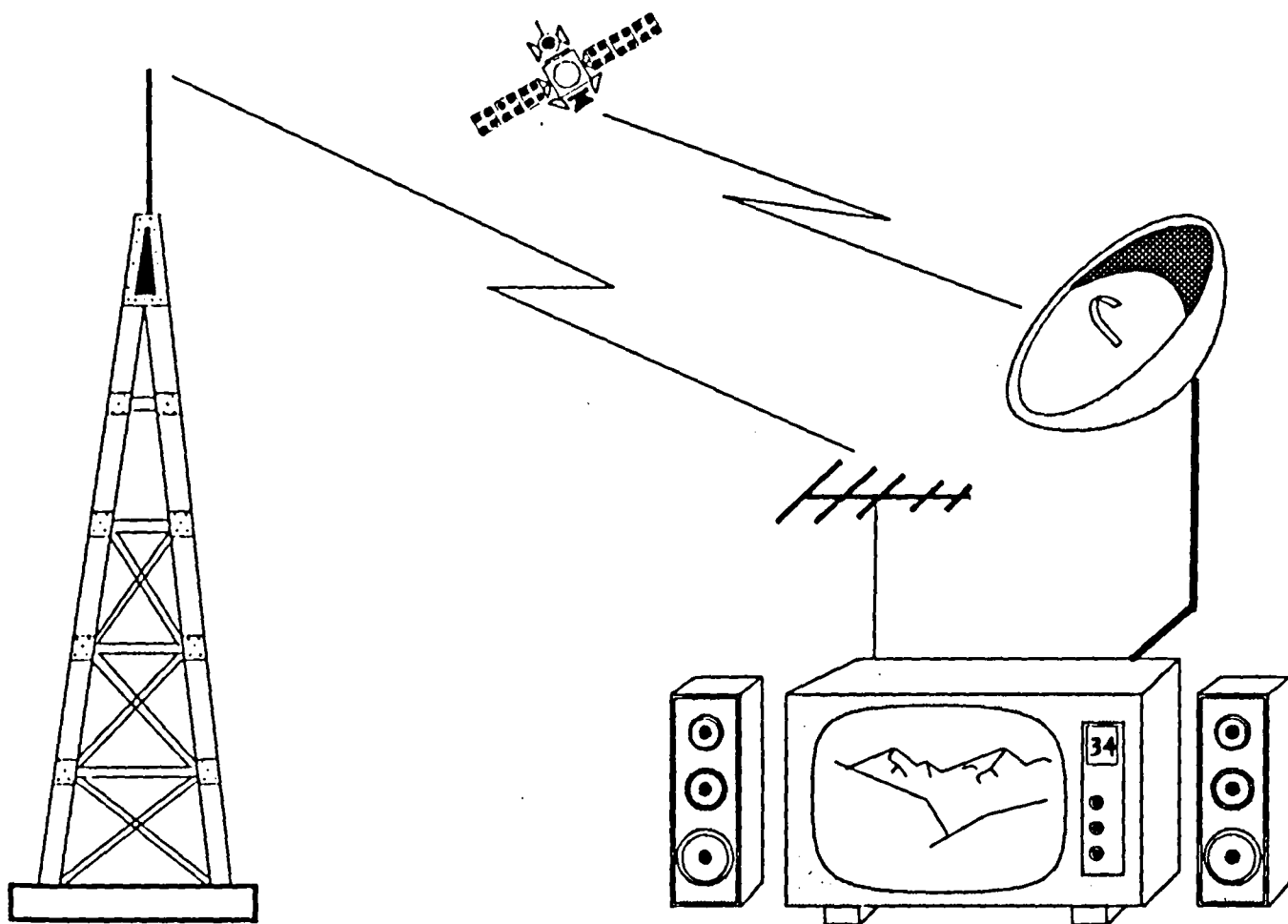




МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

# РЕКОМЕНДАЦИИ МККР, 1992 г.

(Новые и пересмотренные на 15 сентября 1992 г.)



Серия RBT

## ВЕЩАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА (ТЕЛЕВИДЕНИЕ)



МККР МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ ПО РАДИО

ISBN 92-61-04589-8



Женева, 1992 г.

© МСЭ 1992

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена или использована в какой бы то ни было форме или с помощью каких-либо средств, электронных либо механических, включая изготовление фотокопий и микрофильмов, без письменного разрешения МСЭ.



## Recommendation 798 (1992)

### Digital television terrestrial broadcasting in the VHF/UHF bands [Russian version]

Extract from the publication:  
*CCIR Recommendations: RBT series: Broadcasting Service (Television)*  
(Geneva: ITU, 1992), pp. 11-34

This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ 798

## НАЗЕМНОЕ ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ В ДИАПАЗОНАХ ОВЧ/УВЧ\*

(Вопрос 121/11)

(1992)

МККР,

*учитывая,*

- a) что Вопрос 121/11 касается наземного вещания сигналов цифрового ТВ [ТВЧ];
- b) что наземное цифровое телевизионное вещание (включая ТВЧ) в некоторых странах может быть введено в диапазонах ОВЧ/УВЧ;
- c) что диапазоны ОВЧ/УВЧ в настоящее время используются для аналогового телевизионного вещания (Рекомендация 470) и что в некоторых странах эти диапазоны используются довольно интенсивно;
- d) что, следовательно, наземные диапазоны ОВЧ/УВЧ будут, вероятно, использоваться совместно как аналоговым, так и цифровым телевизионным вещанием,

*рекомендует,*

1. чтобы наземное цифровое телевизионное вещание было совместимо с каналами (6, 7 и 8 МГц), предназначенными для излучения сигналов аналогового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ;
2. чтобы наземное цифровое телевизионное вещание не создавало — это является целью — более интенсивных субъективно воспринимаемых помех, чем те, которые считаются допустимыми в действующих в настоящее время вещательных службах в диапазонах ОВЧ/УВЧ;
3. чтобы наземное цифровое телевизионное вещание обладало достаточной невосприимчивостью к помехам для обеспечения возможности сосуществования с действующими в настоящее время вещательными службами в диапазонах ОВЧ/УВЧ.

*Примечание 1.* — Сведения о современном состоянии развития наземного цифрового телевизионного вещания приведены в приложении 1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Наземное цифровое телевизионное вещание в диапазонах ОВЧ/УВЧ

## 1. Введение

Большинство существующих вещательных организаций использует наземные системы излучения, функционирующие в диапазонах ОВЧ/УВЧ. Однако следует рассмотреть и учитывать в расчете на будущее методы, которые могут быть использованы для цифрового кодирования сигналов изображения телевидения высокой четкости и сигналов звукового сопровождения при передаче их наземными передатчиками.

Входные и выходные сигналы телевизионных систем, то есть в телекамере и в телевизоре соответственно, по своей природе являются аналоговыми. Поэтому естественно ставится вопрос: «Зачем цифровое?» телевизионное вещание. Искажения аналогового сигнала накапливаются, и их трудно отличить от видеоинформации. Напротив, благодаря способности цифровых импульсных последовательностей к полному восстановлению цифровые сигналы становятся теоретически невосприимчивыми к искажениям, вызываемым внешними источниками. Биты нескольких цифровых потоков могут перемежаться. Эта процедура позволяет наряду с видеоданными излучать, передавать, записывать или обрабатывать дополнительные сигналы. В случае сжатия видеоданных сокращение избыточности наиболее эффективно осуществляется в цифровой области, и этот путь видится как выбор для наземного вещания ТВЧ.

\* ОВЧ/УВЧ телевизионное вещание осуществляется в диапазонах I—V.

Некоторые администрации уже начали работы по разработке систем наземного цифрового телевизионного вещания. Целевые показатели качества в этих разработках охватывают диапазон от обычного телевидения до ТВЧ. В настоящем приложении термин «наземное цифровое телевизионное вещание» применим ко всем этим разновидностям служб.

Проектирование системы наземного цифрового телевизионного вещания требует использования перспективных методов кодирования источника, канального кодирования и модуляции в сочетании с тщательным анализом в области частотного планирования. Кроме того, важно учитывать аспект гармонизации с другими средствами информации.

Следует отметить, что многие из концепций такой системы, ее методы и «узкие» места, которые описаны ниже под заголовками, относящимися к различным географическим регионам, справедливы в мировом масштабе и в настоящее время изучаются в ходе всех разработок.

## 2. Разработки в Европе

### 2.1 Введение

В Европе накопился значительный опыт в области сокращения цифрового потока и цифровых методов модуляции применительно к изображению и звуку. В результате работы, проведенной по нескольким европейским совместным проектам, таким как EUREKA 256, RACE HIVITS, а также в рамках СМТТ, разработаны европейские стандарты для обмена телевизионными программами в цифровой форме с использованием отдельных видеосигналов с потоком 34—45 и 140 Мбит/с. Целью отдельного проекта EUREKA VADIS является разработка техники распределения сигналов цифровых видеосистем с потоком до 10 Мбит/с, имея в виду последующую стандартизацию в ИСО. Кроме того, много работы уже проделано по системам цифрового радиовещания (ЦРВ), и здесь проведен ряд весьма успешных демонстраций.

Многие европейские лаборатории продолжают активно работать в области сокращения цифрового потока, причем интерес к использованию результатов этих работ в телевизионном вещании непрерывно растет. В настоящее время появились предложения по новому крупному совместному проекту в рамках программы RACE Task 813 для координации этой работы и разработки методов, пригодных для наземного цифрового телевизионного вещания. Целью проекта ставится комбинирование методов кодирования источника и канального кодирования с использованием перспективных методов модуляции, а также рассмотрение вопросов частотного планирования с учетом конкретных условий перегрузки вещательных диапазонов ОБЧ/УВЧ в Европе. Работа по наземному цифровому вещанию ТВЧ ведется также в Швеции и Норвегии.

### 2.2 Текущая деятельность

#### 2.2.1 Работы в Швеции и Норвегии

Организация «Swedish Telecom» в сотрудничестве с «Norwegian Telecom» и Шведской радиовещательной корпорацией начала разработку опытной системы наземного цифрового ТВЧ. Она будет использоваться для проведения экспериментов и демонстраций с помощью ТВ передатчиков, причем первый этап проекта должен быть завершен к середине 1992 года.

Важное значение разработки системы ТВЧ, которая была бы также пригодна для наземных сетей, объясняется тем, что эти сети еще долгое время будут использоваться для обслуживания большей части населения; кроме того, они позволят осуществлять региональные эфирные передачи. Такую систему можно также будет приспособить для других средств передачи, таких как кабельные и спутниковые телесети и будущие широкополосные сети. С точки зрения пользователя важно выработать такое решение, которое не устареет в будущем и будет основано на использовании единого типа приемника для всех средств передачи.

Шведско-норвежский проект должен рассматриваться с учетом вышеуказанных соображений. Основной целью проекта является накопление знаний по цифровым методам излучения сигналов ТВЧ и демонстрация соответствующих возможностей. На втором этапе усилия будут сосредоточены на системных аспектах и на совершенствовании различных подсистем.

#### 2.2.2 Разработки в Соединенном Королевстве

В Соединенном Королевстве фирма «National Transcommunications Ltd. (NTL)» по заказу организации «Independent Television Commission (ITC)» выполняет сейчас крупную исследовательскую программу SPECTRE (Special Purpose Extra Channels for Terrestrial Resolution Enhancements — «Дополнительные каналы специального назначения для повышения разрешения при наземном вещании»).

Целью программы является определение наиболее эффективного использования всего тракта наземного вещания с помощью цифровых методов, позволяющих в максимальной степени воспользоваться избыточностью современной УВЧ-сети/ПАЛ, которая планировалась для аналоговой передачи еще в 1961 году. В задачу исследований входит создание таких методов цифровой передачи, которые могли бы сочетаться со стандартными 8-МГц телевизионными УВЧ-каналами и могли бы сосуществовать с действующими службами ПАЛ. В число

исследуемых вопросов входит кодирование видеосигналов с малым цифровым потоком и с учетом требований к качеству службы, а также цифровые методы модуляции и передача сигналов дополнительных каналов в существующих вещательных диапазонах.

### **2.2.2.1 Кодирование видеосигналов с малым цифровым потоком и качество службы**

Разрабатывается метод кодирования с гибридным дискретным косинусным преобразованием (ДКП) и компенсацией движения. Для конкуренции с высококачественными спутниковыми распределительными системами цифровая наземная служба высокого качества должна обеспечивать передачу изображений с форматом кадра 16:9 при минимальной разрешающей способности источника 720 x 576 отсчетов в кадре (сигнал яркости).

Как показали последние эксперименты по сокращению цифрового потока таких изображений с использованием гибридного ДКП на основе кодирования с предсказанием/интерполяцией и компенсацией движения, высокое качество изображения может обеспечиваться для большинства сюжетов вещательного телевидения при потоке приблизительно 12 Мбит/с.

При отсутствии ошибок передачи качество изображения будет таким же, как и при кодировании с малым цифровым потоком на основе сокращения избыточности. Такое качество не является неизменным, оно в значительной мере зависит от статистики содержания кодируемых изображений. С учетом этого продолжаются работы по методам оценки критичности последовательностей изображений с целью разработки методов определения качества службы в условиях использования кодирования изображений с малым цифровым потоком.

### **2.2.2.2 Цифровые методы модуляции**

Исследования показали, что единственный способ достичь частотного совмещения цифровых передач с существующими аналоговыми службами — излучать цифровой сигнал с очень низким уровнем, исключая помехи от него. Цифровой сигнал может иметь малую мощность, поскольку — если не учитывать фактора помех — типичное отношение несущая/шум для осуществления приема составляет около 15 дБ; в аналоговой телевизионной службе для получения качества изображения, оцениваемого в 4 балла, необходимо отношение несущая/шум свыше 40 дБ. При более низком коэффициенте шума приемника, возможном в настоящее время, цифровой сигнал можно было бы передавать с уровнем мощности на 30 дБ ниже мощности обычного аналогового телевизионного сигнала при обеспечении такой же зоны обслуживания. Однако такой маломощный цифровой сигнал будет приниматься в весьма неблагоприятной помеховой обстановке, и поэтому важно выбрать наиболее подходящий метод модуляции.

В качестве конкретного метода для исследований использовался метод ортогонального частотного разделения каналов (ОЧРК). Он заключается в использовании большого числа несущих, равномерно разнесенных по частоте, причем каждая несущая модулируется одним из методов цифровой модуляции, таким как метод 4-ФМ. Общий спектр сигнала ОЧРК надлежащим образом аппроксимирует прямоугольный спектр, который соответствует условиям многолучевого распространения радиоволн, поскольку длительность битового периода каждой несущей значительно превышает время задержки типичных отражений. Более того, небольшие участки спектра излучения могут быть значительно подавлены, например в области несущих изображения и звука аналогового ТВ сигнала совмещенного канала; это обеспечит защиту от помех для аналоговых и цифровых служб.

### **2.2.2.3 Передача сигналов дополнительных каналов в существующих вещательных диапазонах**

В цифровой службе могут допускаться очень высокие уровни помех от аналоговой службы, что позволяет значительно уменьшить расстояние между зонами аналоговой и цифровой служб, пользующихся одинаковыми частотами. Исследования на сегодняшний день показали, что в большинстве местоположений основных передатчиков можно организовать до четырех цифровых каналов. Эти исследования продолжаются.

Ситуация в отношении ретрансляционных станций более сложная, поскольку они занимали бы частоты, которые иначе можно было бы выделить для цифровых передач. Тем не менее уже сейчас есть данные о том, что, вероятно, будут иметься возможности изыскать каналы для новой цифровой службы в большей части действующих станций в Соединенном Королевстве. Можно ожидать, что наибольшие трудности возникнут с расположенными в прибрежных районах передатчиками, имеющими короткую трассу морского распространения радиоволн к соседней стране.

### **2.2.2.4 Результаты**

Проводимые в Соединенном Королевстве исследования показали, что техника цифрового телевидения, по-видимому, способна обеспечить более эффективное использование спектра УВЧ-вещания и, возможно — значительное число дополнительных каналов, которые могут совмещаться в вещательном диапазоне с действующими телевизионными службами.

К настоящему времени изучен только метод 4-ФМ применительно к ОЧРК-несущим. Проявляется интерес к методам модуляции более высокого порядка, в частности к 16-уровневой модуляции, поскольку они позволяют передавать цифровой поток 24 Мбит/с (с учетом коррекции ошибок) в 8-МГц наземном УВЧ-канале.

Полученный на сегодня опыт показывает, что поток 12 Мбит/с обеспечивает качество, сравнимое с качеством системы МАК; для изображений повышенной четкости, пригодных для отображения на больших экранах, потребуется, вероятно, поток приблизительно 24 Мбит/с. Ясно, что может существовать большое число промежуточных вариантов, основанных на компромиссе между помехозащищенностью и качеством изображения. Исследования продолжаются.

### 2.2.3 Проект EUREKA VADIS (кодирование источника)

В рамках европейской программы совместных исследований EUREKA возникло новое важное начинание в области цифрового ТВ: проект EUREKA 625. Более 30 организаций 12 различных европейских стран договорились о сотрудничестве в разработке техники кодирования источника, позволяющей довести полностью цифровое телевидение до жилищ и офисов.

Проект известен по акрониму VADIS (Video-Audio Digital Interactive System). Слово «interactive» («интерактивный») отражает намерение авторов проекта создать возможности для внедрения новых аудиовизуальных служб, а также улучшить качество изображения и увеличить число программных каналов для телевизионного вещания.

Проект VADIS станет крупным источником материалов для деятельности по международной стандартизации, такой, как текущие работы группы MPEG ИСО.

Цифровое ТВ предоставляет множество преимуществ в отношении качества и гибкости, однако в исходном виде требует гораздо большей полосы частот, чем используемые сейчас аналоговые сигналы. В рамках проекта должны быть разработаны сложные методы кодирования для «сжатия» цифровых видеосигналов в 20—40 раз при практически полном сохранении исходного качества. Такое сжатие позволит цифровым устройствам памяти, сетям электросвязи, ОВЧ/УВЧ-каналам наземного вещания или спутниковым каналам реализовать новые цифровые аудиовизуальные службы.

В проекте принят «обобщенный» подход к работе, имеющий своей целью выработку решения, которое может найти широкое применение. Первоначальные исследования будут проводиться путем компьютерного моделирования; полевые испытания экспериментального оборудования планируются на 1993 год.

Работа по проекту разделена на пять рабочих направлений:

- «требования» (в задачу этой Рабочей группы входит определение требований для ряда применений, которые должны быть рассмотрены по проекту VADIS);
- «алгоритмы»;
- «системные аспекты» (основной задачей этой Рабочей группы является определение метода мультиплексирования потока видеоданных, нескольких звуковых данных и других данных в единый цифровой поток при сохранении синхронности звуковой и видеoinформации);
- «демонстрационные средства/СВИС»; и
- «полевые испытания», запланированные на 1993 год, с использованием лабораторных опытных образцов.

### 2.2.4 Европейский проект RACE 813 (канальное кодирование и модуляция)

Учитывая особые европейские условия, которые характеризуются высокой степенью ориентации на строго координированное частотное планирование, применительно к цифровому телевизионному вещанию должны быть проведены специальные исследования осуществимости наземного цифрового вещания. В настоящее время основные европейские вещательные организации и фирмы-изготовители бытовой аппаратуры подготавливают проект в этой области. Некоторые участники данного проекта уже реализовали ряд изделий и сделали капиталовложения с этой целью, поэтому здесь необходима структурная координация.

Главная цель проекта — способствовать принятию европейского стандарта и созданию соответствующей техники для службы наземного цифрового телевизионного вещания. Общую стратегию по внедрению службы должна разработать Европейская стратегическая группа; эта стратегия уже разрабатывается с участием промышленных и вещательных организаций и ЕСВ.

Проект, в котором основное внимание уделено модуляции/кодированию в канале и аспектам вещательных систем, охватывает следующие вопросы.

Во-первых, проведение широкого исследования всех возможных значений цифровых потоков, совместимых с существующими наземными ОВЧ/УВЧ-каналами, чтобы определить, какие цифровые вещательные видеослужбы и аппаратура реализуемы. Цель такого исследования — гарантировать, что будут учтены все возможные в будущем варианты, такие как увеличение числа ТВ каналов и/или повышение качества изображения.

Во-вторых, в качестве первого шага в спецификации службы/аппаратуры будут созданы демонстрационные средства для показа ТВ программ, ориентированные на портативные, то есть на автономные или легко перемещаемые приемники. Эти демонстрационные средства будут способствовать исследованиям аспектов, связанных со структурами сетей, возможностей введения в будущем новых служб, аспектов распределения частот, а также анализу топографии кристаллов. Все это имеет целью организацию службы, имеющей более высокое качество, чем службы современных систем ПАЛ и СЕКАМ, и способной передавать изображения формата 16:9.

Проект рассчитан главным образом на ТВ вещание в ОВЧ/УВЧ-каналах, при этом имеется в виду, что в дальнейшем будет исследовано применение полученных результатов для других информационных средств с ограниченной полосой частот. Проект подразделен на семь рабочих направлений: управление и координация; системные вопросы и требования; кодирование и модуляция в канале; архитектура мультиплексирования и сетевые аспекты; испытания и измерения; создание демонстрационных средств; разработка интегральных схем.

Предполагается, что форматы цифровых видео- и звуковых сигналов будут разработаны и специфицированы в рамках какого-то другого проекта или некоей другой группой. Поэтому в указанном проекте качественные показатели оцениваются главным образом на основе доступных потоков данных и получаемых коэффициентов ошибок передачи.

К числу условий, которые должны быть реализованы, относится условие достаточной гибкости цифрового мультиплексирования, чтобы была обеспечена совместимость с различными применениями или различными конфигурациями служб, а также возможность введения будущих модификаций. Система должна быть спроектирована таким образом, чтобы последующий переход к телевидению высокой четкости был возможен в условиях совместимости. В работе заняты 22 участника из семи стран.

### **3. Разработки в Северной Америке**

#### **3.1 Введение**

Соединенные Штаты Америки и Канада находятся в процессе выбора стандарта, который позволил бы организациям наземного вещания создать службу «перспективного телевидения». В обеих странах осуществляется большая программа широких совместных испытаний, которая будет продолжаться до лета 1992 года.

В США Федеральная комиссия связи (ФКС) создала Консультативный комитет по службе перспективного телевидения (ACATS), которому поручено разработать технический отчет по предлагаемым системам и подготовить рекомендации для ФКС. Окончательный выбор будет произведен ФКС в первой половине 1993 года.

ФКС постановила, что в ТВЧ должны использоваться 6-МГц ОВЧ/УВЧ-каналы, используемые сейчас обычным телевидением. Таким образом, будут совместно работать каналы обычного ТВ и дополнительные каналы ТВЧ, создавая друг другу помехи в диапазонах ТВ.

В июне 1990 года ФКС была представлена на рассмотрение в качестве возможного стандарта США первая полностью цифровая система наземного вещания ТВЧ. Вслед за этим были разработаны и представлены для оценки еще три полностью цифровые системы. Параметры четырех предлагаемых систем приведены в § 3.6.2.

Утверждается, что полностью цифровая система действительно обеспечит качество на уровне высокой четкости без заметных искажений, вызываемых шумами или помехами в пределах всей зоны обслуживания, равной зоне обслуживания в системе НТСЦ. Вероятно, потребуется меньшая мощность излучения, а сигнал будет легче зашифровать.

#### **3.2 Кодирование источника**

##### **3.2.1 Введение**

Последние разработки в области СБИС существенно способствовали быстрому появлению различных цифровых методов сжатия спектра изображения применительно к ТВЧ. Значительный прогресс был достигнут в разработке методов перспективного телевидения, ориентированных на эфирное вещание. Основная цель цифрового сжатия спектра сигналов ТВЧ состоит в сокращении цифрового потока при сохранении приемлемого качества изображения. В ответ на появление многочисленных методов обработки изображения было разработано множество методов сжатия спектра, таких как дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ), полносное кодирование, включая кодирование с преобразованием, векторное квантование, гибридное кодирование и адаптивные варианты этих методов. Все они, как правило, основаны на изучении и использовании психофизической и статистической избыточности видеоданных в целях сокращения цифрового потока. В данном разделе представлен обзор некоторых цифровых методов сжатия спектра ТВЧ, которые используются в предлагаемых в США системах.



Основной целью кодирования источника является представление изображения как можно меньшим числом битов при сохранении уровня качества и различимости, необходимых для данного применения. Кодирование источника включает предсказание/компенсацию движения, спектральное преобразование, квантование и статистическое (энтропийное) кодирование. Эта процедура применяется к материалу источника изображения, давая результат с потерями, то есть часть информации об изображении теряется. Каждый из элементов указанного процесса пытается использовать избыточность, имеющуюся в источнике изображения, а также ограничения устройства отображения и человеческого зрения. Методы кодирования источника движущихся изображений далее могут подразделяться на внутрисюжетные/внутрикадровые и межсюжетные/межкадровые\* методы.

### 3.2.2 Внутрикадровое кодирование

Видеоизображение может рассматриваться как последовательность кадров, причем каждый из них является прямоугольником, состоящим из элементов изображения. При внутрикадровом кодировании каждый телевизионный кадр кодируется на основе информации, содержащейся только в этом кадре. При этом в кадре устраняется только пространственная избыточность. Тремя наиболее широко используемыми подходами к внутрикадровому кодированию являются следующие: кодирование с предсказанием, кодирование с преобразованием и векторное квантование.

Одним из широко используемых типов кодирования с предсказанием является ДИКМ. При ДИКМ предсказание уровня текущего элемента изображения получается на основе уровней одного или нескольких предыдущих закодированных элементов. Методы ДИКМ можно сделать адаптивными в отношении предсказания или квантования. Одним из важнейших преимуществ ДИКМ перед кодированием с преобразованием является его простота. Кроме того, при малых коэффициентах сжатия сокращение цифрового потока, которое можно обеспечить посредством кодирования самого сигнала, оказывается сравнимым с тем, что обеспечивает кодирование с преобразованием. Примером могут служить применения ТВЧ в студиях, где требуется высокое качество изображений.

При кодировании с преобразованием изображение переводится в область, которая значительно отличается от области его уровней, а полученные коэффициенты преобразования затем кодируются. При методах кодирования с преобразованием делается попытка уменьшить корреляцию, существующую между уровнями элементов изображения, более полно, чем это достигается при методах кодирования собственно сигнала. При уменьшенной корреляции нет необходимости повторно кодировать избыточную информацию. В процессе кодирования с преобразованием также используется наблюдение, что в случае типичных изображений значительная часть энергии концентрируется в небольшой части коэффициентов преобразования. Это явление называют свойством энергетической компактности. Благодаря этому свойству появляется возможность кодировать только небольшую часть коэффициентов преобразования без существенного изменения изображения. Другим полезным свойством такого преобразования является уменьшение корреляции между коэффициентами преобразования. Речь идет о свойстве уменьшения корреляции. Посредством правильного выбора базовой функции корреляция между коэффициентами может быть уменьшена. Одним из примеров преобразования является дискретное косинусное преобразование (ДКП), которое наиболее широко используется при кодировании изображений. При кодировании с ДКП изображение делится на множество субизображений, или блоков (обычно 8 x 8 элементов), причем каждый блок кодируется отдельно. Кодирование только одного блока в какой-то момент времени позволяет сделать кодер адаптивным к локальным характеристикам изображения. Например, метод выбора квантования и методы назначения битов могут различаться для частей изображения с однородным фоном и для границ. Чтобы воспользоваться преимуществами свойства энергетической компактности, широкое применение получили два подхода к определению того, какие коэффициенты преобразования подлежат кодированию; это — зональное кодирование и пороговое кодирование. В первом случае кодируются только те коэффициенты, которые находятся в определенной зоне; во втором случае коэффициенты преобразования сравниваются с некоторым порогом, и кодируются только те, которые выше этого порога. Отбор кодируемых коэффициентов преобразования зависит от локальных характеристик изображения и может управляться информацией о состоянии буферного ЗУ.

При полосном кодировании коэффициенты преобразования обычно вычисляют посредством свертки входного сигнала с импульсными характеристиками набора полосовых фильтров, подвергая результат дедиматизации (субдискретизации). Каждый субдискретизированный полосный сигнал представляет в кодированном виде определенную часть частотного спектра, соответствующую информации, которая относится к данному участку пространственной шкалы. Адаптивный алгоритм назначения битов, который распределяет биты между частотными полосами, делает метод полосного кодирования пригодным для самых различных изображений.

При векторном квантовании большой объем разнообразных изображений обрабатывается таким образом, чтобы получить конечное число векторов изображения (блоков изображения, подобных используемым при кодировании с преобразованием). В случае правильного отбора это конечное множество может быть использовано для восстановления первоначального изображения с небольшими искажениями. Например, кодирование с преобразованием может рассматриваться как способ нахождения тех векторов, которые могут быть представлены косинусными функциями малого порядка. При векторном квантовании передаваемое изображение

\* Различие в терминологии определяется использованием чересстрочной или прогрессивной развертки. В данном приложении такое различие не делается, поэтому используются только термины «внутрикадровый» и «межкадровый».

разлагается на векторы, а затем осуществляется опрос хранящегося набора векторов (или кодовой книги) для получения приемлемого сопряжения с каждым вектором источника. Сжатие достигается за счет передачи адреса вектора, а не данных изображения. Только благодаря последним исследованиям больших кодовых книг метод векторного квантования получил признание как мощный метод кодирования изображений.

Дальнейшее повышение эффективности кодирования достигается использованием статистического кодирования с переменной длиной слова в видеокоде/мультиплексоре, следующем за кодером источника. Результирующий цифровой поток при указанной методике кодирования является постоянным; степень сжатия данных зависит от эффективности кодирования. Однако канал передачи требует фиксированного потока. Поэтому выходной сигнал видеокодера/мультиплексора направляется в буфер, который регулирует поток видеоданных, превращая его в постоянный цифровой поток, и управляет различными параметрами, в том числе и квантованием.

Кодирование методом ДКП используется в системах «Диджисайфер», ЦСС-ТВЧ («Цифровое спектрально совместимое ТВЧ») и ПЦТ («Перспективное цветное телевидение»). Полосное кодирование применяется в системе АТВО-П.

### 3.2.3 Межкадровое кодирование

Во всех предложенных наземных цифровых системах вещания ТВЧ применяется межкадровое кодирование, которое позволяет обеспечить более высокую степень сжатия, чем при использовании только внутрикадрового кодирования, благодаря уменьшению временной избыточности соседних кадров. Для уменьшения временной избыточности кадров кодированию подвергается разность между фактическим текущим кадром и предсказываемым текущим кадром. Последний генерируется на основе информации о предыдущем и/или последующем кадре. При этом используется предсказание/компенсация движения для оценки текущего кадра, чтобы разность была как можно меньше. Информация о движении является частью необходимой информации для восстановления изображения, и эта информация должна надлежащим образом кодироваться и передаваться.

Все методы кодирования, упомянутые в предыдущем разделе, могут использоваться для кодирования разностных изображений. Кодированные видеоданные и данные движения дополнительно сжимаются с использованием переменной длины слова для достижения максимальной эффективности. Как и при внутрикадровом кодировании, постоянный цифровой поток может быть получен с помощью буфера.

Методы предсказания движения изображения могут быть, в общем, распределены на две группы, а именно — методы сопряжения блоков и методы пространственно-временных ограничений. Первый из них основан на исследовании небольшого участка видеокadra и поиске такого смещения, которое обеспечивает «наилучшее совмещение» всех возможных участков в соседнем кадре. Алгоритмы методов пространственно-временных ограничений базируются на уравнении пространственно-временных ограничительных условий.

Методы сопряжения блоков используются в системах «Диджисайфер», ЦСС-ТВЧ и ПЦТ; в системе АТВО-П применен метод пространственно-временных ограничений.

### 3.2.4 Квантование

Процедура назначения некоторой конкретной непрерывной скалярной величины одному из нескольких дискретных уровней называется квантованием. Если каждая скалярная величина квантуется независимо, то такая процедура называется скалярным квантованием. Если две или более скалярных величин квантуются совместно, то процедура называется векторным квантованием (ВК). Основное преимущество векторного квантования состоит в том, что с его помощью можно использовать статистические зависимости между скалярными величинами в блоке. В системе ЦСС-ТВЧ векторное квантование использовано для представления возможных комбинаций или структур квантователей, которые могут быть применены к данному блоку коэффициентов.

Для оптимизации кодирования источника во всех предлагаемых системах используется адаптивное квантование.

### 3.2.5 Статистическое (энтропийное) кодирование

С точки зрения статистики некоторые величины появляются чаще, чем другие. При этом появляется возможность назначить более короткое кодовое слово тем величинам, которые появляются чаще, а более длинное — тем, которые появляются реже. По теории информации энтропия — это теоретически минимально возможное среднее число битов, необходимое для кодирования сообщения. Одним из оптимальных методов формирования кодовых слов, который прост в применении, однозначно декодируется и обеспечивает минимальный средний цифровой поток, является кодирование по Хаффмену (кодирование с переменной длиной слова). Кроме того, при правильном опросе коэффициентов кодирования с преобразованием или коэффициентов полосного кодирования такие коэффициенты имеют тенденцию выстраиваться в порядке от больших к малым; в результате нулевые коэффициенты обычно группируются в виде одной длительной серии, которая может быть закодирована коротким кодовым словом.

Во всех предложенных цифровых системах ТВЧ энтропийное кодирование используется для кодирования коэффициентов как собственно изображения, так и вспомогательной для него информации.

### 3.2.6 Буфер

В результате статистического кодирования (кодирования с переменной длительностью слова) и адаптивного квантования цифровой поток при кодировании источника претерпевает локальные изменения. Для преобразования переменного входного цифрового потока в постоянный передаваемый выходной поток применяется буферное запоминающее устройство. Состояние буфера периодически вычисляется, а полученная информация передается в обратном направлении для установки уровней квантования.

Буферные ЗУ применяются во всех предложенных системах цифрового ТВЧ.

## 3.3 Канальное кодирование

### 3.3.1 Введение

Чтобы обеспечить передачу сигналов ТВЧ в полосе частот шириной 6 МГц четыре организации, предложившие в США свои системы цифрового ТВЧ, сокращают поток видеоданных ТВЧ до 15—17 Мбит/с, то есть коэффициент сжатия составляет приблизительно 60—70. Высокая степень сжатия данных требует применения канального кодирования, чтобы избежать блочных ошибок и многокадрового распространения ошибок. Необходимость высокой эффективности использования канала, вызванная ограничением ширины полосы до 6 МГц, означает, что канал должен быть надлежащим образом скорректирован и что многолучевое распространение радиоволн и мешающие сигналы должны быть существенно ослаблены. Канал наземного вещания является весьма непростым информационным средством, о чем свидетельствуют такие факторы ухудшения передачи обычного телевидения, как шум, повторные изображения, помехи и частотные искажения. В предлагаемых в настоящее время системах цифрового ТВЧ используется канальное кодирование для защиты передаваемых сигналов, которые должны быть правильно приняты. Методы канального кодирования, применяемые для уменьшения числа ошибок, включают перемежение данных, обнаружение/замещение ошибок и коррекцию ошибок, причем для битов и блоков различной значимости используются разные уровни защиты.

### 3.3.2 Мультиплексирование видеоданных, звукоданных и дополнительных данных

Эффективное значение цифрового информационного потока в различных проектах находится в пределах 15—17 Мбит/с для изображения (в зависимости от режима передачи), 0,5 Мбит/с для звука и 250—550 кбит/с для данных. Цифровые данные скремблируются (рандомизируются), чтобы частотный корректор приемника работал правильно и чтобы помеха превращалась в шумоподобный сигнал. В некоторых предложениях предусматривается перемежение данных, при котором пакетные ошибки в канале могут трактоваться кодеками с прямой коррекцией ошибок как некоррелированные одиночные ошибки. В предлагаемых системах цифрового ТВЧ в кадрах, суперкадрах и субкадрах данных используются различные объемы видеоданных, звукоданных и вспомогательных данных. Периодически вводятся синхронизирующие битовые последовательности, чтобы отметить границы этих данных и обеспечить подачу на процессор соответствующих потоков видеоданных, звукоданных и вспомогательных/текстовых данных и данных управления.

#### 3.3.2.1 Система «Диджисайфер»

Перед введением прямой коррекции ошибок в кодере строчный интервал для каждой пары видеострок содержит 848 информационных битов в режиме 16-КАМ и 1160 информационных битов в режиме 32-КАМ. Пара строк 1—2 содержит: 8 битов для управления доступом, 8 битов для вспомогательных данных, 32 бита для звукоданных, 24 бита для синхронизации, 40 битов для управления системой, остальные биты выделены для видеоданных. Пары строк с номерами от 3—4 до 1049—1050 содержат: 8 битов для управления доступом, 8 битов для вспомогательных данных, 32 бита для звукоданных; остальные биты выделены для видеоданных. Результирующий цифровой поток (до коррекции ошибок) составляет 13,34 Мбит/с для режима 16-КАМ и 18,22 Мбит/с для режима 32-КАМ.

#### 3.3.2.2 Система ЦСС-ТВЧ

Сигнал системы ЦСС-ТВЧ подвергается цифровому кодированию с потоком до 21,0 Мбит/с, или 2,69 Мбайт/с.

Передаваемые байты организованы в виде «кадров данных», временные границы которых совпадают с границами кадров НТСЦ. Один кадр данных содержит два «поля данных», причем он делится на 525 «сегментов данных» — в соответствии с «кадром», «полем» и горизонтальной строкой сигнала НТСЦ. (Эта новая терминология в области передачи сигналов исключает путаницу с терминами «кадр», «поле» и «строка», относящимися к сигналам источника и устройства отображения.)

Один сегмент данных содержит 171 байт, четыре из которых являются синхрословами. Первый из этих четырех байтов предназначен для синхронизации тактового генератора видеоданных в приемнике. Каждому полю данных предшествует синхросигнал поля данных, имеющий длительность одного сегмента данных и состоящий из псевдослучайных последовательностей. Этот сигнал используется для полевой синхронизации, а также в качестве обучающего сигнала для компенсатора отражений/канального корректора в приемнике. Остальная часть поля

данных занята программными и сервисными данными, к которым для обеспечения прямой коррекции ошибок добавляются байты кода Рида-Соломона (Р-С). Синхрослова не защищены кодом Р-С, но обладают своей собственной защитной избыточностью. Биты распределяются следующим образом: для видеоданных — от 8,6 до 17,1 Мбит/с, для звукоданных — 0,5 Мбит/с, для вспомогательных данных — 0,413 Мбит/с, для кода Р-С — от 1,3 до 2,4 Мбит/с, для синхрослов — от 0,292 до 0,544 Мбит/с и для незакрепленных данных — 0,04 Мбит/с — всего от 11,1 до 21,0 Мбит/с.

### 3.3.2.3 Система ПЦТ

В системе ПЦТ уровень транспортировки данных, базирующийся на переносе ячеек данных, обеспечивает приоритетную доставку видеоданных, благодаря чему становится возможной поэтапная деградация качества службы при неблагоприятных условиях в канале. Перенос ячеек обеспечивает логическую синхронизацию, что существенно для надежной доставки сжатых видеоданных, полученных методом кодирования с переменной длиной слова, при наличии ошибок передачи. Протокол транспортировки данных в системе ПЦТ обеспечивает также гибкость обслуживания для разнообразного сочетания служб передачи видеоданных, звукоданных и дополнительных данных. В системе выделено 14,98 Мбит/с для видеоданных, 512 кбит/с для звукоданных, 40 кбит/с для обычных данных и до 512 кбит/с для вспомогательных данных. Однако в системе ПЦТ мультиплексирование видео-, звуко- и прочих данных осуществляется гибко, так что полный цифровой поток можно перераспределять между этими данными по усмотрению.

Процедура «установления приоритета» идентифицирует такие сегменты информации, которые наиболее критичны в смысле «типа» элемента данных (элементы видеоданных включают в себя информацию о движении, тип блока, коэффициенты ДКП, параметры квантования и т. п.). Приоритетный процессор назначает каждому элементу данных различный приоритет в соответствии с правилом назначения. Назначение приоритета осуществляется динамически при реагировании на любое изменение загрузки канала. В общем, загрузка канала будет меняться во времени, поскольку сжатые видеоданные создают переменный выходной цифровой поток.

Формат транспортного уровня был разработан специально для обращения с информацией, выдвигающей различные требования к степени защиты от ошибок при использовании канала параллельного вещания. Формирование пакетов данных для обеспечения приоритетной транспортировки предусматривает сцепление и сегментацию полезной нагрузки с целью повышения эффективности использования канала и уменьшения влияния потерь полезной нагрузки на систему. Транспортный процессор асинхронно мультиплексирует полезные данные с различными приоритетами в базовые транспортные блоки, называемые ячейками. Ячейка напоминает пакет данных в обычных пакетных сетях современных систем передачи данных. Каждая ячейка имеет заголовок и концовку, замыкающую зону полезной нагрузки. Каждая ячейка имеет фиксированный размер и свои собственные биты защиты от ошибок. Следует отметить, что формат ячейки в системе ПЦТ легко преобразуется для использования в Ш-ЦСИС (широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб), что обеспечивает доступ к будущим информационным службам.

### 3.3.2.4 Система АТВО-П

Поток видеоданных 15,64 Мбит/с мультиплексируется с потоком 0,5 Мбит/с звукоданных для четырех цифровых звуковых каналов, вспомогательным потоком 0,126 Мбит/с дополнительных данных и потоком 0,126 Мбит/с данных управления доступом. С учетом коррекции ошибок результирующий цифровой поток равен 19,43 Мбит/с. Поток дополнительных данных предназначен для передачи кодированных (скрытых) субтитров или других цифровых данных. В передаваемый цифровой поток вводятся синхрослова для указания границ кадров данных. Такие сингулярные последовательности битов используются в приемнике для синхронизации кадров. Кодер в каждый момент времени производит кодирование одного кадра. Цифровые данные каждого кадра передаются в следующем порядке: кадровое синхрослово, векторы движения, данные звуковых каналов, дополнительные данные, коэффициенты модуляции и видеоданных. Такова базовая структура кадра данных, которая повторяется в каждом кадре.

Перед передачей цифровые данные обрабатываются скремблером, который рандомизирует поток передаваемых данных. Скремблер выполнен как линейный рекурсивный генератор с порождающим многочленом  $1 + \chi^{-18} + \chi^{-28}$ . Скремблирование цифровых данных необходимо для того, чтобы гарантировать довольно случайный характер передаваемых битовых последовательностей и чтобы адаптивный корректор приемника оставался в режиме правильной сходимости в периоды холостой передачи.

### 3.3.3 Защита от ошибок

В дополнение к способности обнаружения ошибок, которая присуща циклическим кодам с проверкой циклической избыточности, используемой в некоторых системах, во всех рассматриваемых системах применена прямая коррекция ошибок (ПКО). Во всех предлагаемых системах используется кодирование Рида-Соломона. Коды Рида-Соломона относятся к одному из нескольких классов блочного кодирования, известных своими мощными корректирующими способностями. Код Рида-Соломона с блоком длиной  $N$ , битами данных  $K$  и корректирующей способностью  $T$  или меньше может характеризоваться эффективностью (скоростью)  $K/N$  ( $t = T$ ).

В системе «Диджисайфер» применено кодирование Рида-Соломона с эффективностью 106/116 ( $t = 5$ ) для 16-КАМ и 145/155 ( $t = 5$ ) для 32-КАМ в дополнение к решетчатому кодированию с эффективностью 3/4 для 16-КАМ и 4/5 для 32-КАМ. Пороговое отношение  $C/I$  в системе составляет 12,5 дБ для 16-КАМ и 16,5 дБ для 32-КАМ, включая запас в 2,5 дБ на реализацию. На данные коррекции ошибок приходится 6,17 Мбит/с.

Сегмент данных в системе ЦСС-ТВЧ суммарно содержит 171 байт. При использовании четырех байтов для синхронизации каждого сегмента данных 167 байтов свободны для информации и защиты от ошибок. Двадцать байтов отводятся для кодирования Рида-Соломона с эффективностью  $147/167$  ( $t = 10$ ). Это дает возможность исправить до 10 ошибок в каждом сегменте данных, что составляет как раз половину числа байтов четности (нечетности). Порог визуально заметных ошибок достигается при отношении сигнал/шум 16 дБ в случае 4-уровневых данных и 10 дБ в случае 2-уровневых данных. Синхрослово «поля данных» (по вертикали) состоит из псевдослучайной последовательности, по длине равной одному «сегменту данных» (горизонтальной строке); оно служит также в качестве опорного сигнала для подавителя отражений/канального корректора в приемнике.

В системе ПЦТ кодированию Рида-Соломона подвергаются байты данных. В зависимости от приоритета доля корректирующих символов, добавляемых к данным, различна. Кроме того, в системе в качестве одной из операций канального кодирования осуществляется перемежение байтов данных. Это позволяет добиться того, что пакетные ошибки в канале могут рассматриваться как некоррелированные случайные битовые ошибки, которые, как правило, могут быть исправлены при применении кодов Рида-Соломона.

В системе АТВО-П для исправления ошибок при передаче применяется кодирование Рида-Соломона с эффективностью  $130/154$  ( $t = 12$ ). Пороговое отношение С/Ш в системе составляет 19 дБ, включая запас 2,5 дБ на реализацию. При таком отношении С/Ш за сутки может произойти всего одна необнаруженная ошибка. Поток символов коррекции ошибок составляет 3,59 Мбит/с. Распространение ошибок ограничено пределами одного блока, причем система способна восстанавливать синхронизм при каждом кадре.

### 3.4 Модуляция

#### 3.4.1 Введение

Уже давно известно о преимуществах передачи данных в цифровой форме по сравнению с аналоговой передачей. При цифровой передаче шум может помешать идеальной передаче только в том случае, когда он настолько велик, что может изменить «нули» на «единицы» и наоборот. Имеющиеся в настоящее время методы прямой коррекции ошибок разработаны достаточно хорошо, чтобы предотвратить искажение сигнала при случайной ошибке, которая может возникнуть при умеренных уровнях шума. Однако системы цифровой передачи должны работать с высокоскоростными потоками данных, которые генерируются при цифровом кодировании. Сигнал ТВ высокой четкости, кодированный с расходом 8 бит/отсчет, создает цифровой поток приблизительно 1 Гбит/с. Цифровое сжатие спектра (кодирование источника), исследуемое в США, уменьшает цифровой поток приблизительно до 17 Мбит/с, то есть коэффициент сжатия равен примерно 60. Техники для реализации такого уровня сжатия всего несколько лет назад просто не существовало.

#### 3.4.2 Методы цифровой модуляции

Цифровая модуляция возникла на базе более известных методов аналоговой модуляции, таких как амплитудная, частотная и фазовая. Методы цифровой модуляции впервые были разработаны для телефонных модемов и для спутниковой передачи данных. Несмотря на то что ширина полосы частот, используемая в этих двух случаях, меняется от звуковых частот до десятков мегагерц, они находятся в рамках одной и той же теории. Большие значения цифрового потока, необходимые для ТВЧ (приблизительно 20 Мбит/с после сжатия спектра и коррекции ошибок), в сочетании с требованием вместить излучаемый спектр в 6-МГц ТВ канал приводят к необходимости максимально возможного эффективного использования этого канала.

##### 3.4.2.1 Квадратурная амплитудная модуляция (КАМ)

Три из четырех предлагаемых цифровых систем («Диджисайфер», ПЦТ и АТВО-П) используют КАМ. 16-КАМ — это цифровой вариант квадратурной амплитудной модуляции, обеспечивающий передачу четырех битов одним символом ( $4 \text{ бит} \cdot \text{с}^{-1}/\text{Гц}$ ). На первом этапе цифровой поток приблизительно 20 Мбит/с преобразуется в поток 4-битовых слов, называемых символами. Число «16» в начале обозначения отражает тот факт, что имеется 16 возможных различных символов. Поток символов, естественно, составляет четвертую часть исходного битового потока, то есть около 5 Мсимвол/с. Простой ЦАП преобразует одну пару битов каждого символа в четырехуровневый сигнал, который подается через балансный модулятор, на второй вход которого подается несущая ВЧ (или ПЧ). Другая пара битов символа преобразуется аналогичным образом в четырехуровневый сигнал, который подается на второй балансный модулятор, работающий в квадратуре по отношению к первому, то есть имеет несущую, сдвинутую по фазе на  $90^\circ$ . Выходные сигналы обоих балансных модуляторов складываются для образования сигнала 16-КАМ с несущей (или промежуточной частотой) в качестве центральной частоты. Полученный выходной сигнал затем гетеродинируется на номинальную частоту передачи.

На приемной стороне также имеется два балансных модулятора, работающих от местного гетеродина (МГ) со сдвигом в  $90^\circ$  между модуляторами. МГ должен быть синхронизирован по фазе с несущей передатчика. В приемнике фаза несущей восстанавливается по передаваемым данным в результате сложного процесса с ис-

пользованием петель ФАПЧ, что здесь не рассматривается. Выходные сигналы балансных модуляторов не имеют прямоугольной формы, представляя собой сглаженный вариант четырехуровневого модулирующего прямоугольного колебания, что объясняется наличием фильтрации, учитывающей ограничение ширины радиоканала. В приемнике типа 16-КАМ синфазный и квадратурный сигналы (оба четырехуровневые) преобразуются раздельно в двухбитовые цифровые сигналы с помощью пары АЦП. Образующиеся при этом две пары битов мультиплексируются для получения некоей копии исходного цифрового потока 20 Мбит/с.

### 3.4.2.2 Радиоспектр

Для оценки ширины полосы частот передаваемого сигнала следует рассмотреть модулирующий сигнал, создающий для одного из балансных модуляторов наибольшую загрузку. Таким сигналом являются данные с потоком 5 Мбит/с при чередовании нулей и единиц, которые представляют собой импульсы прямоугольной формы частоты 2,5 МГц. Если подобный сигнал ограничить по полосе частот до 2,5 МГц, то на выходе балансного модулятора образуется сигнал с полосой частот 5 МГц, то есть как раз соответствующий 6-МГц каналу с защитными полосами по 0,5 МГц. Другое решение — не подвергать фильтрации 4-уровневый модулирующий сигнал, а фильтровать сигнал 6-МГц канала, что приведет к такому же результату. При передаче данных в виде последовательности нулей и единиц радиочастотная энергия концентрируется на двух частотах, разнесенных между собой на 5 МГц, вблизи защитных полос. При передаче реальных данных появятся и более низкие модулирующие частоты, что приводит к распределению энергии в полосе частот канала.

В результате кодирования источника и канального кодирования модулирующий сигнал данных оказывается случайным даже в те моменты, когда отсутствует видеосигнал. Это приводит к распределению радиочастотной энергии в полосе частот канала 6 МГц таким образом, как если бы это был частотно ограниченный шум. Сигналы такого типа обладают чрезвычайно высокой устойчивостью к помехам совмещенного канала по тем же причинам, по которым используется техника передачи с распределенным спектром. Благодаря отсутствию дискретных несущих эти сигналы также обладают свойством оказывать значительно меньшие помехи другим сигналам по сравнению с сигналами НТСЦ, ПАЛ или СЕКАМ при одинаковой мощности. Более того, предполагается, что более низкое отношение сигнал/шум, необходимое для цифровой передачи, позволит использовать и менее мощные передатчики. В совокупности эти свойства делают возможным использовать незанятые («запрещенные») каналы в действующих планах распределения каналов, что позволит добавить к уже имеющимся на сегодня ТВ каналам большое число новых каналов ТВЧ.

### 3.4.2.3 Модуляция с частично подавленной боковой полосой (ЧПБП)

В одной из предлагаемых систем (ЦСС-ТВЧ) используется модуляция 4-ЧПБП и 2-ЧПБП. Метод частично подавленной боковой полосы, используемый при передаче сигнала НТСЦ, является рабочим компромиссом между двухполосной АМ и однополосной АМ. Однополосная модуляция не может быть использована при передаче аналогового ТВ из-за практических проблем, связанных с необходимостью иметь очень крутой срез фильтра на очень низких частотах (однако это вполне приемлемо при передаче звуковых сигналов, низкочастотные составляющие которых могут быть подавлены). Двухполосная АМ просто потребует слишком широкой полосы частот для ТВ. Сигнал с частично подавленной боковой полосой состоит из небольшой части нижней боковой полосы и полной верхней боковой полосы. Фильтрация с наклонной АЧХ при передаче и/или приеме подавляет нижнюю часть полосы пропускания для компенсации дублирования составляющих нижней боковой полосы. В аналоговом ТВ с ЧПБП несущая не подавляется.

Метод ЧПБП обычно не значится в перечне цифровых методов модуляции и, как правило, не используется с подавленной несущей. Поскольку метод ЧПБП по своей сути создает значительные трудности для восстановления подавленной несущей из ЧПБП-сигнала по сравнению с восстановлением из КАМ-сигнала, необходимо применение пилот-сигнала. Авторы системы выбрали метод ЧПБП исходя из намерения передавать пилот-сигнал на частоте подавленной несущей, чтобы облегчить настройку на каналы в условиях шума большого уровня. Пилот-сигнал в случае КАМ будет находиться в центре 6-МГц канала и может создавать помехи сигналам НТСЦ. В случае ЧПБП несущая располагается в нижней части полосы частот, то есть там, где приемники НТСЦ имеют свои собственные ЧПБП-фильтры с большим затуханием.

Поскольку при модуляции с ЧПБП передается только одна полная боковая полоса, последняя может занять почти весь 6-МГц канал. В результате этого скорость передачи символов (скорость модуляции) может быть удвоена по сравнению с КАМ, что приведет к более эффективному использованию канала. Поскольку при модуляции с ЧПБП нет возможности передавать квадратурные сигналы, системы 4-ЧПБП и 16-КАМ позволяют иметь почти одинаковые скорости передачи данных, если каждая из них оптимизирована относительно канала с учетом своих возможностей.

### 3.4.2.4 Модуляция в предлагаемых системах

Система «Диджисайфер» имеет два режима передачи: 32-КАМ с потоком 24,39 Мбит/с и 16-КАМ с потоком 19,51 Мбит/с. Режим передачи выбирается вещательной организацией; 16-КАМ обеспечивает большую зону обслуживания, а 32-КАМ обеспечивает более высокое качество передачи изображения, причем приемник автоматически перестраивается на режим, используемый при передаче. Утверждается, что режим 32-КАМ обеспечивает практически безошибочный прием при отношении несущая/шум 16,5 дБ; для режима 16-КАМ порог составляет 12,5 дБ. Скорость передачи символов составляет 4,88 Мсимвол/с.

В системе ЦСС-ТВЧ используется сочетание модуляций 4-ЧПБП и 2-ЧПБП, то есть четырехуровневая и двухуровневая модуляции с частично подавленной боковой полосой. Скорость передачи символов 10,76 Мсимвол/с. Часть данных передается со скоростью 1 бит/символ, а остальная часть — 2 бит/символ. Результирующий цифровой поток составляет от 11,1 до 21,0 Мбит/с. Используется пилот-сигнал, что, как утверждают, облегчает прием сигналов при наличии шумов.

В системе ПЦТ используется модуляция 16-КАМ с потоком 21 Мбит/с. Скорость передачи символов 5,25 Мсимвол/с. Авторы системы утверждают, что формирование спектра излучения уменьшает помехи для системы НТСЦ и от системы НТСЦ.

В системе АТВО-П используется модуляция 16-КАМ с потоком 19,43 Мбит/с. Скорость передачи символов 4,86 Мсимвол/с. Авторы системы утверждают, что практически безошибочный прием (одна необнаруженная ошибка в сутки) обеспечивается при отношении несущая/шум 19 дБ.

### 3.4.3 Коррекция канала

Приемник ТВЧ системы «Диджисайфер» для борьбы с искажениями за счет многолучевости использует адаптивный корректор с 256 отводами. Это позволяет подавлять одиночные и многократные отраженные сигналы в диапазоне от -2 до +24 мкс.

В системе ЦСС-ТВЧ используется автоматический подавитель отражений/корректор канала. Многократные отражения подавляются в диапазоне от -4 до +20 мкс.

Система ПЦТ снабжена адаптивным корректором канала для борьбы с влиянием многолучевого распространения радиоволн и отраженными сигналами. Он рассчитан на временной интервал до 16 мкс, который может быть расширен до 40 мкс.

В системе АТВО-П используется адаптивный корректор, который позволяет бороться с отражениями из-за многолучевости, характерными для обычного наземного вещания, а также с микроотражениями, возникающими в кабельном ТВ. Корректор способен подавлять составные отражения многолучевости в интервале до 2 мкс, а также одиночные отражения на протяженных многолучевых трассах в интервале до 32 мкс.

### 3.4.4 Формирование спектра

В системах «Диджисайфер» и АТВО-П для формирования спектра используют цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой (с линейной фазовой характеристикой).

В кодере системы ЦСС-ТВЧ осуществляется предобработка, сопряженная с фильтром подавления помех от системы НТСЦ в приемнике. В этой системе обеспечивается одинаковая граничная избирательность как со стороны ЧПБП, так и со стороны более высокочастотной части радиоканала. Граничная избирательность делится между приемником и передатчиком, что, как утверждается, является оптимальным с точки зрения отношения сигнал/шум. Для предотвращения помех для системы НТСЦ за счет периодических синхрослов сегментов данных используется дисперсия.

В системе ПЦТ используется спектрально формируемая КАМ (СФ-КАМ) как средство достижения поставленной цели — обеспечить высокую эффективность использования спектра и функционирование с невосприимчивостью к помехам от системы НТСЦ и минимальными помехами для системы НТСЦ.

## 3.5 Использование частотного спектра

### 3.5.1 Введение

В США активно рассматривается возможность наземной передачи сигналов ТВЧ в имеющихся полосах частот ОВЧ/УВЧ. Как показал анализ, при условии, что подавляющее большинство действующих наземных станций (более 97%) будет дополнено службой ТВЧ в дополнение к имеющейся возможности передачи сигналов НТСЦ, может потребоваться уменьшение разнеса станций минимум до 160 км при работе в совмещенном канале. В настоящее время проводятся исследования зоны обслуживания ТВЧ и приемлемого уровня помех от совмещенного канала при таком разнесе.

В данном разделе описывается ряд подходов, которые, как ожидается, могут быть использованы для определения наличия достаточного спектра для обеспечения вышеупомянутых дополнительных служб. Эти подходы включают в себя оценку необходимости сохранения тех ограничений в отношении запрещенных («табу») каналов в диапазоне УВЧ, которые применяются в настоящее время в системе НТСЦ, анализ эффективных зон обслуживания и разработку методик выделения/присвоения частот.

### 3.5.2 Оценка запрещений («табу»)

Когда в начале 50-х годов для США разрабатывался план выделения полос частот в диапазоне УВЧ, были установлены ограничения на определенные разнесы каналов, исходя из ограничений на помехи, которые использовались в то время в системах передачи/приема сигналов НТСЦ. Такие ограничения по уровню помех были названы «табу» (запрещениями). Характер этих запрещений описан в § 3.5.5. Предварительно было при-

нято, что для обеспечения достаточного дополнительного спектра в диапазонах ОВЧ/УВЧ для новой наземной службы ТВЧ необходимо использовать минимальный разнос между станциями совмещенного канала, равный 160 км, и исключить ограничения, связанные с запрещениями. В этом случае практически все (более 97%) действующие в настоящее время наземные вещательные станции НТСЦ (около 1700) могут быть обеспечены каналом для ТВЧ. Поскольку было бы желательно избежать ограничений, накладываемых запрещениями, важно знать характеристики предлагаемых систем ТВЧ в отношении помех и решить, необходимо ли дальнейшее сохранение защиты некоторых запрещенных каналов. Был разработан специальный алгоритм для анализа влияния сохранения отдельных запрещенных каналов на возможные планы выделения частот. Проанализированные варианты («сценарии») описаны ниже. Все варианты планов выделений были разработаны с учетом 160-км разноса между станциями совмещенного канала. Все эти варианты основаны на исключительно геометрических соображениях (разнос 160 км между станциями совмещенного канала и расстояния, определяемые запрещениями) и не учитывают предположений в отношении помехоустойчивости. Следует отметить, что в §3.5.5 правила запрещений выражаются в расстояниях (км), а не в отношениях П/М («полезный-мешающий»). За исключением запрещения для гетеродина ( $n + 7$ ), все механизмы запрещений, описанные в § 3.5.5, были учтены при анализе, приведенном в данном документе.

### 3.5.2.1 Вариант ТВЧ/НТСЦ

В варианте ТВЧ/НТСЦ рассматривается влияние как отдельных, так и нескольких запрещений на выделение радиочастотного спектра. С этой целью накладывались ограничения на разнос запрещенных каналов как в случае действующих станций НТСЦ, так и в случае новых каналов ПТВ («перспективного ТВ»). Этот вариант наиболее «ограничивающий» из всех трех вариантов.

### 3.5.2.2 Вариант НТСЦ

В варианте НТСЦ рассматривается возможное выделение радиочастотного спектра для ТВЧ посредством применения ограничений на разнос запрещенных каналов в случае новых каналов ТВЧ только в отношении существующих присвоений в системе НТСЦ. Предполагается, что новые приемники ТВЧ будут иметь новую, усовершенствованную конструкцию и производственные допуски, которые практически исключают указанные помехи для этой новой службы ТВЧ.

### 3.5.2.3 Вариант НТСЦ/совместное размещение

В третьем варианте рассматривается возможность выделения радиочастотного спектра для ТВЧ посредством применения ограничений на разнос запрещенных каналов только в случае действующих присвоений в системе НТСЦ, как и в рассмотренном варианте НТСЦ; однако в этом варианте допускается точное совместное размещение запрещенного канала с соответствующим каналом НТСЦ. Этот вариант наименее ограничивающий из всех трех вариантов.

В таблице 1 приведено число присвоений, которые теряются в каждом из трех вариантов при сохранении различных сочетаний запрещенных каналов.

ТАБЛИЦА 1

Совместные результаты для различных сочетаний вариантов и запрещенных каналов

Запрещенный канал	Вариант ТВЧ <sup>(1)</sup>	Вариант НТСЦ <sup>(1)</sup>	Вариант НТСЦ/совместное размещение <sup>(1)</sup>
$n \pm 1$	93	63	30
$n \pm 1, +14, +15$	338	156	75
$n + 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$	70	50	3
$n + 4, \pm 7, \pm 8$	19	11	1
$n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 7, \pm 8$	135	98	11
$n \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 7, \pm 8, +14, +15$	483	304	153

<sup>(1)</sup> Значения в таблице обозначают число присвоений для ТВЧ, которые теряются при сохранении указанных запрещенных каналов, иначе говоря, число станций, которые не могут использоваться.



### 3.5.2.4 Выводы

Результаты проведенного анализа приводят к следующим выводам:

- полное развертывание ТВЧ для действующих станций, имеющих лицензии, невозможно при сохранении всех запрещенных каналов НТСЦ. В результате реализации третьего варианта, описанного выше, частоты для ТВЧ смогут использовать только 91% действующих станций, имеющих лицензии. При первом варианте это число уменьшается до 72%;
- независимо от рассматриваемого варианта, запрещение, накладываемое на зеркальный канал изображения ( $n+15$ ), дает наилучшую статистику для ТВЧ, в то время как запрещения, накладываемые на биения с промежуточной частотой ( $n+4$ ,  $\pm 7$ ,  $\pm 8$ ), дают наилучшую статистику;
- за исключением запрещений, накладываемых на зеркальный канал ( $n+14$ ,  $n+15$ ), влияние изменения ограничений на разнос запрещенных каналов оказывает слабое влияние на статистику развертывания ТВЧ;
- допущение точного совместного размещения запрещенного канала благоприятно влияет на статистику развертывания ТВЧ. Почти совместное размещение запрещенных каналов дает умеренное улучшение статистики развертывания ТВЧ в случае соседних и зеркальных запрещенных каналов; однако почти совместное размещение значительно улучшает статистику в отношении всех прочих запрещенных каналов.

### 3.5.3 Анализ зон обслуживания и источников помех

Вопрос размеров зоны обслуживания очень важен для вещательных станций. Первоначальный план выделения в системе НТСЦ был разработан на основе теоретических соображений относительно ограничения по шуму с поправками для некоторых географических районов, где использовалось ограничение по помехам для размещения дополнительных станций. На практике некоторые из действующих станций имеют зоны обслуживания, имеющие дополнительное ограничение по помехам. При рассмотрении зон обслуживания для систем цифрового ТВЧ целью было достижение сравнимых зон. В настоящее время рассматриваются методы оптимизации зон обслуживания для служб ТВЧ. Желательной целью при этом является достижение того, чтобы станция ТВЧ имела такую же зону обслуживания, что и соответствующая станция НТСЦ, размещенная в том же месте.

#### 3.5.3.1 Зона обслуживания в системе НТСЦ

Географическое размещение и выделение частот для станций НТСЦ определялось на основе расстояний разнеса и ограничений по мощности передатчика и высоте антенны. На рис. 1 и 2 указано число действующих в настоящее время станций НТСЦ в диапазонах ОВЧ и УВЧ, работающих по классу В, которые имеют помехи от станций совмещенного и соседнего каналов, соответственно.

#### 3.5.3.2 Зона обслуживания станции ТВЧ

Ввиду необходимости в более тесном размещении станций ТВЧ следует ожидать, что зона обслуживания станций ТВЧ будет ограничена помехами. Консультативный комитет ФКС разрабатывает в связи с этим два метода, позволяющие:

- определить зону обслуживания станций ТВЧ, равную зоне обслуживания станций НТСЦ, и
- определить зону обслуживания в зависимости от характеристик помехоустойчивости, которыми обладают предлагаемые системы, исследуемые в настоящее время Испытательным центром перспективного телевидения (ИЦПТ).

ИЦПТ производит измерения отношений П/М в случае помех ТВЧ для системы НТСЦ, помех системы НТСЦ для ТВЧ и помех ТВЧ для ТВЧ. На основе полученных отношений П/М будут разработаны модели для оценки обслуживания зон, совместимых с действующими вещательными службами НТСЦ.

#### 3.5.3.3 Эффективная зона обслуживания

Эффективная зона обслуживания ТВ станции представляет собой зону, образуемую в результате наложения на ее зону обслуживания контуров помех от других ТВ станций.

#### 3.5.3.4 Зоны обслуживания для предлагаемых систем

В настоящее время разрабатываются методы определения зоны покрытия, образуемой конкретной предлагаемой системой при наличии помех от системы НТСЦ. Окончательное решение может быть получено с помощью модели, которая учитывает пороговые значения для приемников предлагаемых систем по помехам и шумам, измеренные ИЦПТ, и связывает эти параметры с зонами обслуживания и помех.

РИСУНОК 1

Распределение числа станций совмещенного канала, оказывающих влияние на службу класса В действующих станций НТСЦ

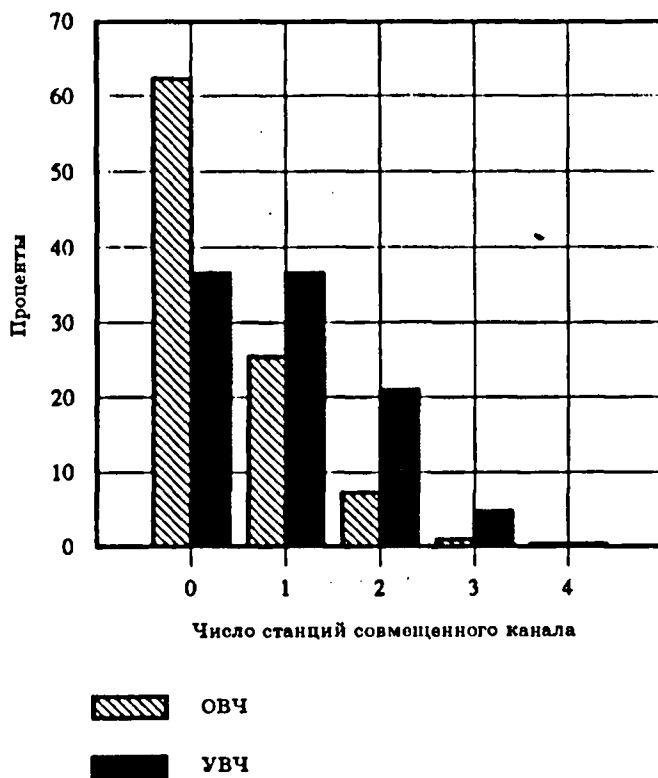
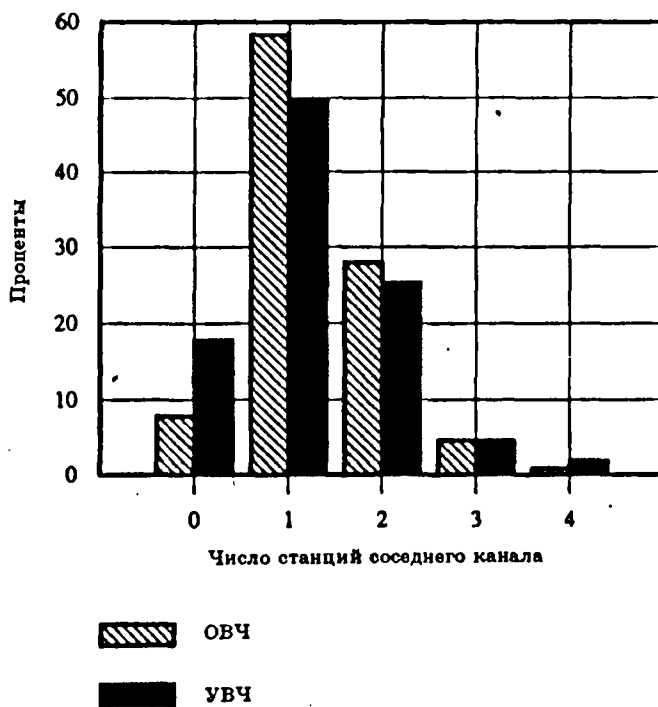


РИСУНОК 2

Распределение числа станций соседнего канала, оказывающих влияние на службу класса В действующих станций НТСЦ



### 3.5.4 План присвоений/выделений

Для разработки плана выделений для ТВЧ необходимо установить ряд исходных положений и принципов. На этом основании и может быть разработан план выделений.

#### 3.5.4.1 Принципы

В число принципов, рассматриваемых Консультативным комитетом ФКС в качестве основы для планирования выделений для ТВЧ, включается:

##### a) Спаривание выделений для ПТВ с действующими выделениями для системы НТСЦ

Каждый канал ТВЧ должен быть определен и связан с каждым из действующих ОВЧ- и УВЧ-выделений. Это обеспечит фундаментальную основу для плана ТВЧ и послужит основополагающей линией при его осуществлении.

##### b) Сравнимые зоны обслуживания

Желательной целью плана выделений (которые после внедрения плана становятся присвоениями) является достижение возможности охвата всех действующих станций НТСЦ зоной обслуживания ТВЧ, сравнимой по размерам с действующей ограниченной шумами зоной обслуживания станции, с которой спарена станция ТВЧ.

##### c) Использование действующих площадок размещения передатчиков

План присвоения частот в максимально возможной степени должен разрабатываться при условии использования действующих площадок размещения передатчиков для осуществления передачи сигналов ТВЧ.

##### d) Ограничения разноса

План выделения в настоящее время разрабатывается на основе минимального расстояния разноса между станциями совмещенного канала.

##### e) Модели выделений

Поскольку имеются буквально тысячи возможных комбинаций для образования возможных пар выделений для ТВЧ и системы НТСЦ, необходимо использовать алгоритмы оптимизации для определения реализуемых распределений выделений.

##### f) Запрещенные участки спектра

Участки спектра в диапазонах ОВЧ/УВЧ, не используемые из-за запретов в действующих ОВЧ/УВЧ планах для системы НТСЦ, могут выборочно, по мере необходимости, применяться для обеспечения выделений для ТВЧ.

##### g) Помехи ТВЧ/НТСЦ

Целью плана ТВЧ является сведение к минимуму помех от станции ТВЧ станциям НТСЦ или другим зонам обслуживания ТВЧ. Желательной целью является достижение того, чтобы уровень ожидаемой помехи был не более того, который рассматривается в настоящее время как уровень приемлемой помехи между действующими станциями НТСЦ.

##### h) «Замораживание» параметров присвоений для системы НТСЦ

Для того чтобы знать частотно-пространственные ресурсы, имеющиеся для разработки плана ТВЧ, некоторые переменные параметры для применения действующих выделений для системы NTSC должны быть «заморожены» в какой-то определенный момент. Это означает, например, что в какой-то момент времени должно быть фиксировано расположение существующих передатчиков. Поступая таким образом, можно установить граничные условия, в пределах которых может быть разработан план ТВЧ.

##### j) Свободные выделения

Участки частот, которые в настоящее время выделены, но не используются, могут потребоваться для полномасштабного развертывания ПТВ для всех действующих передающих станций. Таким образом, насколько это возможно, какая-то небольшая часть таких выделений может быть использована. Число заимствованных свободных выделений должно быть как можно меньшим и использоваться только тогда, когда могут оказаться под угрозой эксплуатационные присвоения.

##### k) Приемная система

При определении сравнимой зоны обслуживания, ограниченной помехами, должны учитываться характеристики типичной приемной системы ТВЧ. Эти характеристики могут включать в себя параметры антенны, такие как защитное действие в заднем полупространстве, и системные параметры, такие как степень подавления помех в селекторе каналов/декодере.

### 3.5.4.2 План выделений/присвоений

Указанные общие принципы создают основу для разработки плана выделений для службы ТВЧ. Целью является организация службы ТВЧ с зонами обслуживания, эквивалентными зонам обслуживания действующих станций НТСЦ.

Выбор каналов осуществляется с помощью алгоритмов оптимизации, которые осуществляют поиск комбинаций каналов в наиболее интенсивно используемых зонах для отыскания подходящих участков спектра.

### 3.5.5 Механизмы возникновения помех от запрещенных каналов НТСЦ

#### 3.5.5.1 Географический разнос применительно к интермодуляции (каналы $n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ ) = 32,2 км

Интермодуляционные помехи возникают из комбинации входных сигналов, частотные суммы или разности которых создают паразитные частоты, попадающие в одиннадцатый по счету канал. С учетом этого правила ФКС для системы НТСЦ запрещают близкое размещение станций, имеющих частотный разнос в два, три или пять каналов (первый соседний канал запрещается также, однако к нему предъявляются более жесткие требования в отношении разноса).

#### 3.5.5.2 Географический разнос применительно к кросс-модуляции (каналы $n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ ) = 32,2 км

В образовании кросс-модуляционных помех участвует та же группа каналов, что и в случае интермодуляции, однако сам механизм возникновения помехи другой. В случае кросс-модуляционной помехи модуляция мешающего канала накладывается на модуляцию полезного канала. Первое свидетельство о наличии такого рода помехи обычно проявляется в виде вертикальных и горизонтальных границ изображения мешающего канала на изображении полезного канала.

#### 3.5.5.3 Географический разнос применительно к местному гетеродину (канал $n + 7$ ) = 95,7 км

Местный гетеродин телевизионного приемника должен быть настроен на частоту, попадающую в седьмой канал выше принимаемого канала, чтобы продукты биений попадали в полосу частот по промежуточной частоте (ПЧ) от 41 до 47 МГц. Местный гетеродин может рассматриваться как передатчик небольшой мощности. В старых приемниках довольно большая часть энергии местного гетеродина проникала через входные устройства приемника в антенну, что приводило к возникновению помех соседним приемникам, настроенным на седьмой канал. В связи с этим ФКС ограничила использование седьмого канала только станциями, разнесенными по крайней мере на 95,7 км (59,5 мили). В современных приемниках такая утечка энергии местного гетеродина в приемную антенну весьма невелика, и поэтому имеется общее мнение о том, что запрещение по гетеродину уже является нецелесообразным.

#### 3.5.5.4 Географический разнос применительно к биениям с ПЧ (каналы $n \pm 7, \pm 8$ ) = 32,2 км

Если два довольно сильных сигнала разнесены по частоте на промежуточную частоту (ПЧ), которая обычно используется в телевизорах НТСЦ (41-47 МГц), возникает возможность образования биений между ними и возникновения мешающего сигнала в усилителе ПЧ изображения приемника. Перечень сигналов, которые могут вызвать это биение, включает все ситуации, при которых станции разнесены на семь или восемь каналов.

#### 3.5.5.5 Географический разнос применительно к половинной ПЧ (канал $n + 4$ ) = 32,2 км

Сигналы, попадающие в четвертый по счету канал выше полезного канала, могут в принципе создать биения с местным гетеродином, настроенным на данный канал приема, с образованием сигнала на половинной ПЧ. В нелинейных цепях преобразователя частоты приемника может генерироваться вторая гармоника этого сигнала половинной ПЧ, создающая помеху в полезном канале.

#### 3.5.5.6 Географический разнос применительно к зеркальному каналу (канал $n + 14$ ) = 95,7 км (канал $n + 15$ ) = 119,9 км

Местный гетеродин телевизионного приемника настраивается на частоту, которая приблизительно на 47 МГц выше нижней частотной границы принимаемого канала. Когда напряжение местного гетеродина и сигнал принимаемого канала поступают на преобразователь частоты приемника, то разностные биения попадают в полосу частот канала ПЧ от 41 до 47 МГц. Однако мешающий сигнал выше частоты местного гетеродина также создает сигнал, попадающий в полосу частот ПЧ приемника. Для несущей изображения мешающим является канал, отстоящий на 15 каналов выше частоты полезного канала. Для несущей звукового сопровождения критичным является четырнадцатый канал выше частоты полезного канала.

### 3.6 Сравнение предлагаемых систем

#### 3.6.1 Испытание систем наземного цифрового вещания ТВЧ

С целью оказания помощи ФКС американские телевизионные вещательные компании в 1988 году создали Испытательный центр перспективного телевидения (ИЦПТ), к которому в 1989 году присоединились фирмы-изготовители телевизионных приемников. ИЦПТ — это частная некоммерческая организация, созданная с целью проведения всеобъемлющих, объективных и беспристрастных испытаний различных систем ПТВ, которые предлагаются в качестве стандарта для наземного вещания США.

Действуя параллельно, отрасль кабельного телевидения США проводила свои собственные широкие исследования и разработки, а в 1988 году создала фирму «Cable Television Laboratories (CableLabs)». Пока отрасли вещания и кабельного телевидения обсуждали возможность создания совместного предприятия для оценки предлагаемых систем (еще до организации ИЦПТ и фирмы «CableLabs»), появился совместный проект по испытанию систем, объединивший ресурсы ИЦПТ и фирмы «CableLabs». ИЦПТ эксплуатирует современный лабораторный испытательный комплекс в г. Александрия (штат Виргиния), способный производить всестороннюю оценку предлагаемых систем в условиях наземного вещания. В том же месте фирма «CableLabs» эксплуатирует современный лабораторный испытательный комплекс, способный производить всестороннюю оценку предлагаемых систем при передаче телевизионных сигналов по кабелям — коаксиальному и волоконно-оптическому.

В тот же период канадские промышленники совместно с правительством Канады создали дополнительный комплекс в Оттаве для оценки всех предлагаемых систем в прецизионных условиях субъективных испытаний. Все субъективные испытания с использованием «средних» наблюдателей будут проводиться в Оттаве в Лаборатории по оценке перспективного телевидения (ЛОПТ). ЛОПТ создана в рамках Исследовательского центра связи (ИЦС) при департаменте связи канадского правительства.

В настоящее время в центрах ИЦПТ, «CableLabs» и ЛОПТ планируется проведение испытаний четырех цифровых систем. Системы и планируемые сроки их испытаний представлены в таблице 2. Будут проводиться как объективные, так и субъективные испытания всех систем.

ТАБЛИЦА 2

Предлагаемые цифровые системы излучения ТВЧ, представленные Консультативному комитету ФКС\*

Название системы и предлагающая организация(и) (в порядке сроков проведения испытаний)	Планируемые сроки проведения испытаний <sup>(1)</sup>
1. «Диджисайфер» General Instrument Corporation/ATVA <sup>(2)</sup>	14 ноября 1991 г. — 7 января 1992 г.
2. ЦСС-ТВЧ: «цифровое спектрально совместимое ТВЧ» Zenith Electronics Corporation/AT&T	14 января 1992 г. — 2 марта 1992 г.
3. ПЦТ: «перспективное цифровое телевидение» North American Philips/ATRC <sup>(3)</sup>	9 марта 1992 г. — 22 апреля 1992 г.
4. АТВО-П: «прогрессивная» Массачусетский технологический институт/ATVA <sup>(2)</sup>	29 апреля 1992 г. — 15 июня 1992 г.

\* По данным, представленным ИЦПТ предлагающими организациями.

<sup>(1)</sup> Официальный график от 7 июня 1991 г.

<sup>(2)</sup> Американское телевизионное объединение (фирма «General Instrument», Массачусетский технологический институт).

<sup>(3)</sup> Консорциум по исследованию перспективного телевидения (компания NBC, фирма «North American Philips», Исследовательский центр им. Дэвида Сарнова, фирма «Thomson Consumer Electronics»).

Объективные и субъективные испытания имеют целью решение нескольких наиболее важных проблем как для вещательных, так и кабельных систем передачи, а именно:

- планируемое использование стандартных 6-МГц каналов для транспортировки значительно большего объема видеoinформации в службе перспективного телевидения;
- устойчивость системы в условиях помех и других ухудшений передачи; и
- способность системы сосуществовать с современной телевизионной службой НТСЦ.

Учитывая важность сравнительной оценки, все системы будут исследоваться по единому плану испытаний, дополненных «индивидуальными» испытаниями каждой системы, которые, как ожидается, позволят исследовать особенности каждой из них. ИЦПТ и фирма «CableLabs» должны получить технические объективные оценки присущих каждой системе свойств и качественных показателей, имитируя условия вещательной или кабельной передачи соответственно. С помощью «наблюдателей-специалистов», то есть опытных телевизионных инженеров и других специалистов, способных анализировать, будут определены диапазоны изменения искажений передачи для каждой из систем, начиная с первых признаков проявления конкретного ухудшения в системе и кончая полным отказом системы или невозможностью наблюдения изображения. Результирующие выходные сигналы, соответствующие этим диапазонам каждой из систем, будут записываться на цифровые видеоленты, а видеофонограммы будут затем пересылаться в канадский центр ЛОПТ. Эти видеофонограммы будут использоваться в Канаде «наблюдателями-неспециалистами» (американцами и канадцами) для проведения субъективных испытаний каждой системы в установленных диапазонах искажений. Традиционные методы испытаний, разработанные и используемые в МККР, а также другие экстраполированные процедуры и ряд новых методов составляют основу плана этих важных субъективных испытаний.

В каждой системе будут проводиться как объективные, так и субъективные испытания подсистемы звукового сопровождения, причем эта работа будет осуществляться ИЦПТ.

Обобщенные результаты технических объективных испытаний в Александрии и субъективных испытаний в Оттаве составят основу отчета о лабораторных испытаниях каждой системы. Точнее говоря, работа в Канаде по исследованию видеофонограмм первой из испытанных в Александрии систем будет продолжаться даже в том случае, если в Александрии появится вторая система и начнутся ее испытания. Такой процесс параллельной оценки, отражающий особенности процедур и методов испытаний, разработанных и испытанных в США и Канаде, сам по себе представляет необычное совместное предприятие. Это обеспечивает экономии времени и средств как для многочисленных привлеченных аналитиков по стандартам, так и для организаций, предлагающих новые системы. Предполагается провести сравнение «моментальных снимков» фактически существующих телевизионных систем передачи, работающих в реальном времени и снабженных полным набором оборудования. Это позволит также получить наиболее полное представление о возможных вариантах, предлагаемых для практического стандарта.

В графике предусмотрено также проведение полевых испытаний. Хотя разработка соответствующего плана в ККСПТ (ACATS) еще только продолжается, ожидается, что к испытаниям приступят немедленно, как только в результате лабораторных испытаний системы или систем будет доказана целесообразность таких испытаний. Такая окончательная проверка в «реальном мире» должна быть проведена, перед тем как новый стандарт получит достаточное подтверждение и начнет реализовываться.

Субъективные испытания имеют целью решение двух важных вопросов: во-первых, будут ли средние «наблюдатели-неспециалисты» воспринимать помехи различного уровня и другие виды ухудшений как недопустимые, приемлемые или вовсе незаметные, причем в тех же условиях, какие имеют «наблюдатели-специалисты»; во-вторых, какую оценку средние наблюдатели дадут предельному качеству изображения данной системы в сравнении с эталонным изображением наивысшего качества. Для этих субъективных испытаний в качестве испытательного материала будут использоваться 14 неподвижных изображений (на основе фотоснимков) и 18 динамических сюжетов (от видео- и кинодатчиков). Каждый сюжет — как неподвижный, так и динамический — был разработан группой специалистов из ККСПТ. Строго руководствуясь указаниями психофизиков, участвующих в этой работе, группа разработала специальные испытательные материалы, которые похожи на «типичные» телевизионные сюжеты, но одновременно позволяют выделить отдельные параметры, подлежащие изучению в данном испытании с помощью этих сюжетов; примером может служить разрешающая способность, передача движения, соответствующие качественные показатели по яркости и цвету и т.п.

Все неподвижные изображения преобразовывались в сигналы четырех различных стандартов развертки в соответствии с требованиями испытываемых систем с помощью специально приспособленной коммерческой аппаратуры цифровой обработки изображения. Движущиеся изображения от видеоисточников подобраны в соответствии с требованиями ККСПТ, причем каждый сюжет снимался с использованием четырех стандартов развертки, специфицированных в конкурирующих системах, а также стандарта НТСЦ. Поскольку в настоящее время не имеется цифровых видеомагнитофонов для 1050-строчного стандарта с чересстрочной разверткой и для 787,5-строчного стандарта с прогрессивной разверткой, то пришлось заняться поиском такого решения проблемы записи сигналов, которое обеспечивало бы «одинаковое игровое поле» для испытательных материалов каждой из предлагаемых систем. Технически это было сделано благодаря использованию специального преобразователя стандартов, в котором аналоговый выходной сигнал камеры для каждого из этих стандартов развертки

преобразовывался в цифровую форму с последующей перегруппировкой полученных таким образом данных, позволяющей записывать их на имеющиеся коммерческие цифровые видеоманитоны ТВЧ 1125-строчного стандарта. Сигналы, полученные при воспроизведении таких видеофонограмм, обрабатывались преобразователем стандартов для восстановления исходного стандарта сюжетов. Этот информационно прозрачный процесс обеспечивает «идентичность» и повторяемость всех испытываемых материалов. Использование преобразователя стандартов позволяет также производить запись всех результатов испытаний для архивных целей и дает возможность пользоваться для субъективных испытаний предварительно записанными видеофонограммами, а не полагаться на «живые» передачи с использованием телекамер и непрерывно работающего оборудования конкурирующих систем.

Сложная процедура съемки видеоматериала, которая требует тщательного согласования действий на сцене, освещения и углов съемки для обеспечения «идентичности» испытательных материалов по каждому из требуемых стандартов, осуществлялась под общим руководством группы специалистов из ККСПТ. Собственно видеосъемки осуществлялись в одной из крупнейших студий Нью-Йорка под руководством главы ЛОПТ, которому предстоит, в порядке очередности, проводить субъективные испытания с помощью этих видеоматериалов.

### 3.6.2 Значения параметров предлагаемых систем цифрового наземного вещания ТВЧ

В США за последний год «образ» сторонников перспективного телевидения и разработок по их системам заметно изменился. Первая полностью цифровая система ТВЧ была предложена в июне 1990 года. Затем последовала замена трех ранее предложенных гибридных систем на полностью цифровые системы. Сторонники полностью цифровых подходов утверждают, что их системы могут обеспечить высокое качество изображения ТВЧ во всей зоне обслуживания станции. Уверяют, что полностью цифровые подходы будут более гибкими, обеспечат более эффективное сжатие спектра, позволят производить видеозапись без помех в студиях и в домашних условиях, будут свободны от накопления шума, помех и отраженных сигналов в случае каскадирования звеньев обработки и/или звеньев передачи, а также вызовут эффект синергии по отношению к другому связанному и компьютерному оборудованию. Качественные показатели и особенности любой системы определяются принципами проектирования этой системы. Например, в одних предлагаемых системах упор делается на повышение четкости изображения, а в других добиваются более устойчивой передачи. При фиксированном общем цифровом потоке перераспределение битов является вопросом компромисса.

В целях сравнения предлагаемых цифровых систем в данном приложении приводится таблица признаков, характеристик и процессов систем цифрового наземного вещания ТВЧ. Все данные в таблице 3 основаны на технических описаниях, представленных конкурирующими организациями в Консультативный комитет по службе перспективного телевидения Федеральной комиссии связи США. Пропуски в таблице означают, что в имеющихся документах соответствующая информация отсутствует. Данные представленной здесь таблицы могут быть изменены, поскольку оптимизация предлагаемых систем все еще продолжается.

## 3.7 Гармонизация

Системы цифрового ТВЧ потенциально могут содействовать взаимной работоспособности различных систем с изображением высокого разрешения. Выбор системы перспективного телевидения с признаками, необходимыми для реализации взаимной работоспособности, обеспечит гармонизацию взаимного обмена неподвижными и движущимися изображениями, поступающими от различных источников.

### 3.7.1 Преимущества взаимной работоспособности

Преимущества видеотехники и других технических направлений, связанных с изображением, в будущем станут более значительными, если удастся бы реализовать экономически целесообразным образом универсальный взаимный обмен изображениями и последовательностями изображений любого рода и управлять им. В итоге выиграет пользователь, который будет получать по своему собственному выбору любую визуальную информацию в любой форме, причем немедленно и за приемлемую цену.

Быстрый прогресс в области цифровых полупроводниковых приборов, цифровой связи и алгоритмах цифровой обработки позволяет создавать видеотехнические системы для конкретных применений (в отношении качества изображения, стоимости, стандарта и качественных показателей). Такое разнообразие на рынке видеопродукции окажется положительным явлением только в том случае, если будет обеспечена возможность свободного изменения стандартов, областей применения, отраслей промышленности и средств массовой информации. Основная мысль сводится к тому, что необходимо устранить причины, препятствующие взаимной работоспособности аппаратуры различных стандартов, чтобы рыночные механизмы могли определять дальнейшее развитие продукции и служб.

### 3.7.2 Потенциальные недостатки взаимной работоспособности

Дополнение архитектуры видеоаппаратуры свойством взаимной работоспособности связано с определенными экономическими затратами. Например, придание требуемой гибкости системе наземного вещания ТВЧ может привести к повышению стоимости ТВ приемников. Дело не только в очевидных затратах на дополнительные соединители и интерфейсы, но и в том, что может потребоваться более сложная системная архитектура.

ТАБЛИЦА 3

Признаки, характеристики и процессы в цифровых системах наземного вещания ТВЧ

	Диджитайзер	ЦСС-ТВЧ	ПЦТ	АТВО-П
Число строк в кадре	1050	787/788	1050	787/788
Частота кадров (Гц)	29,97	59,94	29,97	59,94
Коэффициент чересстрочности	2 : 1	1 : 1	2 : 1	1 : 1
Частота строчной развертки (кГц)	31,469	47,203	31,469	47,203
Формат кадра	16 : 9	16 : 9	16 : 9	16 : 9
Число активных элементов изображения	1408(Н) × 960 (V) (сигнал яркости) 350(Н) × 480(V) (цветоразностный сигнал)	1280(Н) × 720(V) (сигнал яркости) 640(Н) × 360(V) (цветоразностный сигнал)	1440(Н) × 960(V) (сигнал яркости) 720(Н) × 480(V) (цветоразностный сигнал)	1280(Н) × 720(V)
Формат элемента изображения	33 : 40	1 : 1	27 : 32	1 : 1
Ширина полосы частот (МГц)	21,5 (сигнал яркости) 5,4 (цветоразностный сигнал)	34 (сигнал яркости) 17 (цветоразностный сигнал)	27 (теоретический предел)	34 (сигнал яркости) 34 (цветоразностный сигнал)
Колориметрия	Стандарт SMPTE 240 M	Стандарт SMPTE 240 M	Стандарт SMPTE 240 M	Стандарт SMPTE 240 M
Алгоритм сжатия видеоспектра	Кодирование с ДКП и компенсацией движения	Кодирование с преобразованием и компенсацией движения (ДКП и ВК)	Кодирование с ДКП и компенсацией движения (на основе стандарта MPEG)	Кодирование с преобразованием и компенсацией движения/полосное кодирование
Размерность блока	8 × 8	8 × 8	8 × 8	8 × 8
Частота дискретизации (МГц)	53,65	75,3	54	75,3
Ширина полосы звуковых частот (кГц)	20	20	20	20
Частота дискретизации звукового сигнала (кГц)	48	47,203	48	48
Динамический диапазон (дБ)	85	96	96	
Число звуковых каналов	4	4	4	4



ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

	Диджисайфер	ЦСС-ТВЧ	ПЦТ	АТВО-П
Поток видеоданных (Мбит/с)	12,59 (16-КАМ) 17,49 (32-КАМ)	Автоматически меняется от 8,6 до 17,1	14,98 (может совмещаться с дополнительным звуком и/или данными)	15,636
Поток звукоданных (Мбит/с)	0,503	0,5	0,512 (номинально)	0,5
Поток данных управления (кбит/с)	126	40 (резерв)	40 (данные)	126 (управление доступом)
Поток дополнительных данных (кбит/с)	126	413	512 (номинально)	126 кбит/с
Поток синхрослов (кбит/с)	Нет	292 – 544 кбит/с	Нет	Нет
Результирующий поток (Мбит/с)	19,51 (16-КАМ) 24,39 (32-КАМ)	11,1 – 21,0 Мбит/с	21,00	19,43
Поток символов коррекции (Мбит/с)	6,17	1,3 – 2,4	23,6% (4,96)	3,042
РЧ модуляция (наземная передача)	16-КАМ или 32-КАМ	2- и 4-уровневая ЧПБП	Спектрально сформированная КАМ	16-КАМ
Ширина полосы частот по уровню 3 дБ (наземная передача) (МГц)	4,88	5,38	5,2	4,86
Пороговое отношение С/Ш (наземная передача) (дБ)	12,5 (16-КАМ) 16,5 (32-КАМ)	16 (4-уровневые данные) 10 (2-уровневые данные)	16	19
Коррекция канала (подавление отраженных сигналов) (мкс)	от -2 до +24 (многократные отражения)	от -2 до +20 (многократные отражения)	16 (с увеличением до 40)	2 (составное отражение) 32 (однократное отражение с большой задержкой)
РЧ модуляция (спутниковая передача)	4-ФМ	ММФС	4-ФМ	
Ширина полосы частот (спутниковая передача) (МГц)	24/2 канала	20/канала	24/2 канала	
Пороговое отношение С/Ш (спутниковая передача) (дБ)	7,5	8	8	

Примечание 1. — Данные могут быть изменены; все сведения представлены предлагающими организациями; в разных системах могут использоваться разные методы измерений.

### 3.7.3 *Виды взаимной работоспособности*

Потенциальная возможность введения взаимной работоспособности по изображению связана с несколькими уровнями или аспектами: разные стандарты сигналов; разные транспортные среды, разные промышленные организации; разные области применения; разные периоды времени; разные геополитические факторы.

### 3.7.4 *Важность цифрового представления для взаимной работоспособности*

Цифровое представление сигналов — это ключ к достижению взаимной работоспособности с точки зрения изображения и видеоинформации. Цифровая природа сигнала означает, что все системы, связанные с обработкой сигнала, имеют дело с одинаковым материалом, подлежащим обработке. Простота хранения, передачи и обработки цифровых данных еще больше подкрепляется постоянным увеличением быстродействия, уменьшением потребляемой мощности и снижением стоимости полупроводниковых приборов.

После перевода в цифровую форму сигнал можно фильтровать и обрабатывать предсказуемым и воспроизводимым способом, что позволяет осуществлять взаимное преобразование стандартов с использованием специально подобранных функций, основанных на математических теориях, таких как дискретизация, интерполяция и прогнозирование.

### 3.7.5 *Отрасли промышленности, проявляющие интерес к изображению высокого разрешения*

Если промышленность традиционного развлекательного телевидения развилась на базе единственного доминирующего стандарта (НТСЦ в США), то в отраслях промышленности не развлекательного характера применяется целый ряд собственных стандартов для неподвижных и движущихся изображений. В некоторых случаях неразвлекательных применений используется стандарт НТСЦ, однако возможности стандарта НТСЦ не всегда удовлетворяют предъявляемым к нему требованиям.

Как представляется, в настоящее время многие считают, что техника достигла такого уровня развития, на котором будут приниматься многие новые стандарты, поэтому нельзя упустить возможность гармонизации различных стандартов изображения и видеоинформации. Сторонники гармонизации — это в основном представители промышленности по производству вычислительной техники, компьютерной графики, промышленности средств связи и академические круги.

Представители вышеуказанных отраслей видят преимущества принципа взаимной работоспособности в возможности пользоваться общей технической базой совместно с крупным рынком бытовой телевизионной аппаратуры, что позволит расширить объем продаж оборудования для неразвлекательных применений изображения и видеоинформации.

### 3.7.6 *Конкретные признаки взаимной работоспособности*

Некоторые конкретные признаки систем, связанных с использованием изображения и способствующих введению взаимной работоспособности, описаны ниже.

#### 3.7.6.1 *Цифровое представление*

В системах «Диджисайфер», ЦСС-ТВЧ, ПЦТ и АТВО-П применяется цифровая обработка сигналов и предусматривается цифровое вещание, поэтому они удовлетворяют главному требованию обеспечения взаимной работоспособности, а именно требованию цифрового представления сигналов.

#### 3.7.6.2 *Прогрессивная развертка*

Применение прогрессивной развертки в растровых системах формирования последовательностей изображения в определенной мере упрощает фильтрацию и интерполяцию, используемые при взаимном преобразовании стандартов с неодинаковым числом строк, неодинаковым числом отсчетов в строке и различающимися параметрами временной дискретизации (то есть с различной кадровой частотой). Прогрессивная развертка используется в системах ЦСС-ТВЧ и АТВО-П.

#### 3.7.6.3 *Квадратные элементы изображения*

Для компьютерной графики желательно равенство геометрических расстояний между отсчетами горизонтальной строки и между отсчетами, разнесенными по вертикали, поскольку при этом упрощается обращение с объектами, которые могут подвергаться преобразованиям уже после синтеза. Квадратные элементы изображения используются в системах ЦСС-ТВЧ и АТВО-П.

#### 3.7.6.4 *Введение заголовков и дескрипторов в данные*

Важная область, где имеется согласие между сторонниками взаимной работоспособности и гармонизации стандартов изображения и видеоинформации, связана с желательностью введения в поток видеоданных заголовков и дескрипторов. Назначение этих элементов сигнала заключается в надежном и однозначном опознавании структуры данных. Заголовки могут нести информацию о том, как были получены изображения или последовательности изображений, как они обрабатывались и как осуществлялось сжатие спектра. Для обеспечения возможности самоопознавания потоков данных изображения заголовки могут использовать малую долю общего цифрового потока.

Системы «Диджисайфер», ЦСС-ТВЧ, ПЦТ и АТВО-П передают дополнительные данные в цифровой форме. Часть пропускной способности канала, отводимая для дополнительных данных, могла бы использоваться для передачи заголовков и дескрипторов с целью сделать цифровые потоки самоопознавательными.

### 3.8 Другие наземные системы

Для доставки программ цифрового ТВЧ населению будет использоваться ряд наземных распределительных систем. Эти системы, такие как кабельные, радиокабельные (MMDS) и волоконно-оптические сети, будут иметь свои собственные, присущие только им ограничения, налагаемые на характеристики каналов передачи. Важно, чтобы выбранная система была бы нечувствительна к этим ограничениям передачи. В некоторых разделах плана испытаний такие ограничения учтены. В конечном счете качество принимаемого сигнала не должно зависеть от среды доставки этого сигнала телезрителю.

## 4. Заключение

Продемонстрирована возможность цифрового наземного телевизионного вещания в рамках ограничений имеющихся в настоящее время диапазонов ОВЧ/УВЧ.

Во всем мире проводятся исследования разнообразных методов кодирования источника, канального кодирования и модуляции с надеждой на то, что эта работа приведет к значительному прогрессу в данной области техники и укрепит уверенность в получении качественных показателей.

---