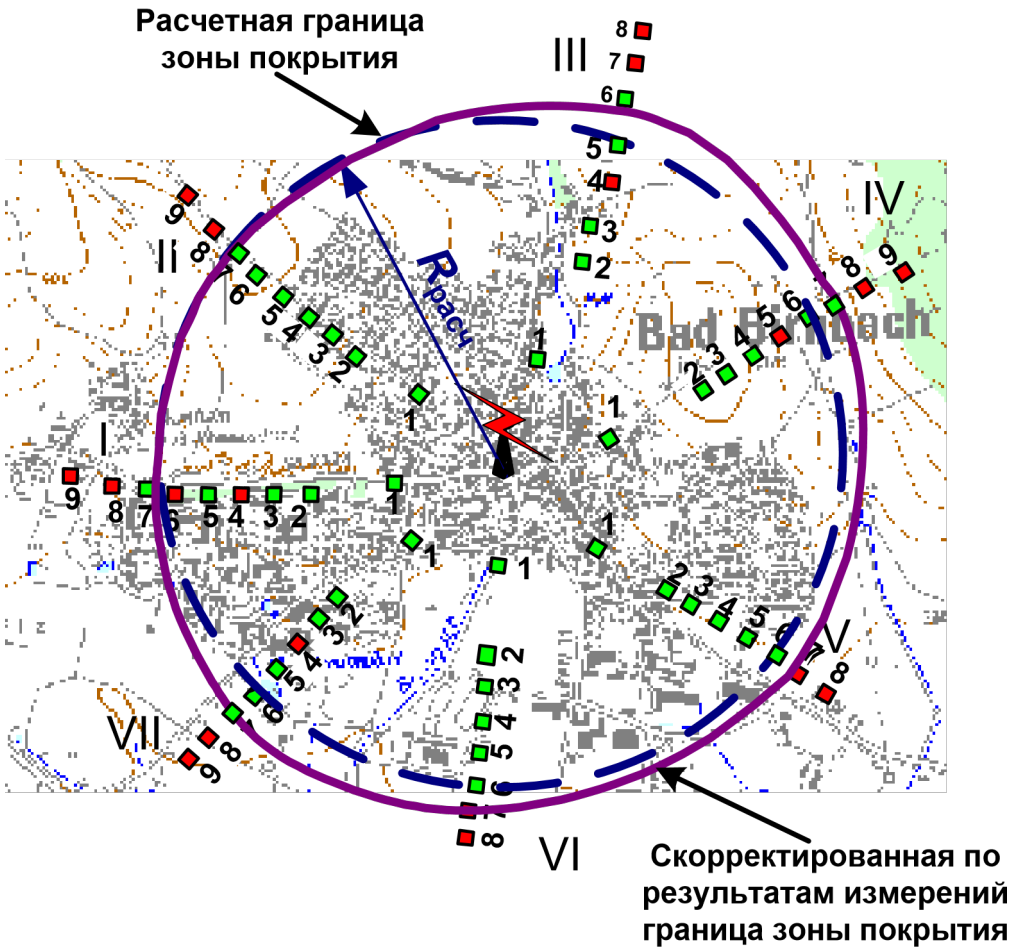

Рисунок 6 – Пример представления скорректированной границы зоны покрытия.

Глава 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МАЛЫХ ЗОН И МЕСТ ПРИЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DVB-T2

Известно, что из-за влияния местных предметов, неоднородностей среды распространения радиоволн, разного рода помех и т.д. параметры электромагнитного поля сигнала цифрового ТВ в зоне покрытия в общем случае нестабильны и описываются статистическими законами.

Для дальнейшей обработки результатов измерений уровней поля ТВ-сигнала на заданной территории необходимо иметь полученные данные в виде усредненных за оговоренный период величин.

Усреднение проводят различными способами, но самым удобным и быстрым является способ определения медианных значений параметров, который заключается в поочередном попарном отбрасывании из имеющегося банка данных наибольшего и наименьшего значений интересующего исследователя параметра, например, напряженности поля сигнала.

Опыт показывает, что, как правило, на нескольких экспериментальных площадках (получивших название «малых зон»), расположенных в безлесной равнинной или слабовсхолмленной местности на одинаковом расстоянии от передатчика (и в случае круговой ДНА в горизонтальной плоскости и исправного оборудования передающей станции), медианные значения напряженности поля мало отличаются друг от друга (с приемлемой для практики разницей).

Трудности появляются при решении ряда подобных задач в условиях пересеченной, холмистой и особенно - гористой местности, с протяженными лесными массивами, в местах протяженных высоковольтных ЛЭП и т.п., а также в крупных населенных пунктах с многоэтажной застройкой. Сильно осложняет получение надежных результатов исследований и временной фактор.

Для примера на рисунке Е.1 представлен типичный случай взаимного расположения передающей станции, нескольких населенных пунктов с многоэтажной и малоэтажной застройкой, дорог и границы расчетной зоны покрытия, то есть, без воздействия мешающих передатчиков и по уровню минимальной медианной напряженности поля $E_{\text{мин мед}}$.

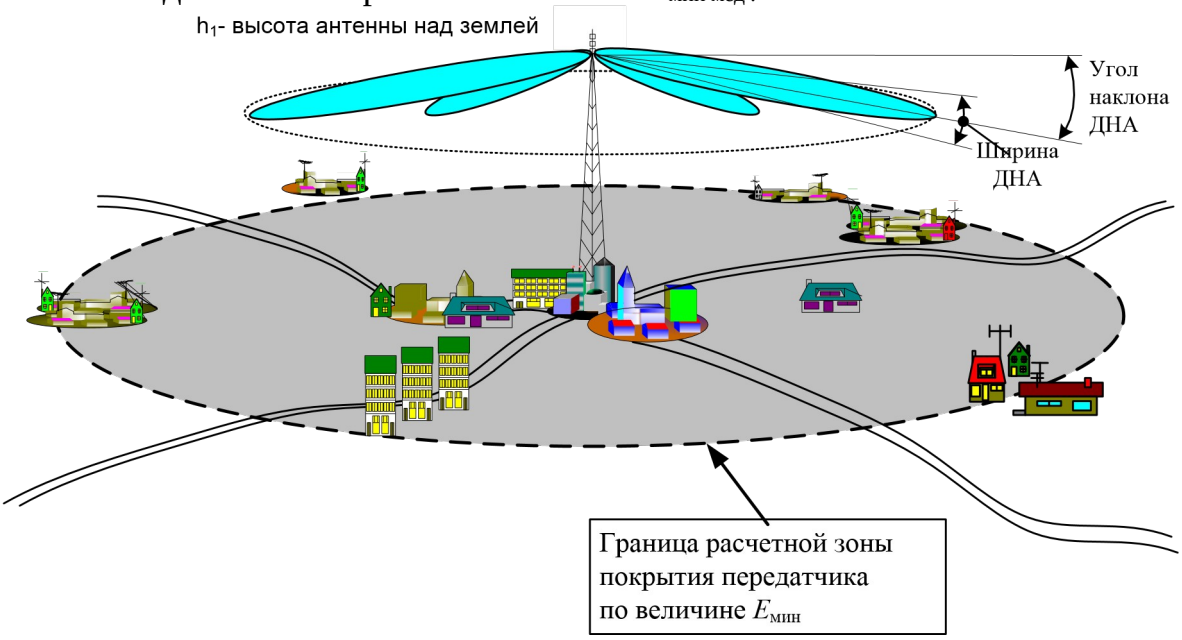

Рисунок Е.1 – Основные исходные данные при решении задач системы DVB-T2.

Первостепенным действием исследований при фиксированном приеме в зоне полезного передатчика системы DVB-T2 является расстановка малых зон на заданной территории и обоснование их расположения относительно друг друга.

Немаловажным фактором при исследованиях и измерениях ТВ-сигнала является максимальное приближение условий измерений к штатным условиям приема телезрителями:

- соблюдение размещения измерительных антенн на рекомендуемой техническими документами высоте (для фиксированного приема при многоэтажной застройке измерительные антенны должны быть на уровни крыш, а в условиях 1-2-этажной застройки – на высоте 10 м над земной поверхностью);

- параметры измерительной антенны (в том числе, и помехозащищенность) должны соответствовать Рекомендациям МСЭ;

потери в кабеле снижения, другие параметры измерительной установки должны отражать соответствующие характеристики оборудования телезрителя (или рекомендованных МСЭ), либо должен иметь место учет влияния иных значений этих характеристик (потери на согласование и др.).

4.1. Выводы и рекомендации по выбору малых зон и мест приема

1) Основное правило в выборе площадок для малых зон: места для размещения малых зоны следует выбирать так, чтобы влияние локальных мешающих предметов на результаты измерений было бы незначительно, а изменение напряженности поля внутри малой зоны в первую очередь зависело от изменений рельефа подстилающей поверхности на исследуемом направлении.
2) Рекомендации в выборе площадки для малых зон:

- при определении положения границы заданной зоны вне населенных пунктов – по возможности на открытых ровных местах вдали от строений и токопроводящих сооружений;
- как показывает практика, в сельской местности весьма редко удается отыскать площадку по параметрам, близкую к рекомендованной в виде квадрата с размерами 100х100 метров [8], чаще всего приходится довольствоваться дорогами, уходящими от основного шоссе в стороны;
- по возможности следует избегать измерений в лесных массивах, сильно поглощающих энергию сигнала и искажающих спектр;
- если расчетная зона покрытия приходится на достаточно большой лесной массив, то малые зоны следует выбирать очень аккуратно, на достаточно больших полянах, чтобы влияние леса было минимально;

- в населенных пунктах с застройкой менее 10 м – места для проведения измерений следует выбирать, по возможности, на наиболее открытых участках;
- в населенных пунктах с застройкой выше 10 м – площадки для проведения измерений следует выбирать на крышах доминирующих в малых зонах по высоте домов.

Заключение

Телевизионное вещание – самое распространенное средство информационного обслуживания населения. Сегодня происходит слияние средств вещания, телекоммуникаций и компьютерных технологий в едином информационном пространстве. Этому способствует переход от аналоговых методов формирования и передачи сигналов к цифровым.

Развитие систем передачи телевизионной информации в современных условиях идет по двум направлениям:

– интеграция всех видов цифровых сигналов от источников информации в общем информационном потоке;

– внедрение интерактивных сетей, позволяющих непосредственное общение пользователя с источником информации. В предлагаемом учебном пособии кратко освещается одна из перспективных систем цифрового наземного телевидения стандарта DVB-T, принятых в России. Этот стандарт является одним из трех телевизионных систем: DVB-T, ATSC и ISDB-T.

Сравнивая преимущества и недостатки систем, следует отметить, что все стандарты предполагают использование компрессии MPEG, поэтому данные об изображении и звуке передаются в виде пакетов транспортного потока. Различия между системами проявляются на уровне модуляции. Таким образом, стандарт DVB-T описывает контейнер, приспособленный для доставки пакетированных данных в условиях наземного телевидения.

Система DVB-T по сравнению с другими стандартами способна работать в условиях многолучевого приема, типичного для современных городов. В системе DVB-T возможна иерархическая модуляция, позволяющая осуществить одновременную передачу двух программ, например ТВЧ и стандартной четкости. Системы цифрового телевидения интенсивно развиваются. Совершенствуются методы сжатия цифрового потока. Вводятся новые спутниковые, кабельные и наземные цифровые каналы. Уменьшается стоимость цифровых приставок к стандартному вещательному телевизионному приемнику.

В 2009 г. разработан новый стандарт наземного эфирного цифрового телевидения – DVB-T2, который позволяет получить более высокую полезную скорость передачи в стандартной полосе эфирного ТВ-вещания. По сравнению с DVB-T отсутствует связь с какой-либо структурой данных на транспортном уровне. Новый метод, названный «поворотом сигнального созвездия», обеспечивает существенный прирост устойчивости в сложных эфирных условиях.

В целом, эти нововведения позволяют создать гибкую и эффективную систему трансляции мультимедийных потоков. Стандарт DVB-T2 – это мощный инструмент мультимедийного вещания, в который заложены огромные возможности по расширению функциональности.

Библиографические ссылки

1. Аверченко А. П., Женатов Б. Д., Бессонов В. А. Одночастотные сети в цифровом стандарте DVB-T2 // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы II междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, апрель 2014 г.) СПб.: Заневская площадь, 2014. — С. 40−42.

2. Брайс, Р. Справочник по цифровому телевидению / Р. Брайс. – Жуковский: Эра, 2001. – 230 с.

3. Зубарев, Ю.Б. Основные направления внедрения цифрового вещания в России / Ю.Б. Зубарев, М.А. Быховский, М.И. Кривошеев, В.Г. Дотолев, Ю.Д. Шавдия // Broadcasting. – 2000. – №3 (7). – С. 28 – 31.

4. Карякин, В.Л. Методы построения и оптимизации эфирных сетей цифрового телевизионного вещания / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, В.Б. Толмачев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13, №3.– С. 77–83.

5. Карякин, В.Л. Цифровое телевидение / В.Л. Карякин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 272 с.

6. Карякин В.Л., Карякин Д.В. Системы цифрового телевидения: основы построения, технология видеомонтажа и эксплуатации. Самара: ООО «Офорт». ПГАТИ, 2006. - 238 с.

7. Коньшин С.А. Технологии цифрового телевидения. В 2 ч. Ч. 1. Аналоговое и цифровое телевидение / С.А. Коньшин, В.С. Коньшин, А.И. Одинец ; под ред. С.А. Коньшина. – Омск : Кн. изд-во, 2011. – 509 с.

8. Коньшин С.А. Технологии цифрового телевидения. В 2 ч. Ч. 2. Цифровое телевидение / С.А. Коньшин, А.В. Подгайский ; под ред. С.А. Коньшина. – Омск: Кн. изд-во, 2011. – 447 с.

9. Мамаев, Н.С. Цифровое телевидение / Н.С. Мамаев, Ю.Н. Мамаев, Б.Г. Теряев; под ред. Н.С. Мамаева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 180 с.

10. Мамчев Г.В. Основы радиосвязи и телевидения : учеб. пособие / Г.В. Мамчев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 414 с.

11. Нефедов, В.И. Основы радиоэлектроники и связи: учебное пособие/В.И. Нефедов, А.С. Сигов; под ред. В.И.Нефедова. — М. : Высшая школа, 2009. — 735 с.

12. Нефедов, В.И. Основы радиоэлектроники / В.И. Нефедов. – М. : Высшая школа, 2000. – 399 с.

13. Омелянюк И.В. Цифровое эфирное телевидение. Практика, новые направления развития цифрового наземного телевидения. СПб.: Телеспутник, 2010. - 152 с.

14. Основы телевидения : учебное пособие / сост.: В.А. Глушков, А.В. Смирнов. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 88 с.

15. О федеральной целевой программе «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009−2015 годы»: Постановление Правительства РФ от 3 декабря 2009 г. № 985.

16. Прокис, Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / Дж. Прокис; под ред. Д.Д. Кловского. – М. : Радио и связь. 2000. – 800 с.

17. Птачек, М. Цифровое телевидение : Теория и техника / М. Птачек; пер. с чеш. под ред.Л.С. Виленчика. – М. : Радио и связь, 1990. – 528 с.

18. Самкова Е. Обзор рынка навигационных устройств// Встраиваемые системы, №3, 2009.

19. Смирнов, А.В. Цифровое телевидение: от теории к практике/ А.В. Смирнов, А.Е. Пескин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2012. – 352 с.

20. Смирнов, А.В. Основы цифрового телевидения : учебное пособие А.В. Смирнов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 224 с

21. Телевидение : учеб. для вузов / В.Е. Джакония [и др.]. – М. : Горячая ли- ния – Телеком, 2007. – 616 с.

22. Шахнович И. DVB-T2 — новый стандарт цифрового телевизионного вещания // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес: журнал. — 2009.

23. Шахнович И. Конкурирующие стандарты цифрового вещания. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №1, с.17–19.

24. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006.

25. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. — М.: Горячая линия — Телеком, 2005.

26. Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI TS 102 773 v.1.1.1, 2009. – 36 p.

27. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI TS 102 831 v1.1.1. ETSI, 2010. – 213 p.

28. DVB-T2 Physical Layer Specification: ‘Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)’.DVB Blue Book A122 or ETSI EN 302755 v1.2.1

29. DVB-T2.pdf. 11. DVB-T2 in relation to the DVB-x2 Family of Standards Nick Wells (BBC R&D, Chairman of DVB TM-T2 working group)

30. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – DVB Document A122, June 2008.

31. Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – DVB Document A133, February 2009.

32. W. Zirwas «Single Frequency Network Concepts for cellular OFDM Radio Systems» DVB Fact Sheet — DVB-T2- 2nd Generation Terrestrial Broadcasting, April 2009