

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ,  
ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ФАКУЛЬТЕТ «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ»**

**КАФЕДРА  
«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»**

# **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему «Исследование построения системы цифрового  
телевидения стандарта DVB-T»

Выполнил: выпускник 4-курса по  
направлению «Телекоммуникация»  
студент Лигай Д.А.

---

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:  
д.т.н., с.н.с. Каипбергенов Б.Т.

---

Выпускная квалификационная работа прошла  
предварительную защиту на кафедре  
Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**НУКУС - 2014 г.**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ФАКУЛЬТЕТ «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ»

КАФЕДРА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»

**У Т В Е Р Ж Д А Ю**

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

**ЗАДАНИЕ**

на выпускную квалификационную работу студента Лигая Дмитрия Александровича

на тему «Исследование построения системы цифрового телевидения стандарта DVB-T»

Тема утверждена приказом НФ ТУИТ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

Срок сдачи законченной работы « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

Исходные данные к работе: материалы дипломной практики, лекционные материалы, научные книги и материалы из интернета

Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих к разработке вопросов)

Введение. 1. Общий обзор цветного и цифрового телевидения. 2. Структура и принципы построения системы цифрового телевидения DVB-T.

3. Современное состояние и перспективы внедрения стандарта цифрового телевидения DVB-T в Узбекистане. 4. Безопасность жизнедеятельности.

Перечень графического материала: Слайды

Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись

Задание принял \_\_\_\_\_  
подпись

Консультанты по отдельным разделам выпускной работы:

Наименование раздела	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание получил
1, 2, 3 и 4 разделы	Каипбергенов Б.Т.		

График выполнения работы:

№	Наименование раздела	Срок выполнения	Подпись руководителя (консультанта)
1.	Общий обзор цветного и цифрового телевидения.	20.04.2014 г.	
2.	Структура и принципы построения системы цифрового телевидения DVB-T.	10.05.2014 г.	
3.	Современное состояние и перспективы внедрения стандарта цифрового телевидения DVB-T в Узбекистане.	25.05.2014 г.	
4.	Безопасность жизнедеятельности.	01.06.2014 г.	

Выпускник \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Руководитель \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной выпускной квалификационной работе исследованы стандарты системы цветного и цифрового телевидения NTSC, PAL, SECAM, ATSC, ISDB, DVB-C, DVB-S, DVB-H и DVB-T. Изучены структура, принципы построения, модуляция, обработка данных и сигналов системы цифрового телевидения DVB-T. Рассмотрено современное состояние и перспективы внедрения стандарта цифрового телевидения DVB-T в Узбекистане. А также, рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

## **MAZMUNY**

Бул питкерий қанийгелик жумысында реңли ҳәм цифрлы телевидение системаларының көшпе байланыс тармақларының NTSC, PAL, SECAM, ATSC, ISDB, DVB-C, DVB-S, DVB-H ҳәм DVB-T стандартлары изертленген. DVB-T цифрлы телевидение системасының дүзилиси, қурылыў принципери, модуляция, мағлыўматлардың ҳәм сигналлардың қайта ислениўи үйренилген. Өзбекистанда цифрлы телевидениениң DVB-T стандартының әмелиятқа еңгизилиўи ҳәм заманагөй раўажланыў аўхалы, ҳәмде өмир хызмети қәўипсизлиги мәселелери көрип шығылған.

## **SUMMARY**

In this final qualification work researched the standards of system of color and digital television of NTSC, PAL, SECAM, ATSC, ISDB, DVB-C, DVB-S, DVB-H and DVB-T. The learned structure, principles of construction, modulation, data and signals processing of system of the digital television of DVB-T. The considered the current state and prospects of implementation of the standard of digital television of DVB-T in Uzbekistan. And also, the considered of issues of activity life safety.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЩИЙ ОБЗОР ЦВЕТНОГО И ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ...	8
1.1. Система цветного телевидения NTSC .....	8
1.2. Система цветного телевидения PAL .....	12
1.3. Система цветного телевидения SECAM .....	15
1.4. Системы цифрового телевидения DVB, ATSC и ISDB .....	20
1.5. Развитие стандарта DVB-T .....	24
2. СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T .....	26
2.1. Структурная схема кодера и декодера системы DVB-T .....	26
2.2. Принципы построения системы DVB-T .....	28
2.3. Обработка данных и сигналов в системе DVB-T .....	36
2.4. Модуляция в системе цифрового телевидения DVB-T .....	42
3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T В УЗБЕКИСТАНЕ .....	53
3.1. Переход Узбекистана на цифровое телевидение .....	53
3.2. Основные тенденции развития цифрового телевидения в Узбекистане .....	55
3.3. Оборудование, используемые в стандарте DVB-T .....	58
3.4. Цифровые телевизионные каналы передач в Узбекистане .....	62
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	66
4.1. Меры безопасности при установке и обслуживании установок и сооружений.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	74
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Телевидением называется область современной радиоэлектроники, которая занимается передачей и приемом неподвижных и подвижных изображений электрическими средствами связи в реальном и измененном масштабе времени [7].

Основная задача телевидения – получение на приемном телевизионном устройстве изображения, максимально соответствующего объекту передачи.

В основе телевидения лежат три физических процесса:

- преобразование световой энергии в электрические сигналы;
- передача и прием электрических сигналов;
- преобразование электрических сигналов в оптическое изображение;

Телевидение базируется на двух основных принципах:

- разбиение изображения передаваемого объекта на отдельные элементарные площадки;
- поочередная передача яркости этих элементарных площадок.

Современная телевизионная система (ТВС) по функциональному назначению отдельных ее звеньев и сложности взаимодействия является типичной радиотехнической системой, содержащей радиопередающие, радиоприемные и импульсные устройства. Наряду с устройствами преобразования изображения в электрический сигнал ТВС содержит устройства цифровой и аналоговой обработки сигналов изображения, включая нелинейные и сложные временные преобразователи, устройства сокращения избыточности, кодирования и декодирования.

Стандарты аналогового телевизионного вещания начали появляться с момента появления собственно телевидения. Исторически первым стандартом телевизионного вещания, принятым в 1953 году в США, оказался NTSC. Однако в части европейских стран получил распространение другой стандарт – PAL разработанный позднее в ФРГ в 1961 году, в котором были учтены

некоторые недостатки NTSC. Однако же из экономических и финансовых соображений во Франции, а позднее в России на вооружение был принят другой стандарт – SECAM.

С развитием информационных технологий начали делаться попытки по созданию цифрового стандарта телевидения. Достоинством самой идеи цифрового телевидения является качество изображения и звука, которое может быть задано самим контент-провайдером. Также немаловажным является возможность существенного увеличения количества каналов при использовании той же самой полосы частот, как и при аналоговом способе вещания. Как и в случае аналоговых стандартов, исходя из геополитических и экономических предпосылок, на свет появился ряд стандартов цифрового телевидения – ATSC в США, ISDB в Японии и DVB в Европе. В основе всех данных стандартов лежит MPEG2 – формат представления мультимедийных данных [12].

В первой главе данной выпускной квалификационной работы исследованы общий обзор стандартов цветного и цифрового телевидения.

Во второй главе описаны структура и принципы построения, рассмотрены обработка данных, сигналов и модуляция в системе DVB-T.

В третьей главе приведены современное состояние и основные тенденции развития цифрового телевидения стандарта DVB-T в Узбекистане.

В четвертой главе рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

# 1. ОБЩИЙ ОБЗОР ЦВЕТНОГО И ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

## 1.1. Система цветного телевидения NTSC

Система NTSC (National Television Standards Committee) применяется в США, Канаде, Кубе, Мексике, Никарагуа, Перу, Филиппинах, Южной Корее, Японии. Система построена на базе радиоканала международного стандарта М, принятого в указанных странах, и совместима с ним. Характеристики стандарта М: диапазоны волн - МВ и ДМВ; ширина полосы частот радиоканала – 6 МГц; разнос частот между несущими изображения и звука – 4,5 МГц; вид модуляции несущей изображения – амплитудная (негативная полярность ПТС) с частично подавленной нижней боковой полосой; ширина полосы частот канала яркости – 4,2 МГц; вид модуляции несущей звука – частотная; полоса частот звукового канала – 500 кГц; число строк – 525; частота кадров – 30 Гц.

В системе NTSC, как и во всех цветных вещательных ТВС используется кодирование информации о цвете в виде двух цветоразностных сигналов (красного и синего), передаваемых в ограниченной полосе частот внутри спектра сигнала яркости [11].

Отличительные особенности построения системы NTSC:

1. Для передачи информации о цвете используются не цветоразностные сигналы  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$ , а их линейные комбинации – сигналы  $E_I$  и  $E_Q$ , которые модулируют одну цветовую поднесущую.

2. Для одновременной и независимой передачи двух цветоразностных сигналов на одной цветовой поднесущей используется метод квадратурной модуляции.

3. Для ослабления воздействия помех на экраны черно-белых телевизоров квадратурная модуляция производится при помощи балансных модуляторов с подавлением цветовой поднесущей.

4. Для выделения двух сигналов цветности на приемном конце в блоке цветности используются синхронные детекторы.

5. Для обеспечения работы синхронных детекторов в ПТС замешивается сигнал цветовой синхронизации, представляющий собой пакет из нескольких периодов колебаний цветовой поднесущей, передаваемый на задней площадке строчных гасящих импульсов.

Рассмотрение вопроса о необходимости использования в системе NTSC цветоразностных сигналов  $E_j$  и  $E_q$ , а не  $E_{r-y}$  и  $E_{b-y}$ , требует предварительного знакомства с принципами их кодирования (передачи) и декодирования (приема).

Метод квадратурной модуляции является методом амплитудно-фазовой модуляции и позволяет на одной поднесущей частоте передавать два сигнала информации [14]. Сущность *метода квадратурной модуляции* состоит в том, что два передаваемых сигнала модулируют по амплитуде одну поднесущую частоту соответственно в двух амплитудных балансных модуляторах (АБМ), на которые колебания поднесущей подводятся со сдвигом фазы  $90^\circ$ , т.е. в квадратуре (рис.1.1.). Полученные амплитудно-модулированные сигналы складываются в сумматоре, на выходе которого получается сигнал, промодулированный по амплитуде и по фазе.

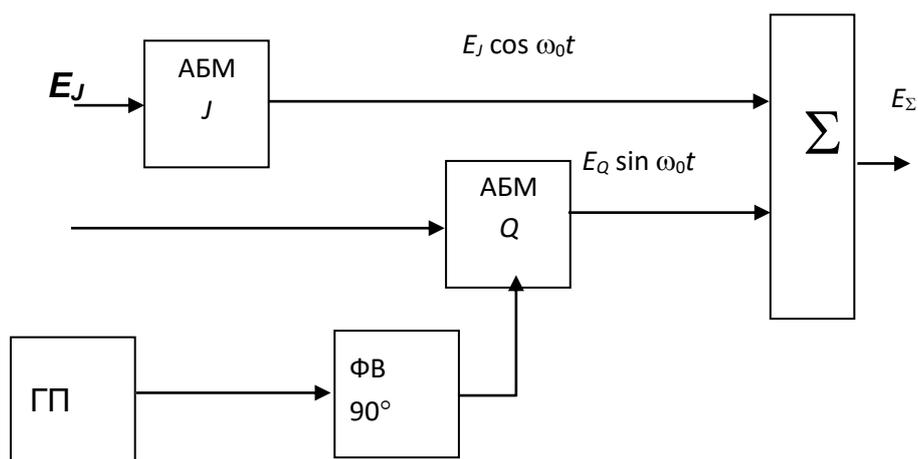


Рис.1.1. Структурная схема квадратурного модулятора:

АБМ – амплитудный балансный модулятор; ГП – генератор поднесущей;

Σ - сумматор; ФВ – фазовращатель.

Представленные в векторной форме сигналы  $E_j$  и  $E_q$  на выходе АБМ сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ . В результате их сложения в сумматоре  $\Sigma$  на выходе появляется результирующий сигнал цветности  $E_\Sigma$  (рис.1.2.).

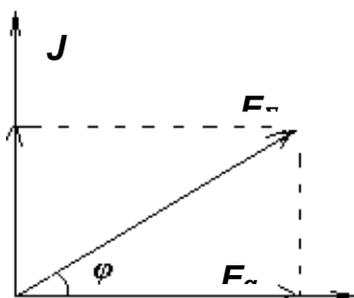


Рис.1.2. Результирующий вектор системы NTSC.

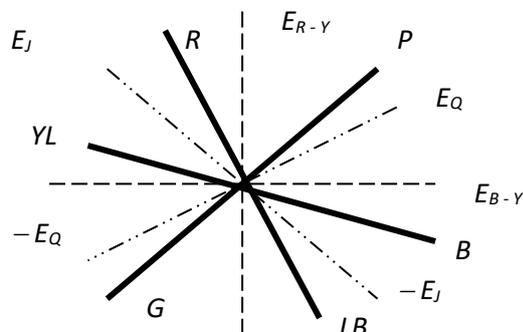


Рис.1.3. Цветовая плоскость системы NTSC:

Амплитуда вектора  $E_\Sigma$  отображает насыщенность цвета, а его фазовый угол – цветовой тон, то есть соотношение между цветовыми компонентами. полная цветовая плоскость кодирования системы NTSC показана на рис.1.3. сигналы  $E_j$  и  $E_q$  в зависимости от характера передаваемого изображения могут иметь положительную и отрицательную полярности, а результирующий вектор  $E_\Sigma$  может находиться в любом квадранте системы координат, образованной ими. На рис.1.3. показано положение основных цветов R, G, B и дополнительных к ним LB, P, YL соответственно в осях  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$ .

Изменение длины результирующего вектора в зависимости от насыщенности и его положения в зависимости от передаваемого тона, наложенные на цветовую поднесущую, – это и есть амплитудно-фазовая модуляция одной поднесущей двумя цветоразностными сигналами. Поднесущая замешивается в сигнал яркости и передается в составе ПТС.

В качестве амплитудных модуляторов используются балансные модуляторы. Спектр выходных колебаний балансного модулятора не содержит составляющей на частоте поднесущей. Это позволяет снизить влияние на изображение помех в виде мелкоструктурной сетки, вызванных наличием поднесущей частоты. При передаче белого цвета и всех градаций серого

результатирующий цветовой сигнал равен нулю, цветовая поднесущая отсутствует полностью [11].

Достоинства и недостатки стандарта NTSC по сравнению с другими представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Достоинства и недостатки NTSC.

Преимущества	Недостатки
<p>Более высокая (по сравнению с PAL и SECAM) частота кадров — использование частоты кадров 30 Гц (в действительности 29,97 Гц) приводит к уменьшению заметности мерцания изображения.</p> <p>Высокая точность редактирования цвета — возможно редактировать любые 4 поля без оказания влияния на цвет.</p> <p>Менее заметные шумы на изображении, достижение лучшего соотношения сигнал/шум, чем в PAL/625.</p>	<p>Меньшее число строк развертки – сниженная вертикальная четкость, более заметна строчная структура на экранах с большой диагональю.</p> <p>Более выраженные муар, точечная интерференция и перекрестные искажения - это происходит из-за большей вероятности взаимодействия с монохромным сигналом изображения на более низкой частоте поднесущей.</p> <p>Изменение оттенка - вариации фазы цветовой поднесущей вызывают сдвиги в отображении цветов, заставляя оснащать приемники регулировкой оттенка (Tint). Многие NTSC-телевизоры имеют цепи автоматической регулировки оттенка. Но уменьшая его флуктуации, они приводят все цвета, слагающие телесный цвет, к некому стандартному значению. При этом некоторая часть цветового диапазона не может быть правильно отображена. Топовые модели, как правило, имеют возможность отключения этих цепей, более дешевые - нет.</p> <p>Более низкая по отношению к PAL контрастность - значение гамма-коррекции составляет 2,2, в то время как в PAL/625 оно равно 2,8.</p>

## 1.2. Система цветного телевидения PAL

Система PAL (Phase Alternation Line — строка с переменной фазой), разработанная в ФРГ, в своей основе содержит все идеи американской NTSC. Особенность PAL заключается в оригинальном способе устранения фазовых искажений, присущих системе NTSC.

Система построена на базе радиоканала международного стандарта В/С, принятого в указанных странах, и совместима с ним. Характеристики радиоканала стандарта В/С: диапазоны волн — МВ и ДМВ; ширина полосы частот радиоканала соответственно — 7 МГц; разнос частот между несущими изображения и звука — 5,5 МГц; вид модуляции несущей изображения — амплитудная с частично подавленной нижней боковой полосой (полярность ПТС негативная); ширина спектра видеосигнала — 5,2 МГц; вид модуляции несущей звука — частотная; ширина спектра звукового канала — 500 кГц; число строк — 625; частота кадров — 25 Гц.

В системе PAL фаза поднесущей одного цветоразностного сигнала от строки к строке меняется на 180 градусов. Кроме того, в приемнике используется линия задержки на время одной строки (64 мкс). Т.е. имеются два сигнала цветности с относительной задержкой на одну строку. Изменение фазы от строки к строке на 180° приводит к тому, что фазовые ошибки, одинаковые по величине, имеют разные знаки. Сложение напряжения на входе линии задержки с перевернутым напряжением на ее выходе устраняет ошибку (сбой) фазы.

При очевидных достоинствах главным недостатком системы PAL является существенное усложнение ТВ-приемника за счет введения в его схему дополнительных узлов для задержки сигнала цветности на время одной строки и периодического изменения фазы цветоразностного сигнала. Следует также отметить, что искажения типа «дифференциальное усиление» в PAL не компенсируются [5].

Система представляет собой усовершенствованную систему NTSC с квадратурной модуляцией поднесущей, в которой устранена чувствительность к фазовым искажениям. Основное отличие системы заключается в том, что фаза поднесущей одного цветоразностного сигнала меняется от строки к строке на  $180^\circ$ . Это относится к составляющей поднесущей, которая модулирована цветоразностным сигналом  $E_{R-Y}$ . Составляющая поднесущей, которая модулирована цветоразностным сигналом  $E_{B-Y}$ , имеет постоянную фазу. Благодаря этому фазовые искажения, свойственные системе NTSC, не влияют на цветовой тон изображения, а лишь приводят к уменьшению насыщенности.

В приемнике осуществляется запоминание сигналов цветности каждой строки с помощью линии задержки на время передачи одной строки, а затем оба сигнала цветности складываются. При сложении двух напряжений сигналов цветности фазовые искажения устраняются. Для этой цели в кодирующем устройстве передатчика предусмотрен фазоинвертор [9].

Так как в Европе распространен стандарт черно-белого телевидения, имеющий ширину полосы частот видеосигнала 5,2 МГц, использовать сигналы  $E_I$  и  $E_Q$  нет необходимости. Однако разработчики ввели сигналы цветности  $V$  и  $U$ , которые являются линейной комбинацией сигналов  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$ . При формировании различных цветов экстремальные значения  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$  различны, что приводит к различной энергетике передаваемых полос соответствующих сигналов после модуляции. Для выравнивания динамического диапазона необходимо ввести коэффициенты компрессии цветоразностных сигналов. С учетом коэффициентов компрессии получены сигналы  $V = 0,877E_{R-Y}$  и  $U = 0,493E_{B-Y}$ . Оба сигнала передаются в одинаковой полосе частот  $0 - 1,3$  МГц.

Спектр полного цветного телевизионного сигнала системы PAL показан на рис.1.4.

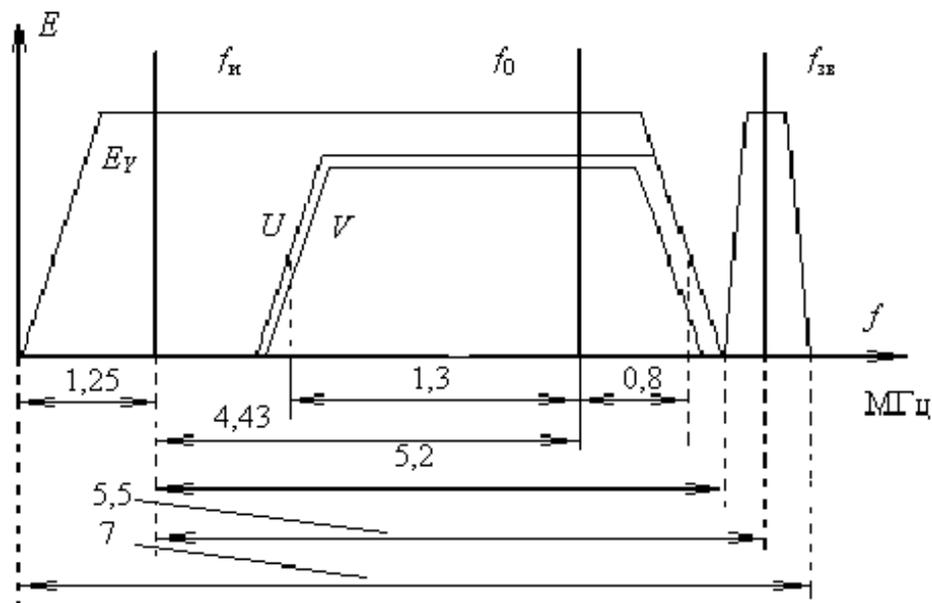


Рис.1.4. Спектр полного цветного телевизионного сигнала системы PAL.

Частота поднесущей  $f_0 \approx 4,433$  МГц. Это изменение вызвано тем, что в случае выбора частоты поднесущей из условия  $f_0 = \frac{1}{2} (2n+1) f_{стр}$ , наличие изменения фазы цветовой поднесущей красного на  $180^\circ$  от строки к строке приведет к совпадению по частоте его спектральных составляющих и спектральных составляющих сигнала яркости. Основная частота разложения сигнала цветности красного будет равна  $2f_{стр}$ , что с учетом полустрочного офсета  $f_{стр}/2$  будет приводить к появлению гармоник, кратных  $f_{стр}$ .

Экспериментально установлено, что наименьшие помехи на черно-белом телевизионном приемнике для системы PAL будут в том случае, когда поднесущая выбирается из условия четвертьстрочного офсета:

$$f_0 = (n \pm \frac{1}{4}) f_{стр} + f_k, \quad (1.1)$$

где  $n = 567$ , а  $f_0 = 4,433\ 618\ 75$  Гц.

Необходимо заметить, что в этом случае помеха от поднесущей будет усредняться не за два кадра, как в системе NTSC, а за четыре (сказывается четвертьстрочный офсет).

Следует также отметить, что при частоте поднесущей  $f_0 \approx 4,433$  МГц и ширине спектра видеосигнала 5,2 МГц верхняя полоса частот цветоразностных сигналов будет ограничиваться до уровня 0,8 МГц (отражено на рис. 1.4). В системе NTSC это привело бы к значительным фазовым искажениям цветов. В системе PAL это приводит лишь к некоторому уменьшению их насыщенности [5].

Достоинства и недостатки стандарта PAL по сравнению с другими представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Достоинства и недостатки PAL.

Преимущества	Недостатки
<p>Более детальная картинка - большее число строк развертки, а также более широкая полоса сигнала яркости.</p> <p>Устойчивость оттенков - благодаря инверсии фазы поднесущей на каждой последующей строке, любое фазовое искажение будет подавлено.</p> <p>Более высокий уровень контраста - значение гамма-коррекции 2,8 против 2,2 в NTSC/525.</p>	<p>Более заметное мерцание по сравнению с NTSC - более низкая частота кадров (25 кадров/сек.)</p> <p>Более заметны шумы - требование более высокой частоты поднесущей приводит к ухудшению отношения сигнал/шум в PAL/625 по сравнению с NTSC/525.</p> <p>Потеря точности редактирования цвета - из-за чередования фазы цветового сигнала редактирование может быть осуществлено с точностью <math>\pm 4</math> кадра (8 полей).</p> <p>Снижение цветовой насыщенности при неизменном оттенке - точность цветов достигается посредством потери информации о разности фаз сигналов оттенка и насыщенности.</p>

### 1.3. Система цветного телевидения SECAM

Система SECAM (SEquential Couleur Avec Memoire) применяется во Франции, странах СНГ, Болгарии, Польше, Китае, Африке. Система построена на базе радиоканала международного стандарта D/K, принятого в указанных странах, и совместима с ним. Характеристики радиоканала стандарта D/K: диапазоны волн – МВ и ДМВ; ширина полосы частот радиоканала – 8 МГц; ширина спектра видеосигнала – 6,2 МГц; вид модуляции несущей изображения – амплитудная с частично подавленной нижней боковой полосой (полярность ПТС негативная); разнос частот между несущими изображения и звука – 6,5 МГц; вид модуляции несущей звука – частотная; ширина полосы частот звукового канала – 500 кГц; число строк – 625; частота кадров – 25 Гц.

Во Франции используется радиоканал международного стандарта L, в котором модуляция сигнала изображения – позитивная, а модуляция несущей звука – амплитудная.

Главная особенность системы SECAM в том, что эта система *смешанная*. Это означает, что в каждой строке передается сигнал яркости и только один сигнал цветности на поднесущей. Другой сигнал цветности передается в следующей строке. В приемнике сигнал цветности используется в течение двух строк (используется линия задержки на длительность одной строки). Например, в строке  $Z$  передается сигнал красный; в приемнике в это время действуют два сигнала: красный строки  $Z$  и синий, переданный во время развертки предыдущей строки  $Z - 1$ . В строке  $Z + 1$  передается сигнал синий, а в приемнике в это время действуют два сигнала, синий строки  $Z + 1$  и красный, переданный во время развертки строки  $Z$ . Наличие в приемнике одновременно двух цветных сигналов необходимо для получения третьего цветоразностного сигнала – зеленого. Этот принцип основан на законе Анри де Франса, заключающемся в том, что содержание двух соседних строк довольно близко. Кроме того, из свойств глаза известно, что самая мелкая цветная деталь в четыре раза больше самой мелкой яркостной детали. Это позволяет передавать

информацию о цвете за четыре строки: две в одном поле и две в другом, что и реализовано в системе SECAM [14].

Второй особенностью системы SECAM является то, что для передачи сигналов цветности в ней использована частотная модуляция. Частотная модуляция применена с целью устранения искажений цветового тона, вызванных нелинейностью частотных, фазовых и амплитудных характеристик телевизионных устройств. Она позволила уменьшить чувствительность системы к помехам и шумам, снизила требования к нелинейности динамических характеристик и обеспечила стабильность передачи на большие расстояния. Эти преимущества объясняются постоянством уровня сигнала цветовой поднесущей в каналах передачи, возможностью амплитудного ограничения перед демодуляцией, а также возможностью проведения частотной коррекции с помощью предусаждений, благоприятно влияющих на отношение сигнал/шум [5].

Обобщенная структурная схема передатчика системы SECAM представлена на рис.1.5.

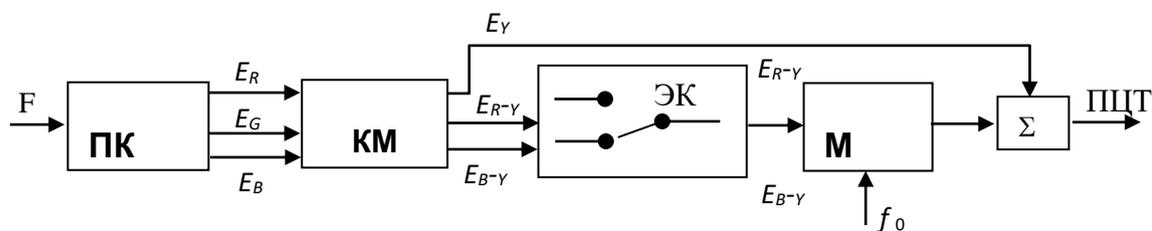


Рис.1.5. Обобщенная структурная схема передатчика системы SECAM:

ПК – передающая камера; KM – кодирующая матрица; ЭК – электронный коммутатор; M –

Световой поток от изображения поступает на передающую камеру, в которой он преобразуется в три цветоделенных сигнала  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ . Эти сигналы поступают на кодирующую матрицу, где формируется сигнал яркости  $E_Y$  и два цветоразностных  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$ . С помощью электронного коммутатора, переключающегося после каждой строки, формируется последовательность чередующихся цветоразностных сигналов, которые поступают на частотный

модулятор поднесущей частоты, т.е. в течение одной строки на модулятор поступает сигнал  $E_{R-Y}$ , а в течение другой строки сигнала –  $E_{B-Y}$ . Эти сигналы поочередно управляют частотой поднесущих колебаний. Частотно-модулированный сигнал цветности смешивается в сумматоре с сигналом яркости  $E_Y$  и образует совместно с сигналами синхронизации полный цветной телевизионный сигнал. В приемнике необходимо из принятого сигнала сформировать сигнал яркости и три цветоразностных сигнала. Обобщенная структурная схема приемника системы SECAM представлена на рис.1.6.

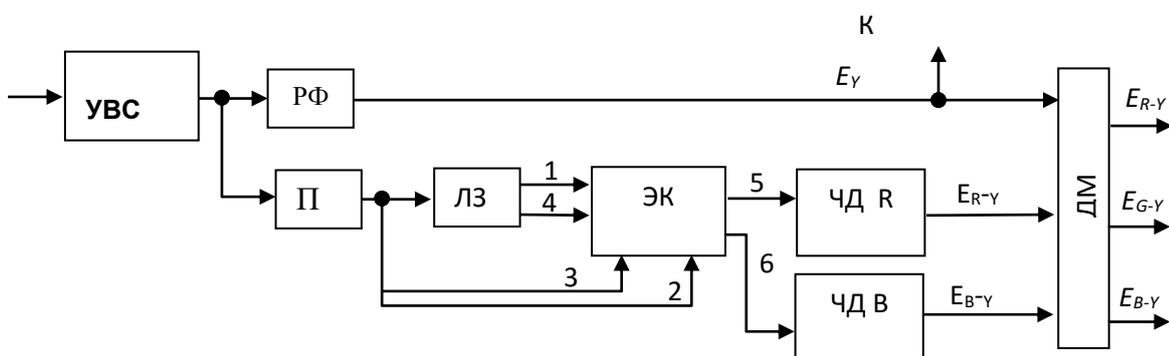


Рис.1.6. Обобщенная структурная схема приемника системы SECAM:

РФ – режекторный фильтр; ПФ – полосовой фильтр; ЧД – частотный детектор; ВУС –

Принятый приемником полный цветной телевизионный сигнал содержит всю информацию о передаваемом объекте. Режекторный фильтр выделяет яркостный сигнал и посылает его на декодирующую матрицу и катод кинескопа. Полосовой фильтр выделяет из спектра полного сигнала ту область частот, где расположены сигналы цветности. Этот неразделенный сигнал цветности поступает на линию задержки и электронный коммутатор (ЭК).

ЭК имеет четыре входа и два выхода. Сигналы со входа ЛЗ подаются на 2-й и 3-й концы ЭК, а с выхода ЛЗ на 1-й и 4-й концы ЭК.

Если с ПФ поступает сигнал синего цвета, то ЭК подключает концы 1 и 3 к 5-му и 6-му выходным концам соответственно. Сигнал синего цвета поступает со входа 3-го конца на выходной зажим 6 и далее на детектор В. Сигнал красного цвета, который передавался в течение предыдущей строки, к

этому моменту дошел до выхода ЛЗ и через соединившиеся контакты 1–5 ЭК поступает на детектор R. В течение передачи следующей строки переключатель ЭК замыкает контакты 2–5 и 4–6. Сигнал красного поступает непосредственно со входа ЛЗ через ЭК на детектор R, а сигнал синего, передававшийся во время предыдущей строки, берется с выхода ЛЗ и через контакты 4–6 подается на детектор B. С выходов детекторов цветоразностные сигналы красного и синего с дополнением яркостного сигнала формируют в ДМ третий цвет – зеленый.

ЭК приемника должен работать строго синхронно и синфазно с ЭК передатчика. Для этого применяются специальные сигналы цветовой синхронизации и схема для их обработки [5].

Достоинства и недостатки стандарта SECAM по сравнению с другими представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Достоинства и недостатки SECAM.

Преимущества	Недостатки
<p>Устойчивость оттенка и постоянство насыщенности.</p> <p>Большее вертикальное разрешение - в SECAM используется более высокое число строк развертки, чем в NTSC/525.</p>	<p>Более заметно мерцание по сравнению с NTSC.</p> <p>Невозможно смешивание двух синхронных сигналов цвета SECAM - большинство ТВ-студий в SECAM-странах работают в PAL и переводят передачи в SECAM лишь для вещания. Кроме того, продвинутое домашнее оборудование S-VHS, Hi8 записывает в PAL и только при проигрывании транскодирует в SECAM.</p> <p>Регулярные шумовые структуры на изображении (сеточка и др.) — частотная модуляция приводит к появлению регулярных шумовых структур даже на нецветных объектах.</p> <p>Сниженное качество монохромного сигнала — т.к. одна из цветовых поднесущих имеет частоту 4,25 МГц, полоса меньшей ширины может быть использована для монохромного сигнала.</p> <p>Несовместимость между различными версиями SECAM - некоторые из вариантов SECAM (эфир и видео) несовместимы друг с другом. Например, между оригинальной французской версией SECAM и так называемым Middle East SECAM. В описании на видеоманитофон вы найдете упоминание об этом.</p>

## 1.4. Системы цифрового телевидения DVB, ATSC и ISDB

DVB (Digital Video Broadcasting Project, DVB-C, DVB-DSNG, DVB-H, DVB-MC, DVB-MS, DVB-MT, DVB-P, DVB-S, DVB-S2, DVB-SFN, DVB-SMATV, DVB-T, DVB-MHP, DVB-M) - организация, которая разрабатывает технологии для цифрового телевидения. В Европе наиболее широко используются следующие протоколы передачи, разработанные DVB: DVB-C (для кабельных сетей EN 300 429), DVB-S (для спутникового вещания EN 300 421, TR 101 198), DVB-T (для наземного эфирного вещания EN 300 744, TR 101 190).

DVB разрабатывает не только протоколы передачи, но и стандарты для интерактивных приложений, таких как приставки цифрового телевидения (set-top boxes) и т.п. Другие DVB протоколы включают MHP (multimedia home platform, сокращенно DVB-MHP: TS 101 812, TS 102 812, TS 102 819), DVB-M (стандарт измерений сигналов DVB-S/T/C; TR 101 290, TR 101 291), DVB-H ("обновление" стандарта DVB-T, которое позволяет доставлять цифровой поток в мобильные устройства по наземным эфирным сетям, EN 302 304).

Структура системы DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) максимально гармонизирована со структурой спутниковой системы DVB-S, но в качестве типа модуляции в ней используется не QPSK, а M - QAM с числом позиций M от 16 до 256 (т. е. от 16 QAM до 256 QAM) Входными сигналами на головной станции являются транспортные пакеты MPEG-2 и такты, получаемые через интерфейс в основной полосе от: спутниковой линии, технологических линий, локальных программных источников и т. п.

При использовании стандарта DVB-C появляется возможность значительно увеличить зону обслуживания за счет более низкого шумового порога (не более 36 дБ). Появляется возможность эффективного кодирования пакетов программ.

Стандарт DVB-S (Digital Video Broadcast - Satellite), работающий в полосе частот 11-12 ГГц предназначена для доставки служб многопрограммного

телевещания или телевидения высокой четкости в частотных диапазонах фиксированной и радиовещательной служб (10,7-12,75 ГГц) с их непосредственным приемом на домашние интегральные приемники-декодеры, а также на приемники, подключенные к системам с коллективными телевизионными антеннами SMATV (Satellite Master Antenna TV), и систем кабельного телевидения при первичном и вторичном распределениях программ телевидения [2]. В настоящее время практическое все цифровое спутниковое телевидение на все пять континентов осуществляется по стандарту DVB-S.

Число программ телевидения, которое можно передавать с помощью одного спутникового транспондера, зависит от требуемой скорости передачи информации, компонентного или композитного формата кодирования для источника сигнала, качества и разрешающей способности исходного изображения, критичности алгоритма сжатия к некоторым видам изображений и требуемого качества восстановленного изображения [4].

Стандарт DVB-H (мобильное вещание) - стандарт для портативных медиаустройств, который базируется на более раннем вышедшем стандарте DVB-T (цифровое эфирное вещание) в части расширения некоторых устанавливаемых параметров, ориентированных на условия приема цифровых сигналов в мобильных условиях. Основными задачами стандарта являются:

- экономия тока потребления аккумуляторной батареи мобильного терминала. Эта задача явилась определяющей при формировании концепции мобильного вещания;
- устойчивый мобильный прием в движении, в том числе на больших скоростях;
- возможность приема при многолучевом распространении сигнала, особенно в комнатных условиях;
- полная совместимость с уже существующими сетями DVB-T.

Главные отличия DVB-H от DVB-T заложены в канальном уровне. Прежде всего, это квантование по времени и введение упреждающей коррекции ошибок.

Успехам семейства систем DVB способствует широкая стандартизация всех subsystems и технологий, которые могут найти применение не только сегодня, но и в отдаленной перспективе с учетом прогресса других телекоммуникационных систем и изменения структуры и конъюнктуры рынка.

ATSC (The Advanced Television Systems Committee, ATSC Standard A/53C with Amendment No. 1 and Corrigendum No. 1) - организация, разрабатывающая и утверждающая стандарты для передовых телевизионных систем, в том числе и HDTV. Наиболее широко стандарты ATSC распространены в США и Канаде [6].

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting, ISDB-T) - стандарт цифрового телевидения, разработанный в Японии. Он интегрирует в себя различные виды цифрового контента. Это может быть HDTV, STDV, звук, графика, текст и т.д.

Наиболее подходящей формой мультимедийного контента, с одной стороны, является формат MPEG-2, поскольку является де факто стандартом передачи цифрового телевидения (DVB, ATSC, ISDB) и радиовещания (DAB), и, кроме того, для его распространения по цифровым сетям нет необходимости в создании каких либо программных или аппаратных средств по кодированию мультимедийных данных в цифровое представление, либо необходимо только оборудование дешифрации зашифрованных каналов. С другой стороны, формат MPEG2 для передачи телевизионных передач является достаточно каналоемким - вещание одного канала требует от 4 до 10 мегабит/с пропускной способности канала, что ограничивает применение MPEG-2 в IP сетях. В случае вещания радиопрограмм с требованиями к каналу 128-192 кбит/с подходит и MPEG-2, и MPEG-1 (Layer 3). Таким образом, к достоинствам представления мультимедийного контента в виде MPEG-2 можно отнести:

- простоту и низкую стоимость оборудования получения мультимедийного контента;
- наличие источников мультимедийного контента, использующих формат MPEG-2 для распространения контента от студии до зрителей;

- высокое качество (студийное) видеоизображения и звука.

Недостатки:

- высокая каналоёмкость (4-10 мегабит/с).

Устранение недостатка MPEG-2 может быть достигнуто за счет транскодирования (декодирования исходного формата и затем последующего кодирования в другой формат) в другой формат представления. В частности может быть использован или другой профиль MPEG-2 (для уменьшения каналоёмкости при снижении качества исходного видеоизображения), или использован более перспективный формат MPEG-4, позволяющий при том же качестве изображения и звука получать менее каналоёмкие цифровые потоки. Учитывая допустимый уровень искажения изображения при просмотре мультимедийного контента абонентами (просмотр телевизионных каналов параллельно основной работе, в небольшом окне, редкие включения полноэкранного режима) возможно получить цифровые потоки менее 1 мегабита на канал или на абонента в зависимости от применяемой технологии. С другой стороны существенно изменяются требования к аппаратной или программно-аппаратной части в плане необходимости организации декодирования исходного MPEG-2 потока и кодирования его с заданными параметрами в MPEG-4 в реальном масштабе времени.

В качестве модификации представленной схемы может выступать схема кодирования в MPEG4 не цифрового потока, а аналогового сигнала получаемого или от внешних источников (спутниковые ресиверы, видеомагнитофоны и прочие), так и из внутренних источников (тюнеры, микросхемы декодирования NTSC/PAL/SECAM сигнала). В данном случае исключаются схемы декодирования MPEG-2, либо подсистема декодирования выделяется от сервера мультимедийного вещания в отдельные устройства, но это «компенсируется» необходимостью получения и декодирования аналогового сигнала, причем происходит существенное ухудшение качества исходного видеоизображения и звука, однако же доступность оборудования и его сравнительно низкая стоимость делает данный вариант наиболее

перспективным [5].

Таким образом, достоинством MPEG4 является низкая каналоемкость (менее 1 мегабита), а недостатком – высокие требования к программно-аппаратной части (дорогое оборудование, сложный комплекс программного обеспечения).

### 1.5. Развитие стандарта DVB-T

DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) - относительно молодой стандарт цифрового телевидения. Ключевым вопросом при разработке стандарта DVB-T является выбор типа модуляции - одночастотная или многочастотная. К моменту разработки стандарта американцы уже выбрали свой стандарт ATSC с одночастотной схемой модуляции 8-VSB (*однополосная амплитудно-импульсная модуляция*). Система 8-VSB ATSC была разработана специально таким образом, чтобы к каждому существующему в США передатчику аналоговой системы NTSC (система вещания США в аналоговом формате) можно было подключить дополнительный цифровой передатчик с обеспечением сопоставимых зон охвата вещанием при фиксированном или, возможно, переносном приеме [15].

Япония остановилась на стандарте ISDB-OFDM (частотное распределение ортогональных несущих в сегментах спектра). Система ISDB-T близка к системе DVB-T, но обладает несколько расширенными возможностями передачи служб мультимедиа и по использованию радиоспектра в виде нескольких сегментированных полос частот, для каждой из которых могут быть установлены свои типы модуляции и корректирующего кодирования.

Система DVB-T была разработана с заложенным свойством существенной гибкости, обеспечиваемой за счет опций выбора широкого набора параметров, с целью адаптации ко всем каналам в режимах работы, включая фиксированный, мобильный и переносной приемы, а также построение одночастотных сетей. Среди всех существующих систем цифрового наземного ТВ вещания, система DVB-T развивается наиболее динамично. Система DVB-T завоевывает все больше сторонников, поскольку обеспечивает высокое качество среди всех возможных применений. Успехам семейства систем DVB-T, DVB-S, DVB-C способствует широкая стандартизация всех subsystems и технологий, которые могут найти применение не только сегодня, но и в отдаленной перспективе с учетом прогресса других телекоммуникационных систем и изменения структуры и конъюнктуры рынка.

Системы DVB-T, ATSC и ISDB-T в основном различаются уровнем подсистемы адаптации к каналу вещания, в частности, применяемыми в них методами и параметрами цикловой синхронизации, корректирующего кодирования и модуляции, а также алгоритмами кодирования звукового сигнала. Полосы же и диапазоны частот радиоканала в базовых вариантах систем совпадают с принятыми для аналогового вещания в странах-разработчиках. Все эти системы используют методы мультиплексирования и формирования транспортных пакетов, соответствующих требованиям стандарта MPEG-2. Небольшие отличия связаны с выбором набора системных команд и обеспечиваемых функций, которые определяются передачей конкретных данных сервисной информации. Однако эти различия не носят принципиального характера, т.к. не препятствуют возможности создания единого декодера для всех видов систем [10].

## 2. СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T

### 2.1. Структурная схема кодера и декодера системы DVB-T

Ключевые слова европейского стандарта EN 300 744 (*Digital Video Broadcasting (DVB), framing structure, channel coding and modulation for terrestrial television*): цифровое, видео, вещание, кадровая структура, канальное кодирование и модуляция, наземное телевидение – действительно содержат ключ к расшифровке области применения стандарта. Документ EN 300 744 описывает систему передачи данных для цифрового наземного телевидения. Передаваемые данные представляют собой информацию об изображении и звуковом сопровождении, а также любые дополнительные сведения. Условие передачи этой информации в системе DVB-T только одно – данные должны быть закодированы в виде пакетов транспортного потока MPEG-2. В этом смысле стандарт описывает контейнер, приспособленный для доставки пакетированных данных в условиях наземного телевидения. Для системы DVB-T ни содержание контейнера, ни происхождение данных не имеют значения, она лишь приспособливает выходные данные транспортного мультиплекса MPEG-2 к свойствам и характеристикам канала передачи наземного телевизионного вещания, стремясь наиболее эффективно донести их к приемнику. То есть, стандарт определяет структуру передаваемого потока данных, систему канального кодирования и модуляции для мультипрограммных служб наземного телевидения, работающих в форматах ограниченной, стандартной, повышенной и высокой четкости [6].

Для обеспечения совместимости устройств различных производителей, стандарт определяет параметры цифрового модулированного радиосигнала и описывает преобразования данных и сигналов в кодирующей части системы цифрового наземного телевизионного вещания (рис.2.1,*a*).

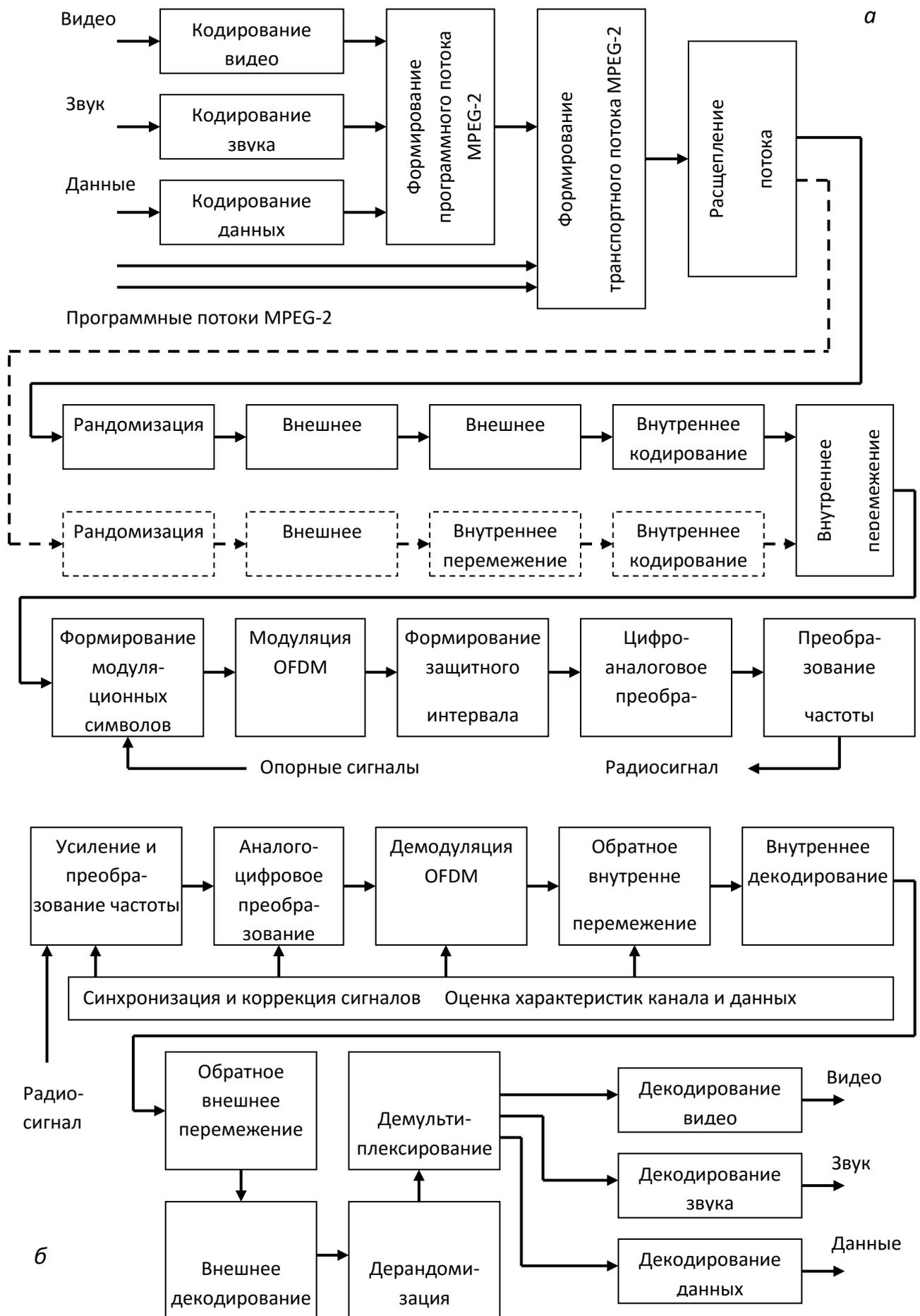


Рис.2.1. Преобразование сигналов и данных в кодере (а) и декодере (б) DVB-T.

Обработка сигналов в декодере не регламентируется стандартом и остается открытой. Это не означает, что создатели стандарта не предвидели принципов построения приемника DVB-T, но отсутствие жесткого стандарта на декодер обостряет конкуренцию между производителями телевизоров и стимулирует усилия по созданию высококачественных и дешевых аппаратов. Примерный вариант схемы декодера приведен на рис.2.1,б.

## 2.2. Принципы построения системы DVB-T

Система DVB-T разрабатывалась для цифрового вещания, но она должна встраиваться в существующее аналоговое окружение, поэтому в системе следует обеспечить защиту от интерференционных помех соседнего и совмещенного каналов, обусловленных действующими передатчиками PAL/SECAM. Поскольку речь идет о наземном вещании, то должна быть обеспечена максимальная эффективность использования частотного диапазона, реализуемая в результате оптимального сочетания одиночных передатчиков, многочастотных и одночастотных сетей. Система DVB-T должна успешно бороться с типичными для наземного телевидения эхо-сигналами и обеспечивать устойчивый прием в условиях многолучевого распространения радиоволн [7]. Является желательным создание условий для приема в движении и на комнатные антенны. Все эти требования были выполнены в DVB-T благодаря применению новой системы модуляции OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex* – частотное уплотнение с ортогональными несущими).

**Частотное уплотнение с ортогональными несущими OFDM.** OFDM отличается передачей сигнала с использованием большого количества несущих колебаний. Несущие являются ортогональными, что делает возможной демодуляцию модулированных колебаний даже в условиях частичного перекрытия полос отдельных несущих. Однако многолучевое распространение

радиосигнала в точку приема (довольно типичное для наземного телевидения) приводит к ослаблению и даже полному подавлению некоторых несущих вследствие интерференции прямого и задержанного сигналов. Решению этой проблемы помогает кодирование с целью обнаружения и исправления ошибок в канале передачи данных.

Применение какой-либо одной системы кодирования не дает желаемого эффекта в условиях наземного телевидения, для которого типично проявление разнообразных шумов, помех и искажений, приводящих к возникновению ошибок с разными статистическими свойствами. В таких условиях необходим более сложный алгоритм исправления ошибок. В системе DVB-T используется сочетание двух видов кодирования – внешнего и внутреннего, рассчитанных на борьбу с ошибками различной структуры, частоты и статистических свойств и обеспечивающих при совместном применении практически безошибочную работу (такой подход типичен и для других сфер, например, для цифровой видеозаписи). Если благодаря работе внутреннего кодирования частота ошибок на выходе внутреннего декодера (рис.2.5,б) не превышает величины  $2 \times 10^{-4}$ , то система внешнего кодирования доводит частоту ошибок на входе демультимплексора MPEG-2 до значения  $10^{-11}$ , что соответствует практически безошибочной работе (ошибка появляется примерно один раз в течение часа).

Кодирование обязательно связано с введением в поток данных некоторой избыточности и соответственно с уменьшением скорости передачи полезных данных, поэтому наращивание мощности кодирования за счет увеличения объема проверочных данных не всегда соответствует требованиям практики. Для увеличения эффективности кодирования, без снижения скорости кода, применяется перемежение данных. Кодирование позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, а перемежение увеличивает эффективность кодирования, поскольку пакеты ошибок дробятся на мелкие фрагменты, с которыми справляется система кодирования [12].

Кодирование превращает OFDM в COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*). Почему же COFDM более эффективна в условиях

многолучевого приема, чем системы передачи с одной несущей? Если по каналу связи с резко выраженной неравномерностью частотной характеристики передается одна модулированная несущая, то ослабление отдельных частотных составляющих можно компенсировать с помощью частотного корректора (хотя и за счет уменьшения отношения сигнал/шум), но если какая-нибудь составляющая подавлена полностью, то корректирующий фильтр помочь не может в принципе и сигнал претерпевает необратимые искажения. Однако если данные передаются с помощью частотного уплотнения, то даже полное исчезновение сигналов отдельных несущих не является катастрофой, поскольку данные, переносимые этими несущими, могут быть восстановлены за счет канального кодирования. Контейнер COFDM отлично приспособлен к условиям передачи данных в наземном телевидении благодаря возможности отдельной обработки сигналов большого числа несущих.

**Защитный интервал.** В системе OFDM данные передаются с использованием некоторого количества несущих колебаний. Если таких несущих много, то поток данных, переносимых одной несущей, характеризуется сравнительно небольшой скоростью, то есть частота модуляции каждой несущей невелика. Однако межсимвольные искажения проявляются и при малой скорости следования модуляционных символов. Для того чтобы избежать межсимвольных искажений, перед каждым символом вводится защитный интервал. Но надо отметить, что защитный интервал – это не просто пауза между полезными символами, достаточная для угасания сигнала символа до начала следующего. В защитном интервале передается фрагмент полезного сигнала, что гарантирует сохранение ортогональности несущих принятого сигнала (но только в том случае, если эхо-сигнал при многолучевом распространении задержан не больше, чем на длительность защитного интервала).

Концепция защитного интервала не является принципиально новой, но использование защитного интервала требуемой величины в цифровом

телевидении возможно лишь при использовании частотного уплотнения с большим числом несущих [7].

**Оценка параметров.** Выбор параметров системы OFDM связан с обеспечением работы в одночастотных сетях телевизионного вещания, а также с возможностью использования заполнителей пробелов и мертвых зон в области охвата вещанием. Однако на начальном этапе развития цифрового телевидения одночастотные сети найдут небольшое применение из-за необходимости сосуществования с аналоговыми передатчиками и ограничений в распределении частотных диапазонов. Кроме того, в некоторых странах вообще не планируется использование одночастотной сети. Следовательно, система вещания должна допускать наиболее эффективное использование частотного диапазона в рамках уже существующих сетки частот и сети передатчиков.

Величина защитного интервала зависит от расстояния между передатчиками в одночастотных сетях вещания или от задержки естественного эхо-сигнала в сетях вещания с традиционным распределением частотных каналов. Чем больше время задержки, тем больше должна быть длительность защитного интервала. С другой стороны, для обеспечения максимальной скорости передаваемого потока данных защитный интервал должен быть как можно короче. Одна четвертая часть от величины полезного интервала является, видимо, разумной оценкой максимального значения длительности защитного интервала. Предварительные исследования показали, что если одночастотные сети будут строиться в основном с использованием существующих передатчиков, то абсолютная величина защитного интервала должна быть около 250 мкс. Это позволяет создавать большие одночастотные сети регионального уровня.

Если защитный интервал в 250 мкс составляет четвертую часть полезного интервала, то длительность самого полезного интервала должна быть установлена на уровне около 1 мс. Величина шага частот несущих связана с шириной основного лепестка спектра одного модулированного несущего

колебания и определяется величиной, обратной длительности полезного интервала, поэтому расстояние между соседними несущими будет равно примерно 1 кГц. При ширине полосы частот канала 8 МГц и шаге 1 кГц число несущих должно быть равно 8000.

Можно задаться вопросом об объеме данных, которые необходимо передавать с помощью одной несущей. Если он окажется слишком велик, то потребуются использовать многопозиционные модулирующие сигналы и помехозащищенность системы будет невелика. Для передачи данных даже в системе ТВЧ достаточно скорости потока данных 20 Мбит/с, в этом случае за 1 мс (время одного символа) должно быть передано 20 кбит, что дает меньше 3 битов на одну несущую за время одного символа. Такая величина может быть реализована с использованием 8-позиционных символов, что дает довольно высокую степень помехозащищенности [15].

При числе несущих в несколько тысяч возникает естественный вопрос о практической реализации системы OFDM. Применение восьми тысяч синтезаторов несущих колебаний и восьми тысяч модуляторов сделало бы такую систему передачи очень громоздкой. Решение приходит благодаря тому, что модуляция OFDM представляет собой обратное преобразование Фурье, демодуляция – прямое. Существование хорошо отработанных быстрых алгоритмов преобразования Фурье и промышленный выпуск интегральных схем процессоров снимает проблему практической реализации. В большинстве быстрых алгоритмов Фурье размер массива, подвергающегося преобразованию, кратен целой степени числа 2. Поэтому можно использовать, например, размер массива  $N=8192=8k$  или  $N=2048=2k$  (здесь  $k=2^{10}=1024$ ). На практике число несущих меньше, часть несущих не используется, поскольку между полосами соседних каналов должен быть оставлен некоторый зазор. В двух предложенных в настоящее время режимах используются 6817 и 1705 несущих, но по размерности массива быстрого преобразования Фурье системы модуляции называются соответственно  $8k$  OFDM и  $2k$  OFDM.

**Иерархическая передача.** Особенность системы DVB-T – возможность иерархической передачи и приема. Данные на выходе мультиплексора транспортного потока расщепляются на два независимых транспортных потока MPEG-2 (рис.2.5,*a*), которым присваиваются разные степени приоритета. Поток с высшим приоритетом кодируется с целью обеспечения высокой помехозащищенности, поток с низшим приоритетом (обозначен на рис.2.5,*a* пунктиром) – с целью обеспечения высокой скорости передаваемых данных. Затем оба кодированных потока объединяются и передаются вместе. Таким образом, появляется возможность передачи по одному каналу двух различных программ или одной телевизионной программы в двух версиях. Первая версия характеризуется высокой помехозащищенностью, но ограниченной четкостью, вторая – высокой четкостью, но ограниченной помехозащищенностью. Это дает новые возможности. На стационарную антенну с помощью приемника высокого класса может быть принята версия с высокой четкостью. Но эта же программа будет принята простым и дешевым приемником в варианте с ограниченной четкостью. Помехозащищенная версия будет также приниматься в тяжелых условиях приема, например, в движении, на комнатную антенну. При меняющихся условиях приема возможно переключение приемника с одной версии на другую.

**Гибкость системы.** Система DVB-T была создана не просто для цифрового наземного телевидения, а для удовлетворения самых разнообразных требований, которые выдвигаются в странах, переходящих к цифровому наземному вещанию. Это вынуждает предусмотреть работу системы в различных режимах, но для сохранения сложности приемников на приемлемом уровне – обеспечить максимальную общность различных режимов.

Для работы одиночных передатчиков и сетей могут использоваться режимы работы с различным количеством несущих. Это обусловлено тем, что одни страны изначально планируют введение больших одночастотных сетей, а другие не предполагают этого делать. Стандарт DVB-T допускает два режима работы:  $2k$  и  $8k$ . Режим  $2k$  подходит для одиночных передатчиков и малых

сетей,  $8k$  соответствует большим сетям, хотя он может использоваться и для отдельных передатчиков [12].

Система DVB-T для достижения гибкости должна допускать обмен между скоростью передачи данных и помехозащищенностью. Введение защитного интервала позволяет эффективно бороться с неблагоприятными последствиями многолучевого приема. Однако платой за большой защитный интервал является уменьшение скорости передачи полезных данных. Для того чтобы сохранить большую скорость передачи данных в ситуациях, где не требуются большие одночастотные сети или не проявляется многолучевое распространение, предусмотрен целый набор возможных значений защитного интервала ( $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  и  $1/32$  от длины полезного интервала). Скорость внутреннего кода, обнаруживающего и исправляющего ошибки, может быть установлена равной одной из величин следующего ряда:  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$ ,  $7/8$ . В системе DVB-T предусмотрена также возможность изменения числа позиций модулирующего сигнала от 4 до 64.

Поскольку распределение частотных каналов осуществляется в разных странах с различным шагом сетки частот (например, 8, 7 или 6 МГц), то переход от одного шага к другому должен осуществляться сравнительно просто. В системе DVB-T он выполняется путем замены системной тактовой частоты при сохранении всей структуры обработки сигналов.

Выбором комбинации параметров, относящихся к способу модуляции и числу несущих колебаний, скорости внутреннего кода и величине защитного интервала, можно создать систему наземного вещания, работающую в самых разных условиях передачи и приема и обеспечивающую заданную область охвата.

Важным фактором является высокая степень общности системы наземного телевизионного вещания DVB-T с другими системами цифрового телевидения: кабельного (DVB-C) и спутникового (DVB-S).

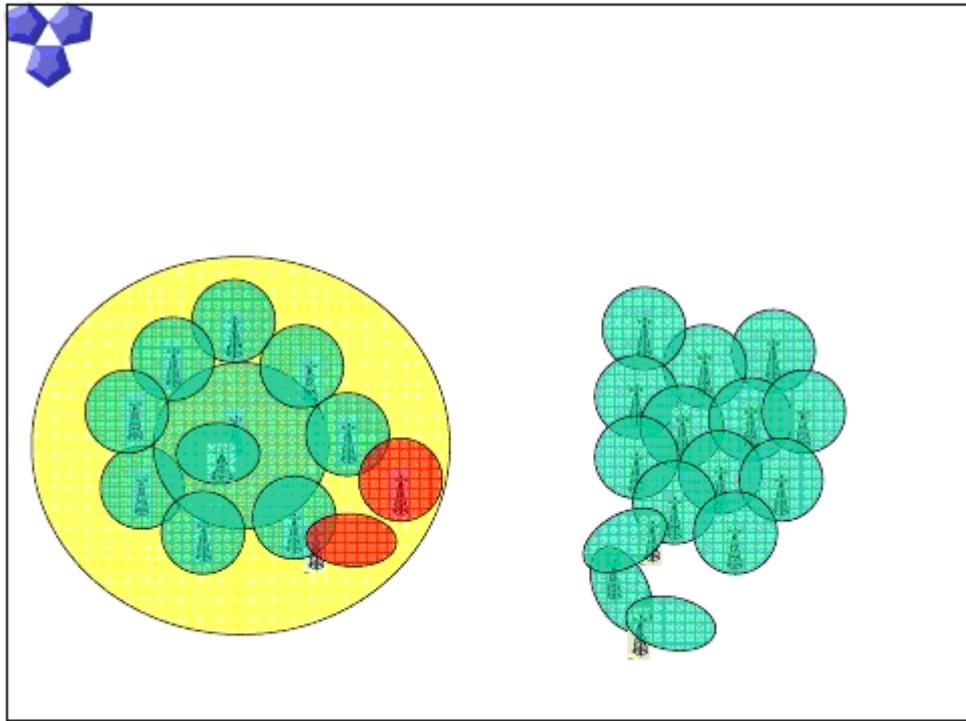


Рис. 2.2. Пример зоны покрытия сети DVB-T.

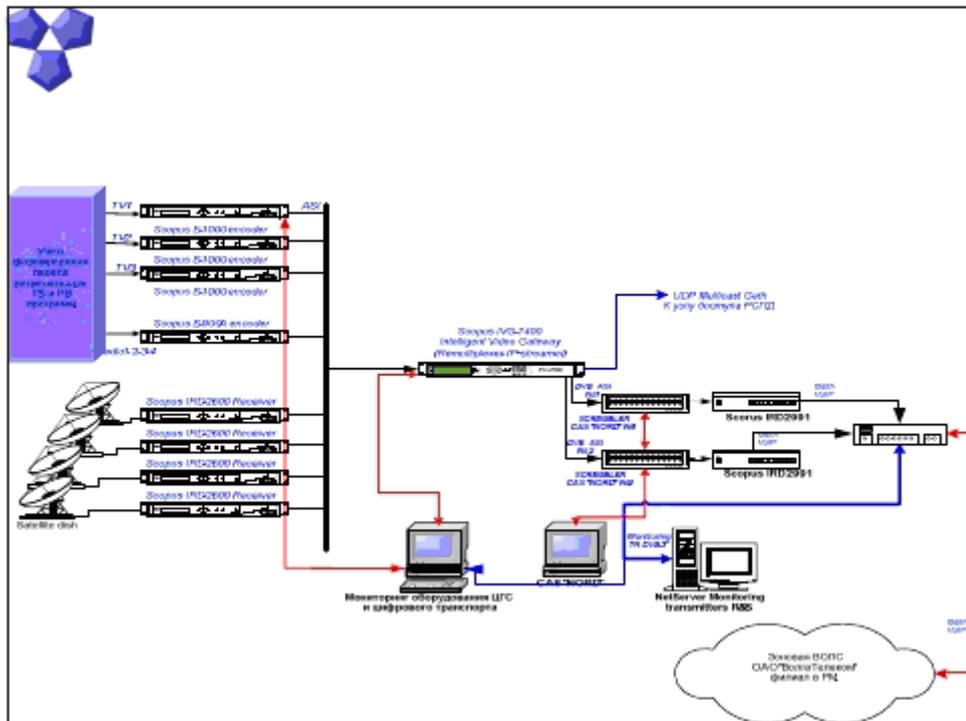


Рис. 2.3. Общая функциональная схема цифровой станции DVB-T.

Пример зоны покрытия сети и общая функциональная схема цифровой станции DVB-T приведены нижеследующих рисунках (рис. 2.2. и 2.3.).

### 2.3. Обработка данных и сигналов в системе DVB-T

**Рандомизация.** Рандомизация данных является первой операцией, выполняемой в системе DVB-T (рис.2.1,*a*). Ее цель – превратить цифровой сигнал в квазислучайный и тем самым решить две важные задачи. Во-первых, это позволяет создать в цифровом сигнале достаточно большое число перепадов уровня и обеспечить возможность выделения из него тактовых импульсов (такое свойство сигнала называется *самосинхронизацией*). Во-вторых, рандомизация приводит к более равномерному энергетическому спектру излучаемого радиосигнала (как известно, спектральная плотность мощности случайного шума постоянна на всех частотах, поэтому превращение сигнала в квазислучайный способствует выравниванию его спектра). Благодаря равномерному спектру повышается эффективность работы передатчика и минимизируется мешающее действие радиосигнала цифрового телевидения по отношению к аналоговому телевизионному сигналу, излучаемому другим передатчиком в том же канале [8].

Рандомизации предшествует операция адаптации цифрового потока, представляющего собой последовательность транспортных пакетов MPEG-2 (рис.2.4.).



Рис.2.4. Адаптация транспортных пакетов MPEG-2.

Пакеты, имеющие общую длину 188 байтов (синхробайт, записываемый как число 47 в шестнадцатеричной форме или 01000111 – в двоичной, и 187 байтов передаваемых данных), объединяются в группы по восемь пакетов.

Синхробайт первого пакета группы инвертируется, образуя число 101110002 = В816. Собственно рандомизация осуществляется путем сложения по модулю 2, то есть посредством логической операции «исключающее ИЛИ» (XOR) цифрового потока данных и двоичной псевдослучайной последовательности PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*).

Генератор последовательности PRBS построен на базе 15-разрядного регистра сдвига, охваченного цепью обратной связи (рис.2.5.).

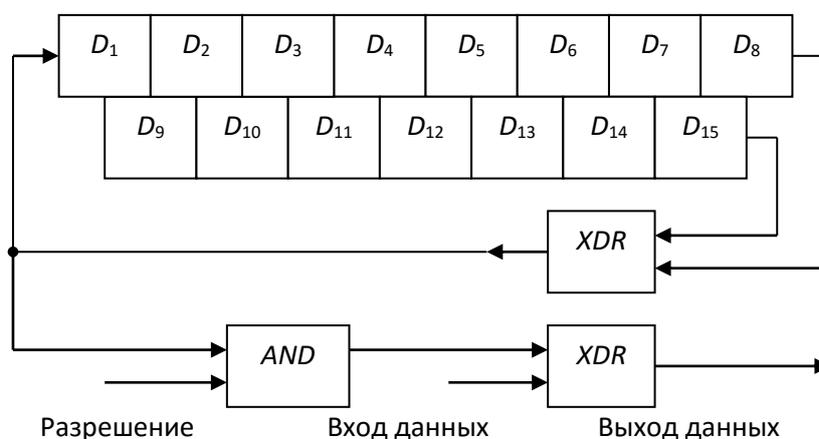


Рис.2.5. Рандомизация данных.

Для того чтобы формируемая последовательность лишь походила на случайную и в приемнике можно было бы восстановить передаваемые данные, в начале каждого восьмого пакета производится инициализация генератора PRBS путем загрузки в него числа 100101010000000. Первый после инициализации бит псевдослучайной последовательности PRBS складывается с первым битом первого байта транспортного потока, следующего за инвертированным байтом синхронизации. Байты синхронизации транспортных пакетов не должны рандомизироваться. Для упрощения работа генератора PRBS не прекращается во время всех восьми пакетов, но в интервале синхробайтов сложение с псевдослучайной последовательностью не производится (для этого используется сигнал разрешения) и синхробайты

остаются нерандомизированными. Таким образом, длительность псевдослучайной последовательности оказывается равной 1503 байтам ( $187+188\times 7=1503$ ).

Восстановление исходных данных на приемной стороне осуществляется с помощью такого же генератора PRBS, который инициализируется в начале каждой группы из восьми пакетов адаптированного транспортного потока (на начало группы указывает инвертированный синхробайт пакета).

**Внешнее кодирование и перемежение.** В системе внешнего кодирования для защиты всех 188 байтов транспортного пакета (включая байт синхронизации) используется код Рида-Соломона. В процессе кодирования к этим 188 байтам добавляется 16 проверочных байтов (рис.2.6.). При декодировании на приемной стороне это позволяет исправлять до восьми ошибочных байтов в пределах каждого кодового слова длиной 204 байта.



*Рис.2.6. Формирование пакетов данных с защитой от ошибок с памятью внешнего кода Рида-Соломона RS (204, 188).*

Внешнее перемежение осуществляется путем изменения порядка следования байтов в пакетах, защищенных от ошибок. В соответствии со схемой, показанной на рисунке 2.6., перемежение выполняется путем последовательного циклического подключения источника и получателя данных к двенадцати ветвям, причем за одно подключение в ветвь направляется и из ветви снимается 1 байт данных. В одиннадцати ветвях включены регистры сдвига, содержащие разное количество ячеек (каждая ячейка хранит байт данных) и создающие увеличивающуюся от ветви к ветви задержку. Входной и

выходной ключи синхронизированы. Интересно, что предложенная схема не нарушает периодичность и порядок следования байтов синхронизации. Первый же синхробайт направляется в ветвь с номером 0, которая не вносит задержки. После семнадцати циклов коммутации ключей через устройство пройдет 204 байта ( $12 \times 17 = 204$ , что совпадает с длиной кодового слова, в которое превращается пакет данных после кодирования Рида-Соломона). Следовательно, следующий байт синхронизации опять пройдет через ветвь с нулевой задержкой [12].

Перемежение является временным перемешиванием байтов данных, в приемнике исходный порядок следования байтов данных восстанавливается. Полезным в перемежении является то, что длинные пакетные ошибки, обусловленные шумами и помехами в канале связи и искажающие последовательно идущие байты данных, в результате обратного перемежения в приемнике разбиваются на небольшие фрагменты и распределяются по разным кодовым словам кода Рида-Соломона. В каждое кодовое слово попадает лишь малая часть пакетной ошибки, с которой легко справляется система обнаружения и исправления ошибок при сравнительно небольшом объеме проверочных данных [13].

Прямое и обратное перемежения могут выполняться с помощью практически одинаковых схем, но только порядок изменения задержки в ветвях схемы обратного перемежения в приемном устройстве должен быть изменен на противоположный (рис.2.7.).

Синхронизация устройств прямого и обратного перемежения осуществляется путем направления первого же обнаруженного байта синхронизации через ветвь с номером 0.

**Внутреннее кодирование.** Внутреннее кодирование в системе вещания DVB-T основано на сверточном коде. Оно принципиально отличается от внешнего, которое является представителем блочных кодов. При блочном кодировании поток информационных символов делится на блоки фиксированной длины, к которым в процессе кодирования добавляется

некоторое количество проверочных символов, причем каждый блок кодируется независимо от других.

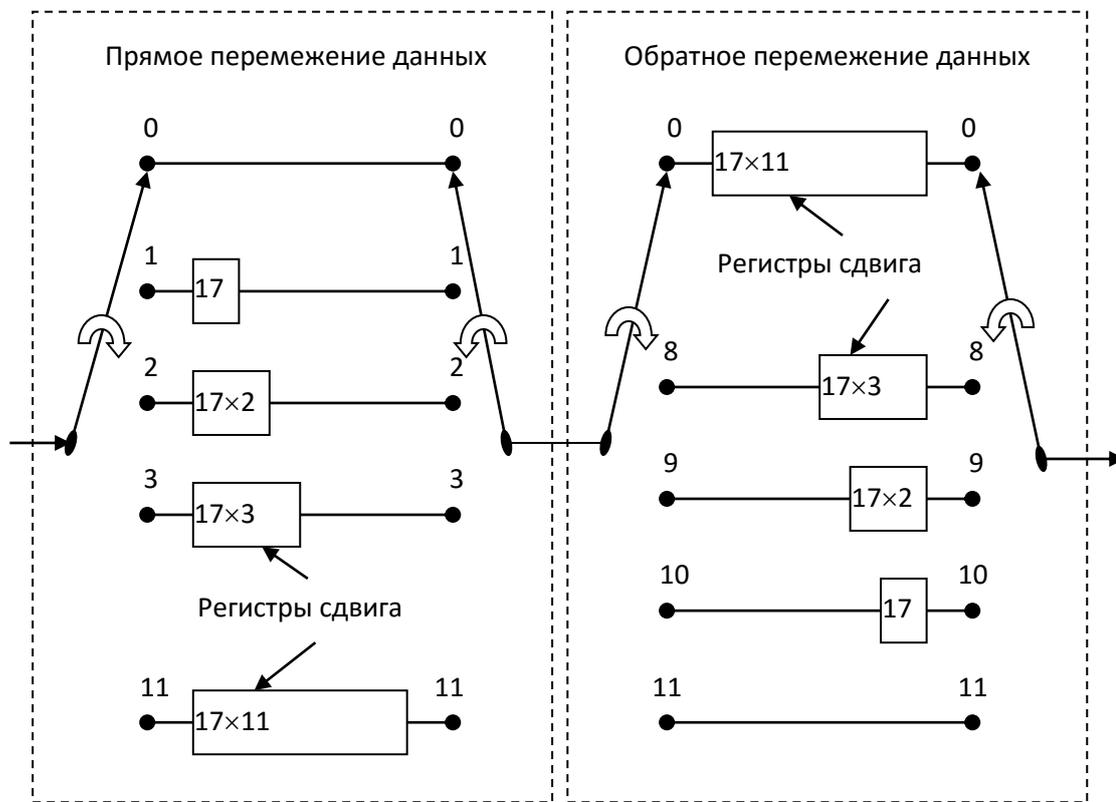


Рис.2.7. Внешнее перемежение данных.

При сверточном кодировании поток данных также разбивается на блоки, но гораздо меньшей длины, их называют «кадрами информационных символов». Обычно кадр включает в себя лишь несколько битов. К каждому информационному кадру также добавляются проверочные символы, в результате чего образуются кадры кодового слова, но кодирование каждого кадра производится с учетом предыдущих информационных кадров. Для этого в кодере всегда хранится некоторое количество кадров информационных символов, доступных для кодирования очередного кадра кодового слова (количество информационных символов, используемых в процессе сверточного кодирования, часто называют «длиной кодового ограничения»). Формирование кадра кодового слова сопровождается вводом следующего кадра информационных символов. Таким образом, процесс кодирования связывает между собой последовательные кадры.

Как было уже сказано, скорость внутреннего кода, или отношение числа символов в информационном кадре к общему числу символов, передаваемых в одном кодовом кадре, может изменяться в соответствии с условиями передачи данных в канале связи и требованиями к скорости передачи данных. Чем выше скорость кода, тем меньше его избыточность и тем меньше его способность исправлять ошибки в канале связи [12].

В системе DVB-T внутреннее кодирование с изменяемой скоростью строится с использованием базового кодирования со скоростью  $1/2$ . Основу базового кодера представляют собой два цифровых фильтра с конечной импульсной характеристикой, выходные сигналы которых  $X$  и  $Y$  формируются путем сложения по модулю двух сигналов, снятых с разных точек линии задержки в виде регистра сдвига из шести триггеров (рис.2.8,а).

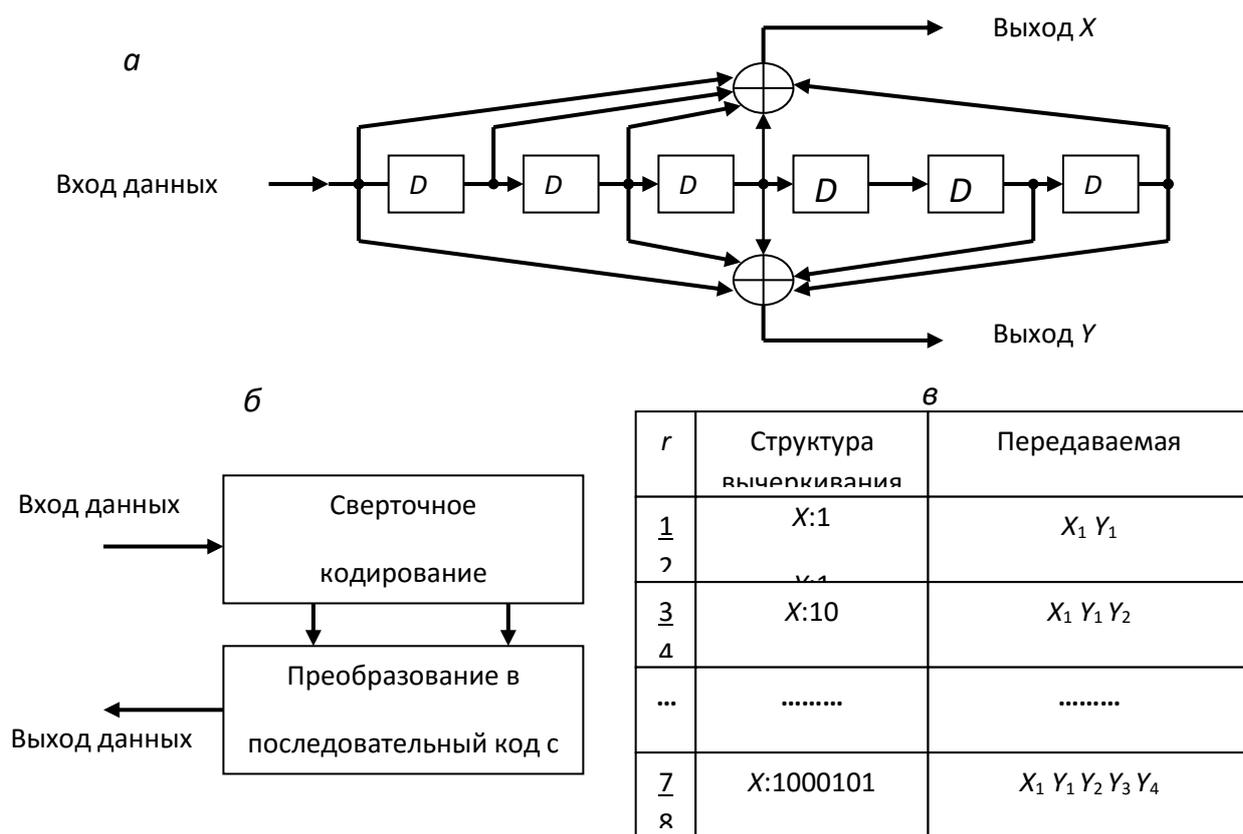


Рис.2.8. Внутреннее кодирование:

*a* – сверточное кодирование со скоростью  $r=1/2$ ; *б* – кодирование с вычеркиванием;

Входные данные последовательно вводятся в регистр сдвига, а из выходных сигналов фильтров после преобразования в последовательную форму с вычеркиванием (рис.2.8,б). Таким образом создается цифровой поток, в котором биты следуют друг за другом в два раза чаще, чем на входе (скорость такого кода равна  $1/2$ , так как на каждый входной бит приходится два выходных).

В режимах с большей скоростью кодирования передается лишь часть генерируемых сигналов  $X$  и  $Y$  (передаваемые сигналы и их порядок приведены в таблице на рис.2.8,в). Например, при скорости  $2/3$  двум входным битам ставятся в соответствие и передаются в последовательной форме три выходных сигнала ( $X_1, Y_1, Y_2$ ), а  $X_2$  вычеркивается. При максимальной скорости внутреннего кода, равной  $7/8$ , семи входным битам соответствуют восемь выходных ( $X_1, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, X_5, Y_6, Y_7$ ).

#### **2.4. Модуляция в системе цифрового телевидения DVB-T**

Внутреннее перемежение в системе DVB-T тесно связано с модуляцией несущих колебаний. Оно фактически является частотным перемежением, определяющим перемеживание данных, которые модулируют разные несущие колебания. Это довольно сложный процесс, но именно он является основой принципов модуляции OFDM в системе DVB-T. Внутреннее перемежение складывается из перемежения битов и перемежения цифровых символов данных. Его первым этапом является демультиплексирование входного потока данных. Непосредственно за перемежением следует формирование модуляционных символов [6].

Система DVB-T определяется как функциональный блок оборудования, обеспечивающего адаптацию цифрового ТВ сигнала, представленного в основной полосе частот на выходе транспортного мультиплексора MPEG-2, с характеристиками стандартного наземного радиоканала вещания, имеющего

ширину полосы частот 8 МГц. При этом используется передача сигналов по многочастотной схеме модуляции с частотным распределением ортогональных несущих (OFDM). В одном символе OFDM может содержаться 1705 или 6817 ортогональных несущих с условным наименованием режимов соответственно "2k" или "8k". Каждая из несущих модулируется низкоскоростным цифровым потоком, являющимся частью общего транспортного потока системы, а в качестве первичных видов модуляции для различных условий применения используются форматы QPSK, 16 QAM и 64 QAM [8].

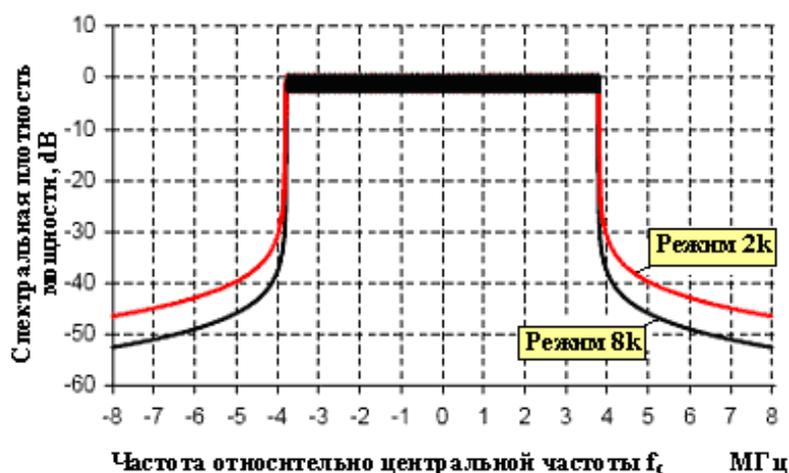


Рис.2.9. Спектр сигнала OFDM.

В зависимости от выборной схемы передачи в системе DVB-T могут формироваться три группы сигнальных созвездий: равномерные для иерархической передачи (используются QPSK, 16 QAM и 64 QAM) и неравномерные с двумя возможными коэффициентами неравномерности  $\alpha=2$  и  $\alpha=4$  (используются 16 QAM и 64 QAM). Модулированные узкополосные ортогональные несущие объединяются в пределах базовой полосы канала в группу COFDM. При модуляции несущих (при отображении битовых комбинаций в точке сигнального созвездия) для двух старших разрядов используется преобразование натурального кода в код Грея.

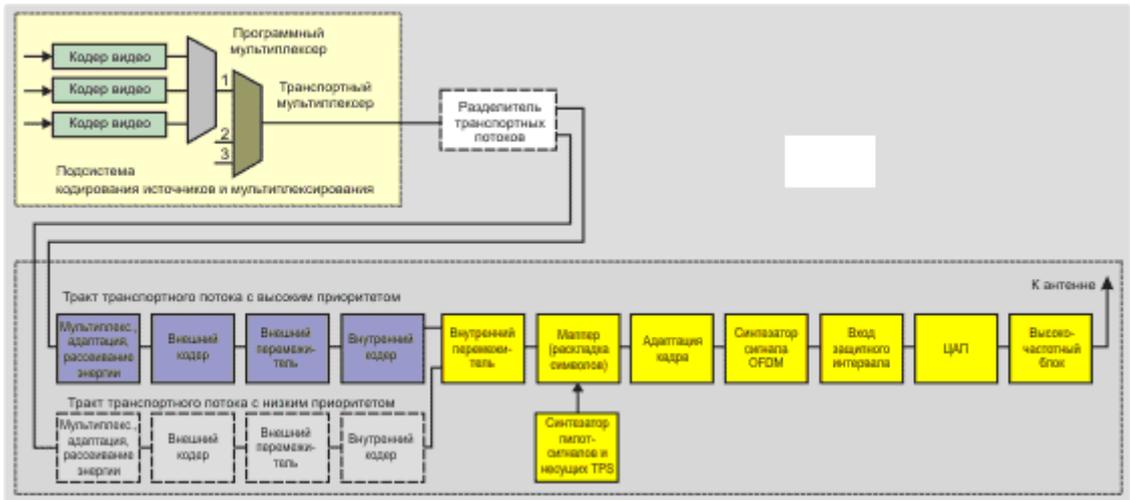


Рис.2.10. Структурная схема системы DVB-T.

В ТВ радиоканале спектр системы DVB-T за счет использования схемы модуляции **OFDM** имеет очень хорошую прямоугольность. Полная спектральная плотность мощности модулируемых несущих OFDM является суммой спектральных плотностей мощности множества несущих. Теоретический спектр сигнала OFDM для канала с полосой 8 МГц показан на рис.2.9., а обобщенная структурная схема системы DVB-T – на рис.2.10.

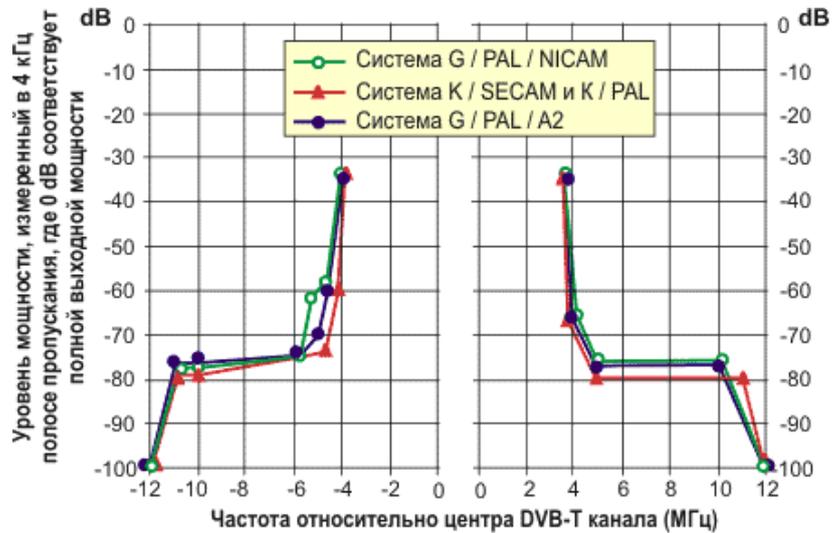


Рис.2.11. Системы цветности DVB-T.

Следует добавить, что для каждой из систем цветности (см. рис.2.11.) оговариваются свои защитные внеполосные спектральные маски (допустимая внедиапазонная спектральная плотность мощности, выраженная в dB). При этом существует понятие критичной и некритичной маски.

Некритичная маска используется при работе с соседним аналоговым каналом. Обладает минимальными защитными требованиями по отношению к аналоговому каналу и используется в случаях, если:

- нет поляризационных различий между аналоговым и цифровым каналами;

- мощностные составляющие этих двух передатчиков равны (т.е. пиковая аналоговая мощность  $P_A$  равна усредненной цифровой мощности  $P_D$ ).

Если выходные мощности не равны, то критичные точки маски (рис.2.3) должны быть скорректированы в пропорции к крайним мощностным различиям посредством корректирующего коэффициента  $C$ :

$$C_{[dB]} = P_{A\min}[dBW] - P_{D\max}[dBW] \quad (2.1)$$

Критичная маска используется в случаях, когда DVB-T передатчик используется совместно с другими видами услуг (низко мощностными или работающими только на прием) в соседних каналах. В этих случаях требования по избирательности (внеканальное подавление) существенно выше, чем в случае некритичной маски (рис.2.4).

Номинальная центральная частота  $f$  с ВЧ сигнала во всех случаях определяется выражением:

$$f_{c[MHz]} = 474 + n \cdot 8 \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.2)$$

В выражении (2.2) центральная частота ВЧ сигнала указана для диапазона ДМВ с полосой канала 8 МГц. Для улучшения совместного использования спектра, допускается смещение центральной частоты  $f_c$ .

В системе DVB-T на выходе тракта внешнего кодирования и перемежения образуется поток кодированных пакетов длиной по 204 байта: 1 байт синхронизации, 187 байтов перемеженных данных транспортных пакетов и 16 байтов внешней кодозащиты. После внутреннего кодирования длина

пакета возрастает пропорционально выбранной кодовой скорости сверточного кода. Полученный результирующий поток битов в процессе модуляции преобразуется в символы сигнала OFDM, которые организуются в кадры (см. рис.2.12.). Четыре кадра образуют один суперкадр. Каждый символ OFDM содержит 6817 несущих в режиме 8k и 1705 несущих в режиме 2k. Число несущих полезных данных является неизменным от символа к символу и за вычетом служебных несущих составляет 6048 несущих в режиме 8k и 1512 несущих в режиме 2k.

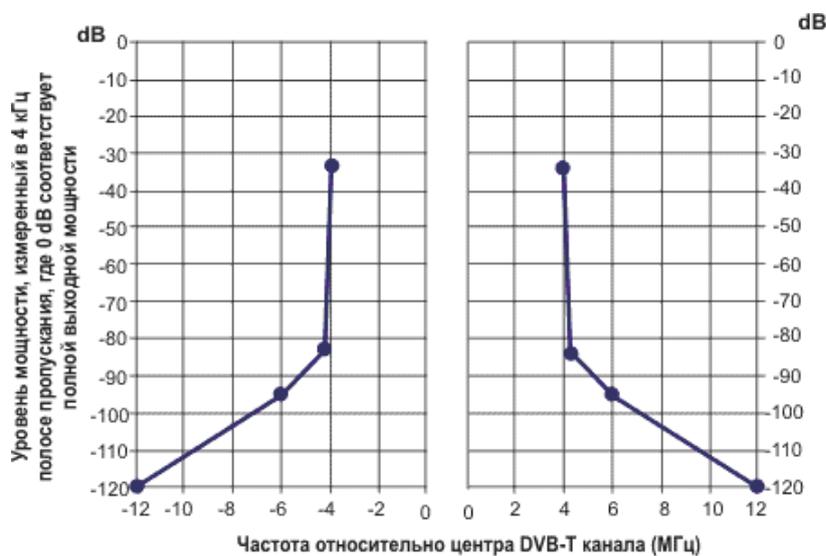
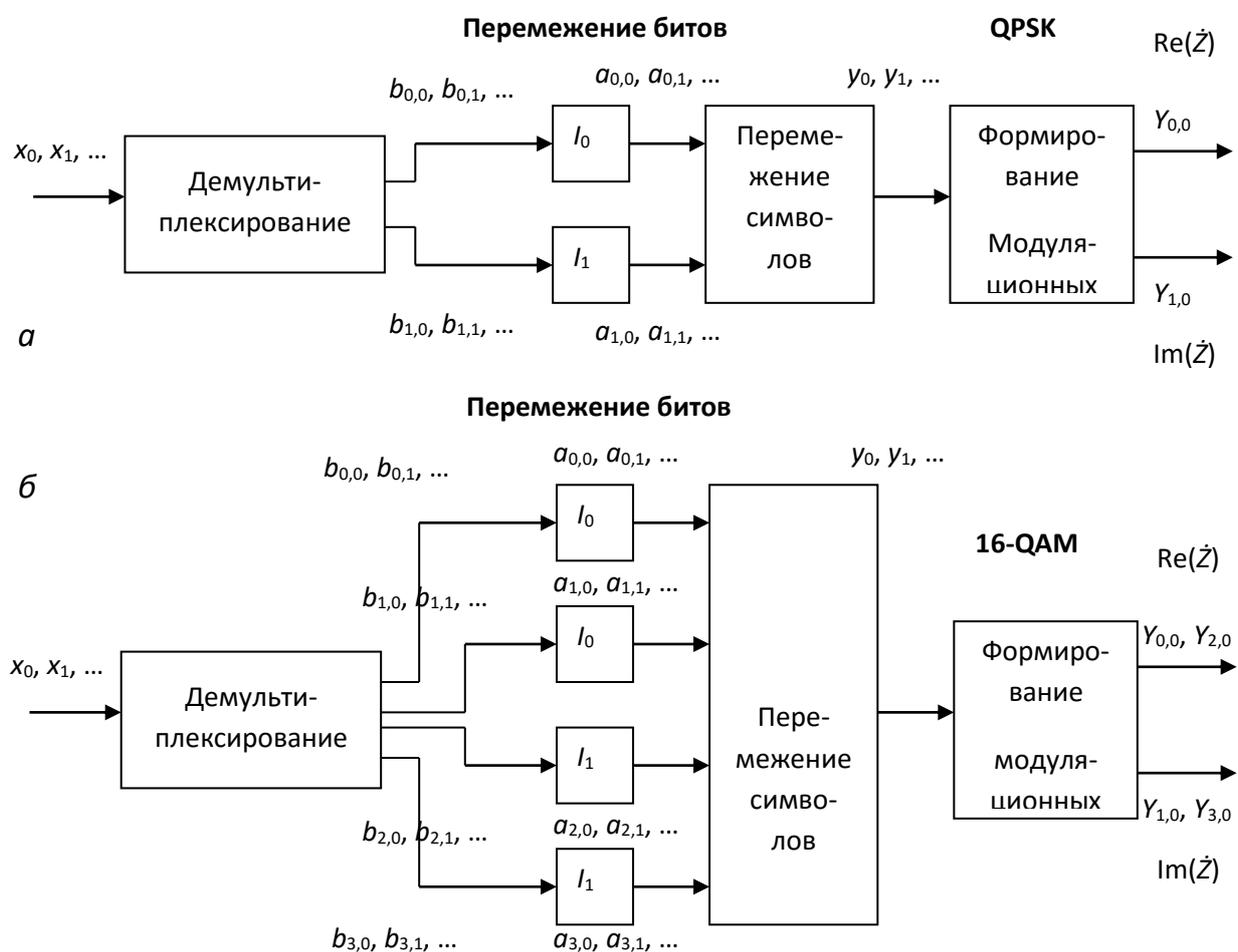


Рис.2.12. Внеканальное подавление.

**Демультимплексирование.** Отдельные несущие могут модулироваться с использованием квадратурной фазовой манипуляции (QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*) или квадратурной амплитудной модуляции (QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*). Сигналы, модулирующие несущую (точнее, синфазное и квадратурное колебания), при таких способах модуляции, являются многоуровневыми, они описываются последовательностями многопозиционных символов, которые называются «модуляционными». В способе QPSK модулирующий сигнал представляет собой последовательность четырехпозиционных символов, выбираемых из алфавита с четырьмя двухразрядными двоичными словами (00, 01, 10, 11), которые определяют фазу

модулированного колебания. Для формирования таких символов входной последовательный поток битов надо распределить, или демультиплексировать на два субпотока, в каждом из которых тактовая частота будет в два раза меньше, чем на входе (рис.2.13.). Для 16-позиционной квадратурной амплитудной модуляции 16-QAM надо формировать модуляционные символы в виде 4-разрядных двоичных слов, определяющих фазу и амплитуду модулированного колебания. В этом случае входной поток надо демультиплексировать соответственно на четыре субпотока. При использовании модуляции 64-QAM модуляционные символы представляют собой 6-разрядные слова, поэтому входной поток демультиплексируется на



шесть субпотоков [13].

Рис.2.13. Внутреннее перемежение и формирование модуляционных символов:

а – QPSK; б – 16-QAM

В системе DVB-T внутреннее кодирование с изменяемой скоростью строится с использованием базового кодирования со скоростью  $1/2$ . Основу базового кодера представляют собой два цифровых фильтра с конечной импульсной характеристикой, выходные сигналы которых  $x$  и  $y$  формируются путем сложения по модулю двух сигналов, снятых с разных точек линии задержки в виде регистра сдвига из шести триггеров (рис.2.8). Входные данные последовательно вводятся в регистр сдвига, а из выходных сигналов фильтров после преобразования в последовательную форму создается цифровой поток, в котором биты следуют друг за другом в два раза чаще, чем на входе (скорость такого кода равна  $1/2$ , так как на каждый входной бит приходится два выходных).

Входной поток данных демультиплексируется на  $\nu$  субпоток (  $\nu=2$  для QPSK,  $\nu=4$  для 16-QAM,  $\nu=6$  для 64-QAM). Поток битов  $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots$  преобразуется в последовательность слов из  $\nu$  разрядов (рис.2.13). При использовании QPSK два последовательно следующих бита  $x_0$  и  $x_1$  отображаются в слово, представленное в параллельной форме и состоящее из битов  $b_{0,0}$  и  $b_{1,0}$ , биты  $x_2$  и  $x_3$  – в слово из битов  $b_{0,1}$  и  $b_{1,1}$  и т.д. При модуляции 16-QAM выполняется следующая структура отображения последовательного потока входных битов в 4-х разрядные слова в параллельной форме:  $x_0 - b_{0,0}$ ;  $x_1 - b_{2,0}$ ;  $x_2 - b_{1,0}$ ;  $x_3 - b_{3,0}$  и т.д. При использовании 64-QAM каждые шесть последовательно следующих битов отображаются в 6-ти разрядное слово аналогичным образом [7].

**Перемежение битов.** Перемежение битов представляет собой блочный процесс, то есть оно осуществляется в пределах фиксированной области данных. Перемежение битов выполняется в пределах последовательности из 126 битов субпотока (рис.17.1). Оно осуществляется только над полезными данными, причем в каждом субпотоке (их максимальное количество равно шести) перемежение соответствует своему правилу. В процессе перемежения в каждом субпотоке формируется входной битовый вектор  $V(e)=(b_{e,0}, b_{e,1}, \dots, b_{e,125})$ , преобразуемый в выходной  $A(e)=(a_{e,0}, a_{e,1}, \dots, a_{e,125})$ , элементы которого

определяются как  $a_{e,w}=b_{e,H_e(w)}$  (здесь  $H_e(w)$  – функция перестановки битов,  $e=0, 1, \dots, v-1$ ,  $w=0, 1, 2, \dots, 125$ ). Функция перестановки определяется различным образом для устройства перемежения каждого субпотока. Например, для субпотока  $I_0$   $H_0(w)=w$ , перестановка фактически отсутствует, а для субпотока  $I_1$  перестановка выполняется в соответствии с функцией  $H_1(w)=(w+63)\bmod 126$ .

**Цифровой символ данных и символ OFDM.** Для образования цифрового символа данных выходы устройств перемежения субпотоков объединяются таким образом, что каждый символ из  $v$  битов (слово  $y'_w$ , где  $w=0, 1, 2, \dots, 125$ ) включает в себя один бит с выхода каждого устройства, причем выход  $I_0$  дает старший бит:  $y'_w=(a_{0,w}, a_{1,w}, \dots, a_{v-1,w})$ . В режиме  $2k$  процесс битового перемежения повторяется 12 раз, в результате чего образуются пакет из 1512 цифровых символов данных ( $126 \times 12 = 1512$ ), называемый символом OFDM. Именно эти 1512 цифровых символов данных используются для модуляции 1512 несущих колебаний в интервале одного символа OFDM (длительность символа OFDM обозначается как  $T_S$ ). 12 групп по 126 слов, считываемых последовательно с выхода устройства битового перемежения, образуют вектор  $Y'=(y'_0, y'_1, \dots, y'_{1511})$ . В режиме  $8k$  процесс битового перемежения повторяется 48 раз, что дает 6048 цифровых символов данных ( $126 \times 48 = 6048$ ), используемых для модуляции 6048 несущих. Это дает вектор  $Y'=(y'_0, y'_1, \dots, y'_{6047})$ .

**Перемежение цифровых символов данных.** Перед формированием модуляционных символов выполняется перемежение цифровых символов данных. Вектор на выходе устройства перемежения символов  $Y=(y_0, y_1, \dots, y_{N_{\max}-1})$  формируется в соответствии с правилом:  $y_{H(q)}=y'_q$  для четных символов и  $y_q=y'_{H(q)}$  для нечетных (здесь  $q=0, \dots, N_{\max}-1$ , а  $N_{\max}=1512$  или 6048). Функция  $H(q)$  называется функцией перестановки символов. Перестановка символов производится в пределах блока из 1512 (для  $2k$ ) или 6048 (для  $8k$ ) символов.

**Формирование модуляционных символов.** Цифровой символ данных  $Y$  состоит из  $v$  битов (как и  $Y'$ ):  $Y_{q'}=(Y_{0,q'}, Y_{1,q'}, \dots, Y_{v-1,q'})$ , где  $q'$  – номер символа на выходе устройства символьного перемежения. Величины  $Y$  используются для

формирования модуляционных символов в соответствии с используемым способом модуляции несущих. Модуляционные символы  $Z$  являются комплексными, их вещественная и мнимая части отображаются битами  $Y_{u,q}$ .

Частотную характеристику с помощью перестраиваемых фильтров можно попытаться сделать постоянной в частотном диапазоне, занимаемом спектром радиосигнала, если предварительно оценить неравномерность. Но такой путь не всегда возможен. Представим, что повторный радиосигнал приходит в точку приема с такой же интенсивностью, что и основной (такой повтор называют эхо-сигналом 0 дБ). Интерференционное взаимодействие основного сигнала и повтора приведет к тому, что отдельные компоненты суммарного сигнала окажутся полностью уничтоженными.

Эхо-сигнал, задержанный на четверть длительности символа, приводит к подавлению каждой четвертой несущей сигнала OFDM. Такие подавленные компоненты не могут быть скорректированы за счет полосовой фильтрации, принятый сигнал претерпевает необратимые искажения. Однако в системе COFDM подавленные компоненты могут быть полностью восстановлены благодаря использованию частотного уплотнения в сочетании с кодированием, обнаруживающим и исправляющим ошибки. Это является следствием того, что данные, переносимые каждой несущей, доступны для обработки в системе канального кодирования. Каждая несущая пакета OFDM несет лишь небольшую часть данных, ошибки в которых могут быть обнаружены и исправлены с помощью системы канального кодирования.

Символ OFDM состоит из двух частей: полезной части и защитного интервала. Защитный интервал предшествует полезной части и является циклическим префиксом адекватной по длительности последней части символа [12].

Справочные сведения по параметрам кадра и значениям защитных интервалов в системе DVB-T приведены в табл.2.1 (OFDM).

Таблица 2.1. Основные эксплуатационные параметры стандарта DVB-T (OFDM).

Параметр	Значение параметра							
	8k				2k			
Число несущих в символе OFDM	6817				1705			
Число несущих полезных данных в символе OFDM	6048				1512			
Число рассосредоточенных пилот-сигналов в кадре OFDM	524				131			
Число непрерывно повторяющихся пилот-сигналов в кадре OFDM	177				45			
Число несущих сигнализации о параметрах передачи в кадре OFDM	68				17			
Длительность полезной части символа OFDM, мкс	896				224			
Разнос соседних несущих, Гц	1116				4464			
Разнос между крайними несущими в символе OFDM, МГц	7,608258				7,611607			
Частота следования символов данных, МГц	6,75				6,75			
Ширина полосы частот канала, МГц	6, 7 и 8				6, 7 и 8			
Число битов на символ	2,4,6				2,4,6			
Кодирование кода Рида-Соломона	T=8 (204, 188)				T=8 (204, 188)			
Длительность псевдослучайной последовательности, байт	1503				1503			
Скорость передачи полезных данных, Мбит/с	4,98...31,67				4,98...31,67			
Скорость внутреннего кода	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8				1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8			
Модуляция несущих	QPSK, 16QAM, 64QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM			
Относительный защитный интервал $T_G/T_U$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Длительность полезной части символа $T_U$ , мкс	896				224			
Длительность защитного интервала $T_G$ , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Длительность символа $T_S = T_G + T_U$ , мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231

Максимальный разнос между передатчиками в одночастотной сети (SFN), км	67,2	33,6	16,8	8,4	16,8	8,4	4,2	2,1
---	------	------	------	-----	------	-----	-----	-----

Таблица 2.2. Основные эксплуатационные параметры стандарта DVB-T.

Модуля- ция	Скорость кодирования	Требуемое C/N для BER = $2 \times 10^{-4}$ после Viterbi QEF после Рид-Соломона			Битовая скорость (Мбит/с)			
		Гауссов канал	Рисуан канал	Релеевский канал	$\Delta/T_U=1/4$	$\Delta/T_U=1/8$	$\Delta/T_U=1/16$	$\Delta/T_U=1/32$
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	6,9	8	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	12,5	13	16,7	14,93	16,59	17,56	18,1
	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	13,9	15	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64QAM	1/2	14,4	14,7	16	14,93	16,59	17,56	18,1
	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	18	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	19,3	20	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	20,1	21	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

В табл.2.2. представлены требуемые минимальные значения C/N (отношение несущая/шум) неиерархической передачи для достижения  $BER = 2 \times 10^{-4}$  на выходе декодера Viterbi (расчетные теоретические значения) для всех комбинаций скоростей кодирования и типов модуляции [13].

### **3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T В УЗБЕКИСТАНЕ**

#### **3.1. Переход Узбекистана на цифровое телевидение**

Сегодня запросы человека к современному телевидению весьма высоки. Зритель требователен и он хочет смотреть именно то, что ему нужно. Поэтому услуги по доставке качественного телевидения в каждый дом - неотъемлемая часть государственной программы по расширению и улучшению телевидения в нашей стране [16].

Для координации процесса перехода с аналогового на цифровое наземное телевидение, в Узбекистане, постановлением Президента Республики Узбекистан от 20 августа 2010 года № ПП-1394 была создана Межведомственная рабочая группа по вопросам перехода на цифровое телерадиовещание в республике и решением Государственной комиссии Республики Узбекистан по радиочастотам от 25 февраля 2010 года №1/3 утвержден "Частотно-территориальный план перехода на цифровое телевидение в Республике Узбекистан на 2010-2015 годы".

В конце 2008 года в Узбекистане запущено цифровое телевидение с использованием стандарта наземного вещания DVB-T на 41, 37, 31 и 42 ТВК. Вещание ТВ каналов ведётся с использованием формата сжатия MPEG-4 (H.264). Коммерческой реализацией будет заниматься специально созданное предприятие «UZDIGITAL TV». Для защиты контента выбрана система условного доступа IRDETO 2. Абонентские ресиверы стандарта DVB-T производятся в городе Ташкенте, компанией ООО ПП «TELMAX Elektroniks».

Компания "UZDIGITAL TV" была образована в 2009 году с целью участия в реализации данной программы и в настоящий момент является

лидирующим оператором, предоставляющим услуги цифрового телевидения для физических и юридических лиц в Узбекистане [16].

До конца 2015 года планируется расширить зону покрытия и покрыть все города и населённые пункты Узбекистана. Так же планируется расширение ретранслируемых телеканалов и запуск телеканалов собственного производства в формате HD.

В Узбекистане принят европейский стандарт цифрового телевидения DVB-T. DVB-T характеризуется высоким разрешением в 625 строк, использует чересстрочную развертку, при этом частота полукадров составляет 50 Гц. DVB-T в состоянии обеспечить удвоенное (по сравнению с базовым) разрешение по горизонтали и вертикали, а также может передавать изображение с соотношением сторон 16:9. DVB-T поддерживает звук в формате Dolby Digital AC-3, используя для передачи аудио сигнала стандарт MUSICAM. Также, одним из ключевых преимуществ стандарта DVB-T является устойчивость приема сигнала и его невосприимчивость к другим переотраженным сигналам.

Основные преимущества:

- высокое качество изображения;
- стереозвук и звук в формате 5.1;
- уменьшение мощности передатчика;
- расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры;
- создание интерактивных ТВ систем, при использовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу);
- высвобождение диапазона радиоволн, в котором можно будет создать новую беспроводную сеть.

### **3.2. Основные тенденции развития цифрового телевидения в Узбекистане**

В целях обеспечения повышения эффективности использования радиочастотного спектра и планомерного перехода на цифровой формат телевидения Президентом Республики Узбекистан 17 апреля 2012 года принято постановление «О Государственной программе по техническому и технологическому переходу на цифровое телевидение в Республики Узбекистан» № ПП-1741 [17].

Данным Постановлением утверждена Государственная программа по техническому и технологическому переходу на цифровое телевидение в Республике Узбекистан, которая предусматривает:

- дальнейшее совершенствование нормативно-правовой базы в области внедрения цифрового телевидения с учетом технико-технологического развития;

- переход на цифровое телевидение в республике в два этапа:

- 1-этап: Развитие сети наземного цифрового вещания 2012-2015 годы. С помощью установки передатчиков цифрового телевидения. То есть на первом этапе предусматривается охват цифровым телевидением областных центров и крупных городов;

- 2-этап: Развитие сети цифрового вещания в удаленных и труднодоступных населенных пунктах Республики Узбекистан. 2015-2017 годы с использованием спутниковой связи. Во втором этапе планируется полностью обеспечить доступ населения страны к услугам цифрового телевидения.

- дальнейшее развитие и модернизацию наземных сетей цифрового телевизионного вещания с постепенной заменой систем аналогового телевидения на цифровые, внедрение новых видов услуг, в том числе интерактивного и мобильного телевидения;

- развитие отечественного производства и обеспечение населения современными устройствами приема сигналов цифрового телевидения и др.

Реализация данного Постановления послужит дальнейшему внедрению и развитию сети наземного цифрового вещания по всей республике.

Первые цифровые телевизионные передатчики стандарта DVB-T в Республике Узбекистан были запущены в эксплуатацию в 2008 году в Ташкенте и Бухаре, в настоящее время на территории республики работают более 10 телевизионных передатчиков стандарта DVB-T [17].

Согласно решению Государственной комиссии по радиочастотному спектру от апреля 2012 года в Ташкенте создается опытная зона по цифровому телевидению в стандарте DVB-T2.

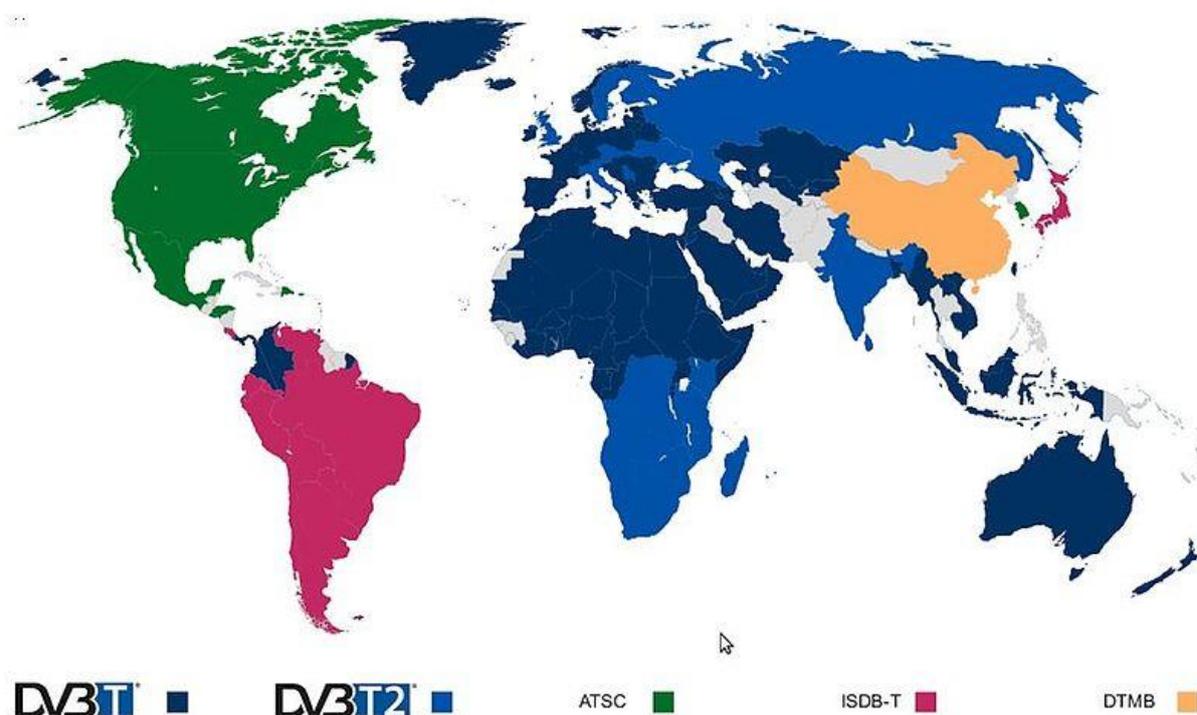
Стандарт DVB-T2 по сравнению с первым поколением цифрового телевидения стандарта DVB-T позволяет более эффективно использовать радиочастотный спектр и предоставлять телевидение высокого качества. Данный стандарт обеспечивает новую цифровую систему телевидения, позволяет достичь на высокую скорость при передаче данных и повышает качество цифрового телевидения на участках пересечения границ услуг передатчиков. Основное различие в методике обработки сигналов стандарта DVB-T2 по сравнению со стандартом DVB-T заключается в том, что первое обеспечивает алгоритмическое кодирование внешних и внутренних несколько самостоятельных мультимедийных потоков и передавать их по очереди, а также перевод группы сигналов в определенный вид.

Еще одним техническим преимуществом предлагаемого стандарта является то, что если в стандарте DVB-T имеется возможность вещать 12 SD телевизионных каналов, то в стандарте DVB-T2 можно вещать уже 16 SD телевизионных каналов. В результате этого появляется так называемый «цифровой дивиденд».

В странах Западной Европы стандарт DVB-T2 рассматривается в качестве основного стандарта передачи сигнала HDTV в эфире (HDTV – телевидение высокой четкости). В настоящее время в некоторых регионах опытная HD –

трансляция сигналов осуществляется в стандарте DVB-T, постоянное HD-вещание в Европе ожидается осуществлять только в стандарте DVB T2. Дело в том, что при переходе на долгосрочное стратегическое цифровое вещание использование стандарта DVB-T2 является основным элементом для телевидения высокой четкости: сегодня или завтра любой телезритель вне зависимости от его экономической состоятельности сможет смотреть HDTV. Если каждое HD-приемное устройство поддерживает DVB-T2, то в этом случае есть возможность перевода SD каналов (стандартной четкости) на HD каналы и вместе с тем, дополнительно можно создать новые свободные дополнительные каналы HDTV [16].

На рис.3.1. приведена карта использования систем наземного цифрового телевидения в мире.



*Рис.3.1. Карта использования систем наземного цифрового телевидения в мире.*

### 3.3. Оборудования, используемые в стандарте DVB-T

Компания "UZDIGITAL TV" на сегодняшний день предлагает абонентам цифрового телевидения приобретать множество тюнеров, антенн (комнатные и наружные) и устройства TeleCARD [18].

Нижеследующем рисунке приведена антенна для наружного применения (рис.3.2.):



*Рис.3.2. Антенна наружного применения.*

#### **Абонентский приемник (тюнер) TE-6010IR**

Технические данные:

- поддержка MPEG4/MPEG2 - HD/SD, полная совместимость с DVB-T/T2;

- режим «сдвиг во времени», запись и воспроизведение видео при помощи внешнего жесткого диска (USB 2.0);

- возможность одновременной записи 2 каналов и параллельного просмотра 2 других в режиме «картинка в картинке» (PIP);

- расширенные возможности электронного расписания программ (EPG) и планирование событий;

- порт USB 2.0 (MP3-плеер и просмотр изображений в формате JPEG);

- поддержка различных мультимедиа форматов (в т.ч. воспроизведение Xvid);
- поддержка порта Ethernet;
- полноцветная экранная визуализация с максимальным разрешением;
- возможность создания списка избранных каналов;
- расширенное управление списками избранных каналов, блокировкой, быстрым просмотром, перемещением, изменением и удалением каналов;
- функция сортировки по алфавиту, транспондеру и CAS;
- простой в использовании многоязычный интерфейс;
- поддержка телетекста и субтитров;
- возможность настройки 10 000 каналов (ТВ и радио);
- родительский контроль / блокировка доступа к системе / блокировка установочных настроек;
- родительская блокировка / Системная блокировка;
- выход видео и аудио формата HDMI (576i, 576p, 720p, 1080i, 1080p);
- CVBS (композитный) Video & Audio вывод RCA;
- оптический вывод для цифровой звукозаписи (SPDIF).

На рис.3.3. приведен вид тюнера TE-6010IR:



*Рис.3.3. Тюнер TE-6010IR.*

## **Абонентский приемник (тюнер) FT-6144IR**

Технические данные:

- цифровой DVB-T приемник с 1 слотом смарт-карты;
- Time Shifting с внешним USB 2.0 слотом (Объем USB накопителя не более 8 Gb, с файловой системой FAT32);
- запись и Воспроизведение с внешнего USB 2.0 накопителя;
- запись событий в EPG;
- запись и Time Shifting одновременно (Объем USB накопителя не более 8 Gb, с файловой системой FAT32);
- запись и воспроизведение одновременно;
- HDMI выход (576i, 576p);
- полная поддержка DVB-T с кодированием MPEG-4;
- EPG (Electronic Program Guide);
- функция группировки избранных программ;
- функция сортировки по алфавиту, транспондеру и CAS;
- телетекст;
- поддержка до 10 000 сервисов;
- функция Multi-picture;
- USB 2.0 с поддержкой форматов MP3 и JPEG;
- родительская блокировка / Системная блокировка;
- CVBS, RGB Video и Audio через RCA.

На рис.3.4. приведен вид тюнера FT-6144IR:



*Рис.3.4. Тюнер FT-6144IR.*

### **Устройство TeleCARD**

TeleCARD - устройство, необходимое для просмотра цифрового телевидения владельцам телевизоров со встроенным DVB-T тюнером без использования дополнительного оборудования [18].

Устройство TeleCARD от UZDIGITAL TV предназначено для просмотра платных кодированных телеканалов цифрового телевидения UZDIGITAL TV на современных телевизионных приёмниках со встроенным цифровым тюнером стандарта DVB-T, оснащёнными специальным разъёмом (слотом) CI (рис.3.5.).



*Рис.3.5. Устройство TeleCARD.*

Преимущества использования TeleCARD:

- отсутствие ТВ-тюнера рядом с телевизором. Соответственно отсутствие кабелей соединяющих внешний ТВ-тюнер и телевизор;
- лучшее качество изображения (при наличии в телевизоре встроенного цифрового ТВ-тюнера нет необходимости преобразовывать цифровой сигнал в аналоговый, как происходит в случае с использованием внешнего ТВ-тюнера);
- управление цифровыми каналами осуществляется с ТВ пульта;
- TeleCARD поддерживает стандарт телевидения высокой четкости - HDTV. Большинство современных телевизоров со встроенным цифровым ТВ-тюнером являются Full HD или HD Ready.

### **3.4. Цифровые телевизионные каналы передач в Узбекистане**

В г. [Ташкенте](#) компанией UZDIGITAL TV ведётся коммерческое вещание с применением [системы условного доступа](#) Irdeto Cloaked CA. Базовый пакет, который передается в некодированном виде и который можно смотреть без абонентской платы, составляет 12 каналов: 12 каналов, входящих в Национальную Телерадиокомпанию (НТРК) Узбекистана - "Узбекистан" (1-канал), "Ёшлар" ("Молодежный"), "Ташкент", "Спорт UZ", "Маданият ва маърифат" ("Культура и просвещение"), "Дунё буйлаб" ("Вокруг света"),

"Болажон" ("Детский"), "НАВО", "Uz HD Format SD", "Кинотеатр", "Оилавий" и "ДИЁР".

Два платных пакета доступны только на территории Ташкента и Ташкентской области. Платные пакеты в основном состоят из российских каналов и российских версий таких международных каналов, как Discovery, National Geographic и др. В других регионах страны пока транслируется пакет «Базовый», в него входит 12 телеканалов. В настоящее время вещание ведётся в г. Ташкенте, Ташкентской, Самаркандской, Бухарской, Хорезмской, Кашкадарьинской, Ферганской, Андижанской, Наманганской, Джизакской областях и в Республике Каракалпакстан; в дальнейшем планируется расширение пакетов и для этих регионов.

В настоящее время бесплатно ретранслируются следующие телепрограммы в пакете "Базовый" (табл.3.1.):

Таблица 3.1. Каналы передач пакета "Базовый".

Номер канала	Каналы передач
1.	Узбекистан
2.	Ёшлар
3.	Ташкент
4.	Спорт UZ
5.	Маданият ва маърифат
6.	Дунё буйлаб
7.	БОЛАЖОН
8.	НАВО
9.	Uz HD Format SD
10.	Кинотеатр
11.	Оилавий
12.	ДИЁР

В пакетах Digital 16, Digital 25, Digital 36 транслируются каналы в количестве 16, 25 и 42 соответственно.

Абоненты цифрового ТВ в Узбекистане помимо традиционного просмотра каналов смогут смотреть передачи по заказу и пользоваться высокоскоростным интернетом.

На сегодняшний день со стороны АК «Узбектелеком» под торговыми марками «UZTELECOM», «UZONLINE» и «UZMOBILE» оказываются множества услуг по Республике Узбекистан. Одним из этих услуг является услуга IPTV оказываемая со стороны «UZONLINE» [18].

Услуга IPTV позволяет абонентам просмотр до 61 национальных и зарубежных телевизионных каналов, а также предоставляет ряд многих других дополнительных возможностей (табл.3.2.).

Таблица 3.2. Каналы передач услуги IPTV.

№ п/п	Наименование каналов	№ п/п	Наименование каналов
1.	Узбекистан	31.	НТВ+ Кинохит
2.	Ёшлар	32.	NTV+Football
3.	Ташкент	33.	1 муз
4.	Спорт UZ	34.	Discovery Channel
5.	НАВО	35.	Россия 24
6.	БОЛАЖОН	36.	History viasat
7.	ДИЁР	37.	RUTV
8.	Кинотеатр	38.	TV1000ru
9.	Дунё буйлаб	39.	Muz TV
10.	Маданият ва маърифат	40.	Детский Мир
11.	Uz HD Format SD	41.	НОВОЕ КИНО
12.	Оилавий	42.	Discovery Science

13.	ТВ3	43.	Карусель
14.	Россия 1	44.	АВТО ПЛЮС
15.	Звезда	45.	24 techno
16.	Россия культура	46.	Nat.Geo.wild
17.	Fashion	47.	Клуб Путешествий
18.	Спорт 1	48.	TV1000
19.	Дом кино	49.	Sport 2
20.	Nat Geo	50.	Viasat Explorer
21.	Disney	51.	Наше Кино
22.	НТВ киноклуб	52.	Кинопоказ
23.	Охота и рыбалка	53.	Индия
24.	НТВ	54.	МИР
25.	ОРТ	55.	РЕТРО
26.	Россия 2	56.	Планета РТР
27.	Eurosport	57.	Style TV
28.	Euronews	58.	ТВЦ
29.	Animal Planet	59.	РБК
30.	НТВ+ Премьера	60.	NTV sport online
61.	Telecafe		

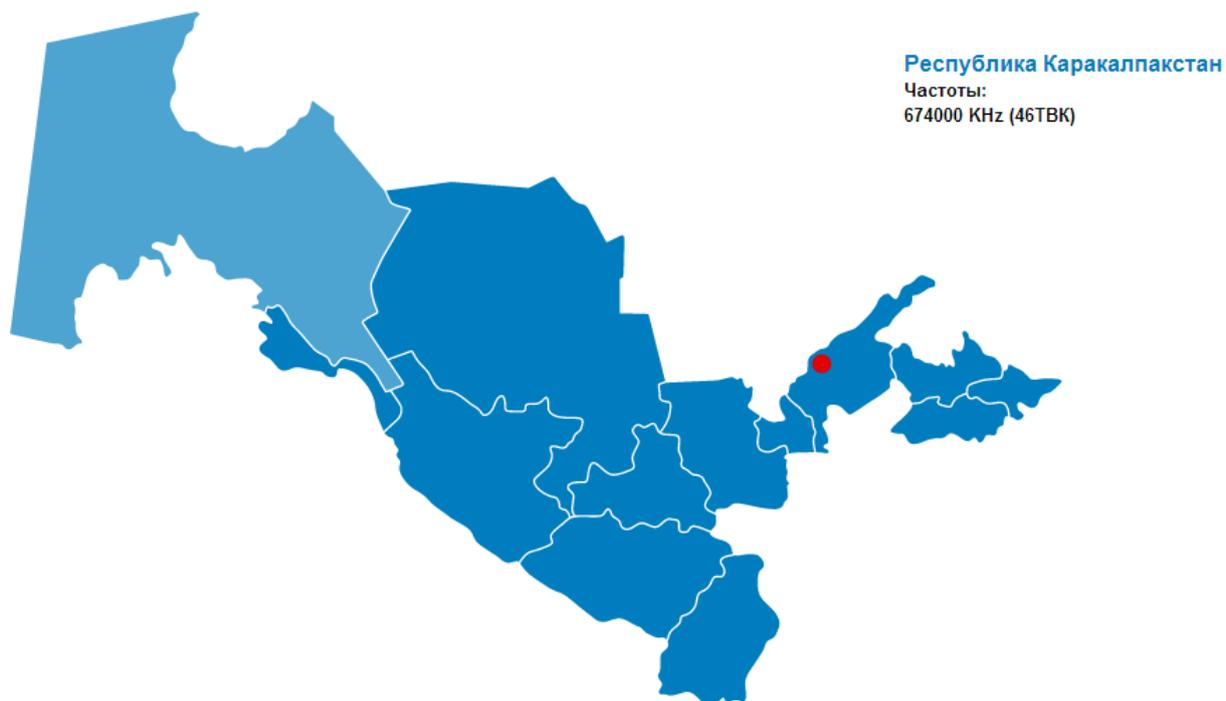
Услуга «ТВ по заказу» позволяет абонентам просматривать телепередачи в любое удобное время, причем со всеми паузами и остановками, как на DVD-плеере.

Услуга «Программа передач» - дает возможность просматривать программу передач на неделю вперед и выбирать передачи, которые тюнер будет показывать автоматически.

Кроме того, абоненты могут видеть подробную информацию о просматриваемой передаче, включая ее название, время начала и окончания, а также название и время начала следующей передачи [3].

В настоящее время наземное цифровое телевидение осуществляется в следующих регионах Узбекистана (рис.3.6.):

- Ташкентская область;
- Бухарская область;
- Самаркандская область;
- Хорезмская область;
- Андижанская область;
- Ферганская область;
- Наманганская область;
- Кашкадарьинская область;
- Республика Каракалпакстан;
- Навоийская область;
- Сырдарьинская область;
- Джизакская область;
- Сурхандарьинская область.



*Рис.3.6. Карта регионов Узбекистана, в которых осуществляется трансляция передач услуг цифрового телевидения.*

По состоянию 2014 года в Республике Каракалпакстан г.Нукусе установлена одна передающая станция цифрового телевидения модели NV8604V производства фирмы Rohde&Shwarz изготовленная в Германии. Данный передатчик цифрового телевидения расположен на башне Нукусского РТС принадлежащий Каракалпакскому радио-телевизионному передающему центру (КК РТПЦ), Н=142м. Эта станция транслирует 12 национальных телевизионных программ по городам Нукус, Тахиаташ, а также районам Ходжейли, Нукус и Кегейли на 46-ом телевизионном канале (ТВК) с шириной 8 МГц. Мощность данного передатчика составляет 2,3 кВт.

## **4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **4.1. Меры безопасности при обслуживании установок и сооружений**

#### **Электромагнитные излучения**

При работе на персональном компьютере наиболее тяжелая ситуация связана с полями излучений очень низких частот, которые способны вызывать биологические эффекты при воздействии на живые организмы. Обнаружено что поля с частотой порядка 60 Гц могут инициировать изменения в клетках животных (вплоть до нарушения синтеза ДНК). Поэтому для защиты от этого вида излучений используются следующие рекомендации:

- применяются видеоадаптеры с высоким разрешением и частотой обновления экрана не ниже 70-72 Гц;
- применяются мониторы соответствующие стандарту MPR II, а также TCO-92.

Вследствие воздействия электронного пучка на слой люминофора поверхность экрана приобретает электростатический заряд. Сильное электростатическое поле небезобидно для человеческого организма. На расстоянии 50 см влияние электростатического поля уменьшается до безопасного для человека уровня. Применение специальных защитных фильтров позволяет свести его к нулю. Но при работе монитора электризуется не только его экран, но и воздух в помещении. Причем приобретает он положительный заряд, а положительно наэлектризованные молекулы кислорода не воспринимается организмом как кислород и не только заставляют легкие работать впустую, но приносят в легкие микроскопические частицы пыли [1].

Для защиты служащих применяется:

- внешний экран, с металлическим напылением, заземленный на общую шину;

- экран монитора, имеющий антистатическую поверхность, что исключает притягивание пыли;

- частое проветривание помещения.

При эксплуатации монитор компьютера излучает мягкое рентгеновское излучение. Опасность этого вида излучения связана с его способностью проникать в тело человека на глубину 1-2 см и поражать поверхностный кожный покров. Монитор, построенный на базе электронной лучевой трубки, является наиболее сильным источником электрических и магнитных полей, входящим в состав ПЭВМ. Интенсивность электромагнитного излучения в 5 см от экрана составляет 64 В/м, но на расстоянии 30 см, не превышает 2,4 В/м, что ниже, чем допустимый уровень. Это же можно сказать и об интенсивности ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Таким образом, при работе на расстоянии 40 - 50 см от экрана дисплея вредное воздействие исключено.

### **Освещенность**

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение комбинированного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. (минимальный размер объекта различения-толщина штриха буквы - 0.3 мм, отсюда разряд зрительной работы – работа высокой точности). Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не должно создавать бликов поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. Следует ограничивать прямую блёскость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, доля быть не более 200 кд/кв.м. Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях

(экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения. В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. При устройстве отраженного освещения производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металл галогенных ламп мощностью до 250 Вт.

## Шум

Шум оказывает вредное влияние на нервную систему и снижает производительность труда. В частности, снижается скорость и точность сенсомоторных процессов, увеличивается число ошибок при решении интеллектуальных задач. Особенностью шума является то, что по мере воздействия его во времени увеличивается его негативное влияние на нервную систему. При увеличении уровня шума до 80 дБ и более шум оказывает серьезное физиологическое воздействие на организм — может возникнуть гипертония, язвенная болезнь, невроты, желудочно-кишечные и кожные заболевания. Шум уровня 90-100дБ приводит к общему утомлению, тугоухости и глухоте, притупляется острота зрения, появляются головные боли, повышается кровяное и внутричерепное давление, изменяется объем внутренних органов и т.д. Пребывание работающих в зонах с уровнем звукового давления более 135 дВ в любой октавной полосе запрещается [1].

Для рабочих мест с использованием устройств в административных помещениях и лабораториях, связанных с часто повторяющимися операциями допустимое значение эквивалентного уровня звука не должно превышать 60 дБ для 8-часовой рабочей смены. Для защиты от шума используются следующие меры:

- рациональное размещение рабочих мест и оборудования, учет шумовой карты помещения;

- создание шума-защищенных зон.

## **Микроклимат**

Микроклиматические параметры производственной среды - это сочетание температуры, относительной влажности и скорости воздуха. Эти параметры в значительной степени влияют на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье, а также и на надежность работы вычислительной техники. Причем в производственных условиях характерно суммарное действие микроклиматических параметров.

Причем наибольшие суммарные тепловыделения среди помещений предприятий Информационного Обеспечения (ИО) имеют машинные залы, а в них основным тепловыделяющим оборудованием являются ЭВМ, которые дают в среднем до 80% суммарных тепловыделений. От приборов освещения тепловыделения составляют в среднем 12%, от обслуживающего персонала - 1%, от солнечной радиации - 6%. Приток теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции - 1%. На организм человека и работу оборудования на предприятии (ИО) большое влияние оказывает относительная влажность воздуха.

## **Электробезопасность**

Компьютер, модемы являются электрическими устройствами с напряжением питания 220/380В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью. В мониторе используется напряжение в несколько десятков киловольт. Во избежание поражения электрическим током, возникновения пожара и повреждения компьютера следует соблюдать следующие меры безопасности:

- запрещается включать компьютер и периферию со снятой крышкой;
- запрещается эксплуатация компьютера с неисправным шнуром питания;

- запрещается подключать к компьютеру периферийные устройства при включенном питании;
- запрещается эксплуатация компьютера в помещении с высокой влажностью или сильно загрязненным воздухом;
- при эксплуатации требуется принять меры, исключающие удары и падения компьютера;
- не оставлять без присмотра работающий компьютер;
- не допускается попадание внутрь компьютера и периферии посторонних предметов, жидкостей и сыпучих веществ;
- не допускаются перегибы, передавливания и натяжения питающих кабелей;
- не допускается устанавливать компьютер вблизи источников тепла;
- не допускается закрывание вентиляционных отверстий компьютера и периферии.

Для обеспечения электробезопасности при монтаже, наладке и работе с сетью необходимо обратить особое внимание на создание защитных мер от попадания пользователей и обслуживающего персонала под напряжение, для предотвращения электротравматизма при работе с сетью.

### **Пожарная безопасность**

В соответствии с СНиП пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системой предотвращения пожара, системой противопожарной защиты, организационно-техническими мероприятиями. Противопожарная защита помещения обеспечивается применением автоматической установки пожарной сигнализации, а также применением основных строительных конструкций здания с регламентированными пределами огнестойкости. Кроме того, в соответствии с нормами первичных средств пожаротушения при площади помещения, не превышающей 100м<sup>2</sup>, в распоряжении персонала имеется углекислотный огнетушитель ОУ-5, предназначенный, для тушения

загорания различных, веществ и электроустановок с напряжением до 10 кВ при температуре окружающего воздуха от -40 до +50'С. Принять все меры к ликвидации пожара, используя пожарные краны, огнетушители и другой имеющийся противопожарный инвентарь. При необходимости начальникам отделов и служб организовать эвакуацию людей, документации и имущества.

Покидая при пожаре комнаты и этаж закрыть все окна и двери во избежание распространения огня, также при возможности предупредить других людей в здании [1].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены стандарты цветного и цифрового телевидения такие как, NTSC, PAL, SECAM, ATSC, ISDB, DVB-C, DVB-S, DVB-H и DVB-T, история их расширения и общий обзор развития поколений телевидения. А также, описаны и изучены структура, принципы построения системы цифрового телевидения стандарта DVB-T. В работе приведены основные характеристики стандарта DVB-T, рассмотрены обработка данных, сигналов и модуляция в системе DVB-T. Приведены основные аспекты перехода Узбекистана на цифровое телевидение, рассмотрены основные тенденции развития цифрового телевидения стандарта DVB-T, подробно описаны технические данные приемных оборудований (антенны, тюнеры, TeleCARD и т.д.) и список телевизионных каналов передач.

Рассмотренные в этой выпускной работе вопросы касаются непосредственно основ телевидения, основ построения цифровых телевизионных систем стандарта DVB-T, основ работы их функциональных узлов и блоков.

Телевидение в настоящее время переживает революционный бум, обусловленный развитием и применением высоких технологий в оптоэлектронике, микроэлектронике, цифровых методов обработки изображений, использованием спутниковых и оптоволоконных каналов связи и т.п.

Широкое распространение компьютеров и Интернет, а с другой стороны – бытовых видеокамер и другой видеотехники привело к тому, что производство и распространение аудиовизуальной информации становятся доступными массовому пользователю. Одна из важнейших областей применения компьютеров в телевидении – системы редактирования и монтажа видеоматериалов и подготовки телевизионных программ.

В системах интерактивного ТВ пользователь имеет возможность взаимодействовать на источник принимаемой им ТВ-программы, передавая команды или данные по обратному каналу на головную станцию системы. Интерактивные телевизионные системы смогут предоставлять своим абонентам ряд новых услуг:

- передачу видеопрограмм по заказу абонентов (Video-on-Demand – Видео по заказу);
- образование и обучение, доступ к библиотекам и базам данных;
- заказ покупок и выполнение банковских операций на дому;
- участие в телеиграх, конкурсах, викторинах и т.д.;
- участие в конференциях, голосовании, аукционах и т.п.

Цифровое телевидение дает возможность передавать видеоизображение высокой четкости, а также предоставлять услуги многопрограммного телевидения. В связи с этим, для обеспечения пользователям сети цифрового телевидения, было создано отдельное предприятие ООО «UzDigital TV», которое оказывает и предоставляет весь круг цифровых услуг по всей республике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М.: Радио и связь, 1989 г.
2. Барабаш П.А., Воробьев С.П., Махровский О.В., Шибанов В.С. Мультисервисные сети кабельного телевидения / Под ред. В.С. Шибанова. СПб.: Наука, 2000.
3. Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400с., илл.
4. Бушминский И.П., Кузнецов Д.И., Романов А.А., Тюхтин М.Ф. Приемные системы спутникового телевидения / Под ред. М.Ф. Тюхтина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
5. Видеомагнитофоны VHS PAL и SECAM / Ж. Эрбен; Пер. с фр. М.: ДМК Пресс, 2004.
6. И. В. Шахнович: Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополненное. М.: Техносфера, 2006 г.-288 с.
7. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов, 2-е изд., переработанное и дополненное / В.Л.Карякин. - М.: САЛОН-ПРЕСС, 2013. – 448 с.
8. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.
9. Проектирование и техническая эксплуатация телевизионной аппаратуры: Учебное пособие для вузов / В.Н. Безруков, В.С. Беляев, Г.Т. Дерibas и др./ Под ред. С.В. Новаковского. М.: Радио и связь, 1994.
10. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника. / Пер. с чешск. под ред. Л.С.Виленчика. М.: Радио и связь, 1990.
11. Пясецкий В. В. Цветное телевидение в вопросах и ответах. Мн.: Полымя, 1994.

12. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 464 с.: ил.

13. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. - М.: «Горячая линия-Телеком», 2001. – 224 с.: ил.

14. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Н.А. Ерганжиев и др. / Под ред. В.Е. Джаконии. - 6-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1997.

15. Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T) / Европейский стандарт цифрового телевидения DVB-T. ETS 300 744: 1997-08.

16. <http://infocom.uz/>

17. [www.ccitt.uz/](http://www.ccitt.uz/)

18. [www.uzdtv.uz/](http://www.uzdtv.uz/)

# ПРИЛОЖЕНИЯ



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НУКУСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

Выпускная квалификационная работа на тему:  
Исследование построения системы цифрового телевидения  
стандарта DVB-T

Выпускник: Студент группы 4В-курса по  
направлению «Телекоммуникация»  
Ллгай Д.А.

Руководитель: д.т.н., с.н.с. Каппбергенов Б.Т.

НУКУС-2014



## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

**ВВЕДЕНИЕ**

**ГЛАВА 1. ОБЩИЙ ОБЗОР ЦВЕТНОГО И ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

**ГЛАВА 2. СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T**

**ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T В УЗБЕКИСТАНЕ**

**ГЛАВА 4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

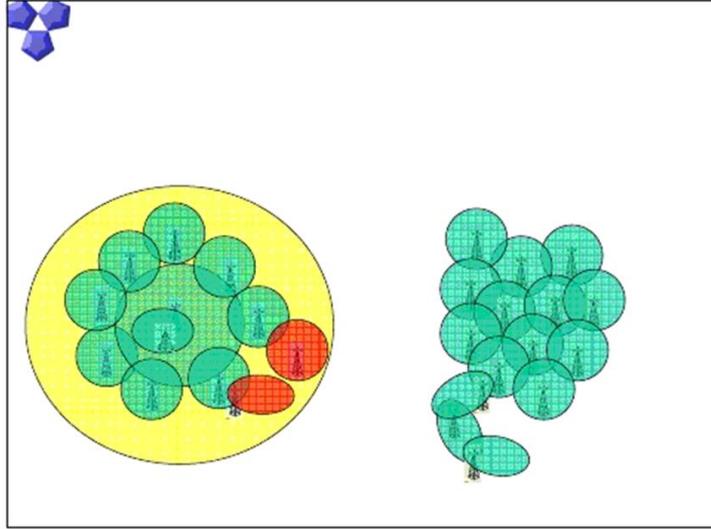


## СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО И ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

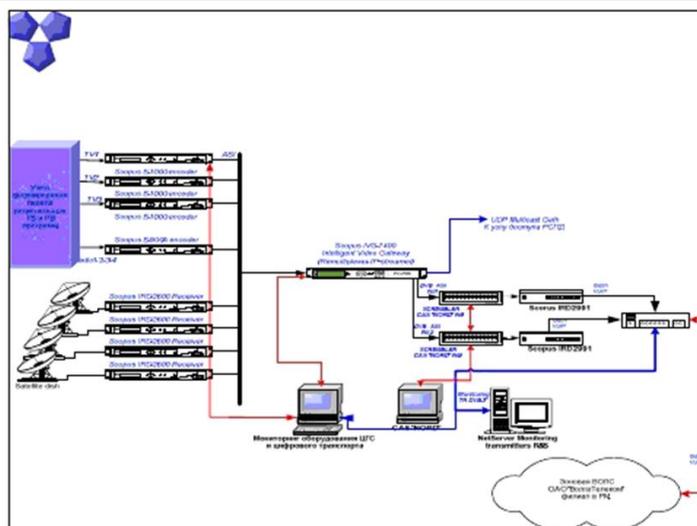
---

NTSC (National Television Standards Committee)	- США
PAL (Phase Alternation Line)	- ФРГ
SECAM (SEquential Couleur Avec Memoire)	- Франция
ATSC (Advanced Television Systems Committee)	- США
ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)	- Япония
DVB (Digital Video Broadcasting)	- Европа
DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable)	- Европа
DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)	- Европа
DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)	- Европа
DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld)	- Европа

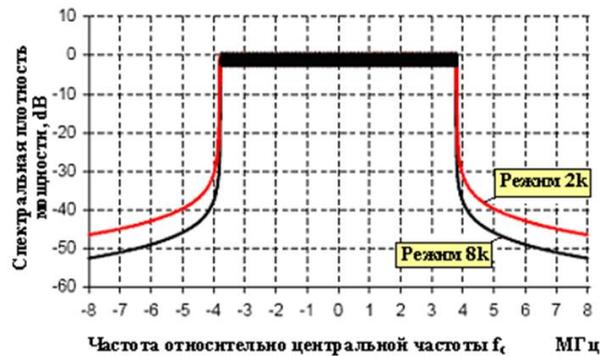
## ПРИМЕР ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ СЕТИ DVB-T



# ОБЩАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОЙ СТАНЦИИ DVBT



## СПЕКТР СИГНАЛА OFDM



## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМЫ DVB-T

- высокое качество изображения;
- стереозвук и звук в формате 5.1;
- уменьшение мощности передатчика;
- расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры;
- создание интерактивных ТВ систем, при использовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (- высвобождение диапазона радиоволн, в котором можно например, видео по запросу);
- высвобождение диапазона радиоволн, в котором можно будет создать новую беспроводную сеть.



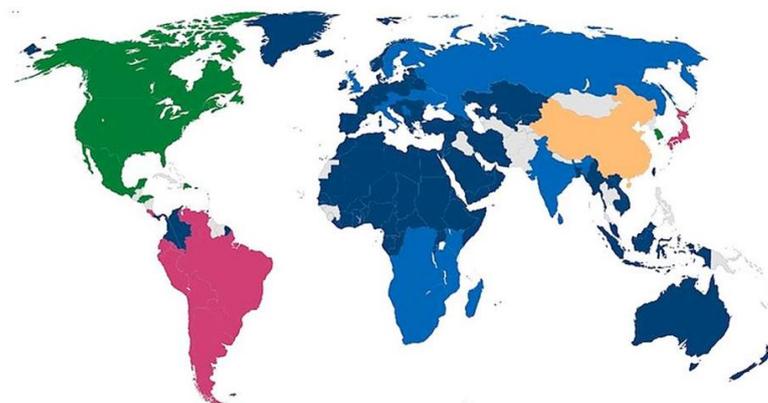


## ЭТАПЫ ПЕРЕХОДА НА ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВЕЩАНИЕ В УЗБЕКИСТАНЕ

---

- 1-этап: Развитие сети наземного цифрового вещания 2012-2015 годы. С помощью установки передатчиков цифрового телевидения. То есть на первом этапе предусматривается охват цифровым телевидением областных центров и крупных городов;
- 2-этап: Развитие сети цифрового вещания в удаленных и труднодоступных населенных пунктах Республики Узбекистан. 2015-2017 годы с использованием спутниковой связи. Во втором этапе планируется полностью обеспечить доступ населения страны к услугам цифрового телевидения.

## КАРТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В МИРЕ



DVB-T ■ DVB-T2 ■ ATSC ■ ISDB-T ■ DTMB ■



## АНТЕННА НАРУЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ (DMB)

---



## ТЮНЕР FT-6144IR

---



## УСТРОЙСТВО TELECARD

---





## КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧ ПАКЕТА "БАЗОВЫЙ"

---

1. УЗБЕКИСТАН
2. ЁШЛАР
3. ТАШКЕНТ
4. СПОРТ UZ
5. МАДАНИЯТ ВА МАЪРИФАТ
6. ДУНЁ БУЙЛАБ
7. БОЛАЖОН
8. НАВО
9. UZ HD FORMAT SD
10. КИНОТЕАТР
11. ОИЛАВИЙ
12. ДИЁР

## КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧ УСЛУГИ IPTV (61-национальных и зарубежных каналов)

1. Узбекистан
2. Ёшлар
3. Ташкент
4. Спорт UZ
5. НАВО
6. БОЛАЖОН
7. ДИЁР
8. Кинотеатр
9. Дунё бўйлаб
10. Маданият ва маърифат
11. Uz HD Format SD
12. Осиёвий
13. ТВ3
14. Россия 1
15. Звезда
16. Россия культура
17. Fashion
18. Спорт 1
19. Дом кино
20. Nat Geo
21. Disney
22. НТВ киноклуб
23. Охота и рыбалка
24. НТВ
25. ОРТ
26. Россия 2
27. Eurosport
28. Euronews
29. Animal Planet
30. НТВ+ Премьера
31. НТВ+ Кинохит
32. NTV+Football
33. 1 муз
34. Discovery Channel
35. Россия 24
36. History viasat
37. RUTV
38. TV1000ru
39. Muz TV
40. Детский Мир
41. НОВОЕ КИНО
42. Discovery Science
43. Карусель
44. АВТО ПЛОС
45. 24 техно
46. Nat.Geo.wild
47. Клуб Путешествий
48. TV1000
49. Sport 2
50. Viasat Explorer
51. Наше Кино
52. Кинопоказ
53. Индия
54. МТР
55. РЕТРО
56. Планета РТР
57. Style TV
58. ТВЦ
59. РЕК
60. NTV sport online
61. Telecafe

## РЕГИОНЫ УЗБЕКИСТАНА В КОТОРЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ НАЗЕМНОЕ ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВЕЩАНИЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

- г. Ташкент;
- Ташкентская область;
- Бухарская область;
- Самаркандская область;
- Хорезмская область;
- Андижанская область;
- Ферганская область;
- Наманганская область;
- Кашкадарьинская область;
- Республика Каракалпакстан;
- Навоийская область;
- Сырдарьинская область;
- Джизакская область;
- Сурхандарьинская область.

## КАРТА РЕГИОНОВ УЗБЕКИСТАНА, В КОТОРЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТРАНСЛЯЦИЯ ПЕРЕДАЧ УСЛУГ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ





## СОСТОЯНИЕ ВЕЩАНИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАРАКАЛПАКСТАН

---

По состоянию 2014 года в Республике Каракалпакстан г.Нукусе установлена одна передающая станция цифрового телевидения модели NV8604V производства фирмы Rohde&Shwarz изготовленная в Германии. Данный передатчик цифрового телевидения расположен на башне Нукусского РТС принадлежащий Каракалпакскому радио-телевизионному передающему центру (КК РТПЦ), Н=142м. Эта станция транслирует 12 национальных телевизионных программ по городам Нукус, Тахиаташ, а также районам Ходжейли, Нукус и Кегейли на 46-ом телевизионном канале (ТВК) с шириной 8 МГц. Мощность данного передатчика составляет 2,3 кВт.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены стандарты цветного и цифрового телевидения такие как, NTSC, PAL, SECAM, ATSC, ISDB, DVB-C, DVB-S, DVB-H и DVB-T, история их расширения и общий обзор развития поколений телевидения. А также, описаны и изучены структура, принципы построения системы цифрового телевидения стандарта DVB-T. В работе приведены основные характеристики стандарта DVB-T, рассмотрены обработка данных, сигналов и модуляция в системе DVB-T. Приведены основные аспекты перехода Узбекистана на цифровое телевидение, рассмотрены основные тенденции развития цифрового телевидения стандарта DVB-T, подробно описаны технические данные приемных оборудований (антенны, тюнеры, TeleCARD и т.д.) и список телевизионных каналов передач.