

Лекція 3

3 СИСТЕМЫ И СТАДАРТЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

3.1 Общие сведения о цифровых системах (наземного эфирного, спутникового и кабельного телевидения) и основных стандартах (ATSC, DVB, ISDN) цифрового телевидения

Технологии цифрового телевизионного вещания определены открытыми международными стандартами, которые разработаны интернациональным консорциумом из 270 организаций и опубликованы техническим комитетом JTC (Joint Technical Committee) Европейского института стандартизации электросвязи ETSI, Европейским электротехническим комитетом стандартизации CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) и Европейским радиовещательным союзом EBU (European Broadcasting Union). Эти стандарты определяют технологии, протоколы физического и канального уровней систем вещания, форматы передаваемых данных [1].

Можно выделить пять основных систем (механизмов) передачи ТВ-трафика конечным потребителям — **наземные** (эфирное вещание), **спутниковые, кабельные, системы мобильного телевидения и системы телевидения с использованием IP (IPTV)**.

Иногда выделяют и так называемые сотовые системы: MMDS (Multichannel Microwave Distribution System), LMDS (Local Microwave Distribution System), MWS (Multimedia Wireless System), развертываемые в диапазонах 2,5-2,7; 10,5-10,7; 27,5-29,5 и 40,5-43,5 ГГц. Однако появление систем мобильного цифрового телевидения и новых стандартов широкополосного радиодоступа группы IEEE 802.16 (WiMAX) усложнило их продвижение на рынок услуг доставки программ телевидения.

Все перечисленные системы телевизионного вещания являются по существу широкополосными сетями передачи информации, характерная

особенность которых — выраженная асимметрия трафика.

Стратегический вопрос развития телевидения в государстве — сеть наземного эфирного телевизионного вещания, а следовательно выбор стандартов передачи сигналов. Несмотря на многообразие стандартов цифрового вещания, в области массового вещания столкнулись два базовых стандарта передачи сигнала: ATSC (Advanced Television Systems Committee, США) и DVB (Digital Video Broadcasting, Европа). Оба стандарта предусматривают все основные операции над цифровым сигналом при его формировании, которые характерны практически для любой цифровой системы передачи: скремблирование; внутреннее и внешнее помехоустойчивое кодирование и перемежение; модуляция; преобразование вверх по частоте в заданный диапазон (рис.3.1). На приемном конце операции обработки сигналов выполняются в обратном порядке.

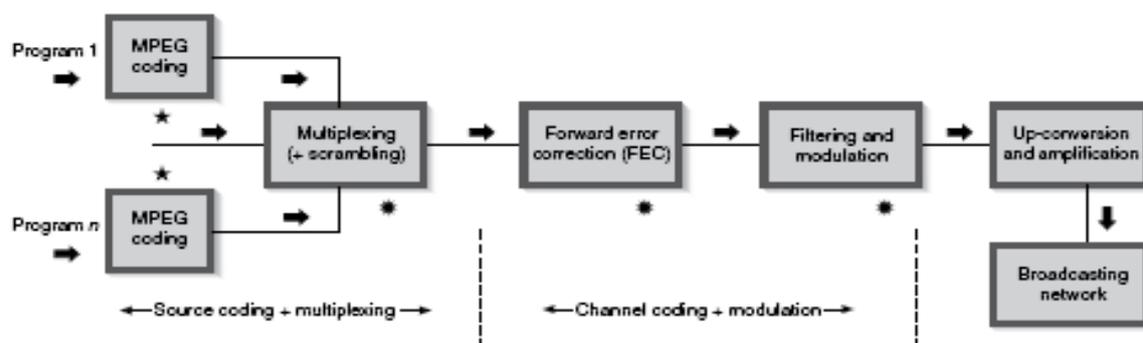


Рисунок 3.1 – Основные операции над цифровым ТВ сигналом на передающей стороне

В США при выборе стандарта цифрового телевизионного вещания основное внимание уделяли повышению качества изображения. При этом увеличение числа каналов со стандартным качеством изображения не рассматривалось. Очевидно, что изображение с высоким

разрешением проявляет себя на дорогих телевизорах с большим экраном — не меньше 32 дюймов, еще лучше — 55-60 дюймов.

В Европе при разработке цифровой телевизионной системы DVB учли печальный опыт развертывания аналогового коммерческого телевизионного вещания высокой четкости системы MAC (Multiplexed analog components). Поэтому основное внимание было уделено увеличению числа каналов со стандартной разрешающей способностью. Это позволило начать переход к ЦТВ с выпуска относительно дешевых (200-400 долларов) приставок для уже имеющихся телевизионных приемников. Кроме того, европейский стандарт рассматривается как основа для единой телекоммуникационной системы, ориентированной на передачу данных самой различной природы, отсюда требования к низкой вероятности ошибок.

Американская система ATSC ориентирована на трансляцию в полосе шириной 6 МГц (стандартная ширина канала американской системы аналогового ТВ NTSC) одного потока со скоростью 19,28 Мбит/с при наземном вещании и двух таких потоков — в сетях кабельного телевидения.

Европейская система DVB гораздо гибче: в стандартной полосе 8 МГц он обеспечивает выбор скорости в диапазоне от 4,98 до 31,67 Мбит/с (возможна работа в регионах с каналами шириной 6 и 7 МГц). Соответственно изменяется и число ТВ-программ в этой полосе — от 16 до 2, причем, возможна одновременная трансляция программы с низким разрешением, но высокой надежностью и высоким разрешением при пониженной надежности приема. Уникальная особенность DVB - это мобильность приемника, он может перемещаться со скоростью до 300 км/ч — поезда, междугородний пассажирский автотранспорт, мобильные службы (скорая помощь, полиция) и т. п. Однако самое существенное это значительно более высокая, чем ATSC, надежность доставки сигнала. DVB в реальных условиях этот механизм

выигрывает по надежности, но и по гибкости, требованиям к приемным антеннам.

Эти стандарты аналогичны в том смысле, что оба ориентированы на передачу видео- и аудиоданных, кодированных и компрессированных в соответствие с алгоритмами MPEG. Звук может кодироваться и с помощью других алгоритмов, например, Dolby AC-3. Противостояние американского и европейского стандартов, по крайней мере для Украины, уже вопрос прошлого, поскольку выбор в пользу DVB сделан окончательно.

Рассмотрим основные особенности конкурирующих стандартов ATSC и DVB подробнее.

3.2 Особенности стандарта ATSC

Этот стандарт разрабатывался с учетом того, что какое-то время в одном диапазоне будут транслироваться сигналы как в стандарте ATSC, так и в действующем в США аналоговом стандарте NTSC. Постепенно NTSC должен быть вытеснен, и весь занятый аналоговым вещанием диапазон станет цифровым. В отличие от ATSC, спектр NTSC достаточно неравномерен. Поэтому для борьбы с интерференционными помехами в ATSC предусмотрен режекторный гребенчатый фильтр с подавлением основных составляющих сигнала NTSC (яркость, цвет и звук). Однако данный фильтр вдвое ухудшает для приемника соотношение сигнал/шум, поэтому он включается, только если приемник обнаруживает в эфире NTSC-сигнал.

Принятая в ATSC многопозиционная амплитудная модуляция с частично подавленной боковой полосой VSB (Vestigial - Sideband modulation system for Broadcast) может содержать от 2 (2-VSB) до 16 (16-VSB) уровней модуляции, симметрично расположенных относительно 0. В наиболее сложных условиях доставки TV сигнала, наземном эфирном вещании,

используется 8T-VSB с предварительным решетчатым (сверточным) кодированием со скоростью $2/3$ (T — от trellis, решетка). Амплитуда сигнала в 8-VSB принимает значения, пропорциональные целым числам от -7 до 7 с шагом 2 . В кабельном вещании принята 16-типозиционная модуляция 16-VSB, обеспечивающая более высокую спектральную эффективность.

На вход VSB-системы поступают пакеты MPEG-2 объемом 188 байт (рис. 3.1). Из них удаляется байт синхронизации, так как в системе используется собственная синхронизация внутри потока данных. К оставшимся 187 байтам добавляется 20 проверочных байт кода Рида-Соломона. Дополнительно включенный в 8T-VSB, решетчатый кодер превращает каждые 2 бита получившегося 207-байтного слова в 3 бита, т. е. в один символ. Очевидно, что скорость передачи данных пропорциональна двоичному логарифму от числа уровней амплитудной модуляции (число бит на символ), однако, чем больше уровней, тем ниже помехозащищенность. Частота следования символов в VSB — $10,76$ МГц. В результате скорость в при 16-VSB, где каждым 4 битам соответствует один символ, в 2 раза выше ($38,6$ Мбит/с), чем при 8T-VSB ($19,3$ Мбит/с), поскольку для передачи одного пакета требуется вдвое меньше символов. Однако и пороговый уровень соотношения сигнал/шум у данных систем соответственно $28,3$ и $14,9$ дБ. В итоге в 8T-VSB каждый байт превращается в 4 символа, 207 байт

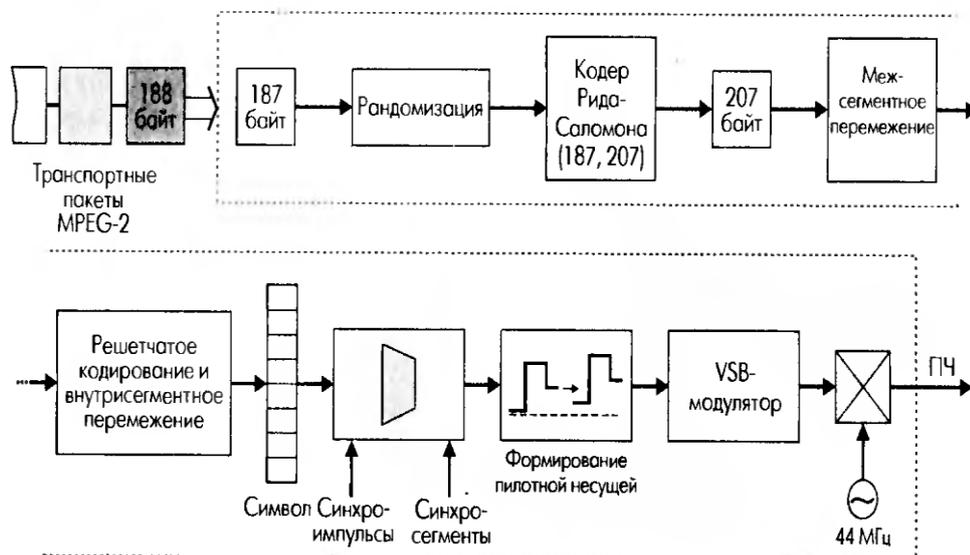


Рисунок 3.2 – Формирование сигнала в системе 8Т-VSB

кодированного пакета — в 828 символов. Вместо синхробайта MPEG-2 используется синхросигнал (бросок амплитуды с уровня 5 до уровня -5) длительностью 0,37 мкс, что соответствует 4 символам. Получившиеся $828 + 4 = 832$ символа образуют сегмент. Каждые 312 сегментов данных и дополнительный синхросегмент объединяются в поле данных, два поля данных — в кадр (626 сегментов). Синхросегмент содержит ряд опорных последовательностей для настройки корректоров приемника, информацию о числе уровней модуляции и (только в 8Т-VSB) 12 последних символов предшествующего сегмента.

Перед поступлением на вход кодера Рида-Соломона данные входного потока подвергают скремблированию (рандомизации)— превращают в псевдослучайные числа. Для этого каждый байт входного потока побитно складывается по модулю 2 с циклической псевдослучайной последовательностью. Генератором этой последовательности служит сдвиговый регистр из 16 триггеров, охваченный набором обратных связей. Во время синхроимпульса первого сегмента данных каждого поля в регистр загружается число $F180_{16}$. Восемь выходов регистра формируют поток байтов псевдослучайной последовательности. В результате сигнал становится шумоподобным, его спектральная плотность равномерно распределяется по полосе и практически не зависит от характера изображения. Кроме повышения спектральной эффективности улучшается и синхронизация передачи: поскольку уровни модуляции симметричны относительно 0, а амплитуды информационных символов достаточно случайны, средний уровень сигнала также близок к 0. На этом фоне легко детектировать периодически повторяющийся синхроимпульс и синхросегмент, даже при отношении сигнал/шум 0 дБ.

Поскольку средний уровень информационных сигналов близок к 0, амплитуда несущей при амплитудной модуляции также была бы

нулевой. Но несущая в качестве пилот-сигнала необходима в данной системе для восстановления синхронизации в приемнике, поэтому вводят смещение — уровень каждого сигнала данных увеличивают на 1,25 единицы. Это соответствует появлению маломощного периодического сигнала несущей, добавляющего лишь 0,3 дБ к общей мощности сигнала. Данного уровня достаточно для детектирования несущей даже при отношении сигнал/шум 0 дБ.

Кодирование по алгоритму Рида-Соломона защищает информацию от кратковременных помех (до 10 ошибочных байт на 207-байтное слово. Для борьбы с длительными помехами в VSB введено межсегментное перемежение (после кодера Рида-Соломона все байты одного пакета распределяются по 52 сегментам одного поля данных). Таким образом, даже если сегмент пропал, после деперемежения в каждом пакете окажется незначительное число поврежденных байтов, которые восстановятся декодером. Механизм перемежения используется и после решетчатого кодирования (в 8T-VSB), в результате которого последовательные символы оказываются отстоящими друг от друга на 12 символов (внутрисегментное перемежение). После внутрисегментного перемежения в сегменты вводят синхросигналы и добавляют синхропакеты полей, после чего смещают на 1,25 уровень сигналов данных для включения пилотной несущей. Столь сложным сигналом модулируется несущая на промежуточной частоте (ПЧ) 44 МГц, которая затем переносится непосредственно в полосу заданного телеканала.

К сожалению, имея лучшие теоретические показатели пороговых соотношений сигнал/шум и энергетической эффективности сигнала (на бит информации) [5], ATSC недостаточно надежен при многолучевом распространении сигналов, что неизбежно в условиях городской застройки. При этом отраженный сигнал, пришедший с задержкой, уже является помехой по отношению к основному. И если уровень отраженного сигнала менее чем на 15 дБ отличается от прямого, приемник теряет

работоспособность — появляются помехи. То же самое относится и к приему сигналов от двух передатчиков. Поэтому заявленный выигрыш систем ATSC по отношению к DVB по показателю сигнал/шум в 4-6 дБ может проявиться разве что в лабораторных условиях. Практика же показывает, что в Нью-Йорке передатчик ATSC мощностью 350 кВт не обеспечивает 100% приема в радиусе 10 км, тогда как в Лондоне достаточно передатчика DVB-T мощностью 10 кВт для уверенного приема в радиусе 114 км. Приходится усложнять антенные системы, что, очевидно, создает для пользователей дополнительные трудности.

3.3. Общие сведения о стандарте DVB

Стандарт DVB, принятый в Европе, — это набор спецификаций, охватывающий кабельное DVB-C (Cable), спутниковое DVB-S (Satellite) и наземное DVB-T (Terrestrial) цифровое телевизионное вещание. Наиболее сложные алгоритмы формирования и обработки сигналов в стандарте DVB-T, поскольку условия работы при наземном вещании наиболее сложные.

В табл.3.1 дана общая характеристика основных групп стандартов DVB по областям применения и их важнейшие модификации. Детально принципы построения устройств формирования и обработки сигналов стандартов DVB-T (T2), DVB-S (S2) и DVB-C (C2) будут рассмотрены соответственно в 4-м, 5-м и 6-м разделах данной книги.

Кратко остановимся на основных операциях с сигналом в стандарте DVB. Предварительная обработка пакетов в DVB в принципе аналогична 8-VSB, хотя механизмы реализации функций различны. На вход кодера поступают транспортные пакеты MPEG-2 по 188 байт (1 синхробайт (всегда 47_{16}) + 187 байт данных).

Они рандомизируются посредством сложения по модулю 2 с двоичной псевдослучайной последовательностью (генератор — 15-разряд-

ный сдвиговый регистр). Генератор инициализируется через каждые восемь пакетов одним и тем же числом ($4B80_{16}$). Синхробайты не рандомизируют, каждый восьмой синхробайт инвертируют.

После рандомизации пакеты защищают кодом Рида-Соломона, в результате чего к 188 байт добавляются 16 проверочных — возможно исправление до восьми ошибочных байт на кодированный 204-байтный пакет.

Следующая операция – внешнее перемежение. 204-байтные пакеты перемешиваются, причем так, что синхробайты остаются на своих местах.

Затем следует внутреннее сверточное кодирование. Его реализует сдвиговый регистр из шести триггеров, превращающий каждый входной бит в два выходных (скорость кодера $1/2$). В DVB можно выбирать скорость сверточного кодирования $1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$.

До сих пор функционально все было аналогично системе 8-VSB. Принципиальные различия, связанные с используемыми видами модуляции радиосигнала.

Для обеспечения высокой спектральной эффективности используются другие виды квадратурной многопозиционной модуляции (см. табл. 3.1). При этом для повышения эффективности борьбы с замираниями сигналов, связанными с переотражениями сопровождающими наземное эфирное телевидение, в стандарте, DVB-T дополнительно используется ортогональная частотная модуляция (OFDM) со специальными защитными интервалами, а также гибкое управление параметрами помехоустойчивого кодирования. Это позволяет гибко варьировать степень помехозащищенности и скорость передачи в зависимости от реальной помеховой обстановки. Данные возможности позволяют создавать системы эфирного цифрового телевидения, оптимальные для каждого населенного пункта или города. Стандарт DVB-T позволяет применять обычное устаревшее антенно-распределительное оборудование без всяких доработок, тогда как в ATSC необходимо применение узконаправленных ТВ антенн с

возможностью подстройки (при помощи мотора), не гарантирующее при этом уверенный прием.

Таблица 3.1– Основные группы DVB стандартов по областям применения

Название стандарта	Назначение	Описание	Модуляция
DVB-S	Спутниковые вещание (<i>Satellite services</i>)	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через спутник.	Квадратурная фазовая модуляция QPSK, 8PSK, квадратурная амплитудная модуляция (16-QAM)
DVB-S2	Спутниковое вещание второго поколения (<i>Satellite 2nd generation</i>)	То же, что DVB-S, с возможностью использовать дополнительные типы модуляции с увеличением пропускной способности канала связи в несколько раз, а также иными усовершенствованиями.	QPSK, 8PSK, 16APSK или 32APSK,
DVB-SH	Спутниковое мобильное вещание (<i>Satellite handheld</i>)	Спутниковое/наземное вещание, с возможностью мобильного приёма. Возможность совместного использования спутниковых и наземных систем связи (гибридные сети).	QPSK, 8PSK, 16APSK
DVB-C	Кабельное вещание (<i>Cable</i>)	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через кабельные сети.	16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM или 256-QAM,
DVB-C2	Кабельное вещание второго поколения (<i>Cable 2nd generation</i>)	Цифровое кабельное телевидение второго поколения	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM
DVB-T	Наземное эфирное вещание (<i>Terrestrial</i>)	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через сети наземного эфирного телевидения (стационарный приём).	16-QAM или 64-QAM (или QPSK) совместно с COFDM
DVB-T2	Эфирное вещание второго поколения (<i>Terrestrial 2nd generation</i>)	То же, что DVB-T, с использованием новых режимов модуляции и канального кодирования, что увеличивает пропускную способность канала связи по сравнению с DVB-T в два раза. Данный стандарт несовместим с DVB-T.	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM совместно с OFDM
DVB-H	Наземное эфирное мобильное вещание (<i>Handheld</i>)	То же, что DVB-T, только для подвижного приёма.	OFDM

DVB-IPDC	Передача данных через IP-протокол (<i>IP Datacast</i>)	Способ представления информации для мобильного телевидения DVB-H (в общем случае — для передачи по сетям IP).	
-----------------	--	---	--

Проекты, реализованные в настоящее время, показали неоспоримые преимущества стандартов DVB. В Австралии был проведен глубокий сравнительный анализ стандартов DVB-T и ATSC, результатом которого явился выбор DVB-T. В Сингапуре были проведены сравнительные испытания DVB-T, ATSC и японского стандарта ISDB-T, который является модификацией DVB-T, и выбор пал на стандарт DVB-T. Выделение диапазона для экспериментального вещания DVB-T в США также подтвердило преимущество этого стандарта перед ATSC, в частности, достигнуто реальное уменьшение мощности передатчика при сохранении приемлемого качества ТВ вещания.

Противостояние американского и европейского стандартов в Украине также вопрос прошлого, поскольку выбор в пользу DVB сделан окончательно. В ряде городов уже начались экспериментальные передачи цифрового телевидения в стандарте DVB-T2. К 2015 году планируется полный переход к цифровому телевизионному вещанию.

3.4 Особенности стандарта ISDB

В Японии цифровое телевидение появилось в октябре 1996г. Компания PerfecTV передавала сигнал с помощью DVB-S. Чуть позже, в декабре 1997г., на японский рынок цифрового телевидения вышла компания DirecTV, также предложившая вещание в том же формате. Однако стандарт DVB-S не полностью удовлетворял требованиям основных японских телерадиовещательных компаний, например компаниям NHK, Nippon Television, TBS, Fuji Television, TV Asahi, TV Tokyo и WOWOW. Именно по этой причине организация по стандартизации и распределению радиочастот

Association of Radio Industries and Businesses ([ARIB](#)) принялась за создание своего собственного стандарта для передачи цифрового телевидения и радио под единым названием Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB).

Стандарт [цифрового телевидения](#) ISDB интегрирует в себя различные виды цифрового контента. Это может быть [HDTV](#), [SDTV](#), звук, графика, текст и т.д. Требования к стандарту варьировались, но основными пунктами являлись: совместимость с [HDTV](#), высокая эффективность использования частотного диапазона, а также доступ к сети. К сожалению, вещательный спутник компании NHK обладал только четырьмя свободными транспондерами, поэтому NHK принудила ARIB к разработке [ISDB-S](#). Новый стандарт оказался в 1,5 раза более эффективным хtv [DVB-S](#). В итоге с помощью [ISDB-S](#) через один транспондер стало возможным передавать одновременно два [HDTV](#)-канала. В итоге получилось так, что [ISDB-S](#) – это модифицированный [DVB-S](#), не более того.

Сегодня в Японии систему вещания [ISDB-S](#) поддержали SKY PerfecTV!, Skyport TV, Sky D, CS burn, Platone, EP, DirecTV, J Sky B и PerfecTV!.

Основных спецификаций стандарта ISDB в настоящее время четыре:

- наземная([ISDB-T](#));
- спутниковая ([ISDB-S](#));
- кабельная ([ISDB-C](#));
- мобильная.

Также как и в стандартах [ATSC](#) и [DVB](#), для сжатия видеопотока при ISDB-вещании используется система кодирования [MPEG-2](#).

В стандарте ISDB определена поддержка функции защиты цифрового контента – [RMP](#) (Rights management & protection). Как известно, цифровой контент может быть записан с использованием [DVD](#) или [HD](#)-рекордера, а далее – использован при тиражировании пиратских дисков. Голливуд настоял на внесении поправок в цифровой формат вещания ISDB, что и стало причиной появления системы [RMP](#). Любой цифровой контент при использовании данной системы имеет три возможных маркировки – "сору

once", "copy free" и "copy never". Пояснить работу системы просто. Если программа идёт в режиме "copy once", то она может быть единожды сохранена на жестком диске рекордера, однако её не возможно будет записать на какой-либо ещё носитель.

В ISDB используется транспортный поток [MPEG-2](#) для передачи сжатых видео и звука, а также дополнительных данных. Для интерактивных приложений применяется BML (Broadcast Mark-up Language — язык разметки вещания). Определены несколько стандартных разрешений телевизионной трансляции: [SDTV](#) (720×480); [HDTV](#) (1280×720 или 1920×1080).

Кроме [MPEG-2](#), специфицировано кодирование видео по [MPEG-4](#) для разрешений [CIF](#), [SIF](#), [QCIF](#), [QSIF](#) и [QVGA](#), но оно не является обязательным.

Основной метод сжатия звука — [MPEG-2 AAC-LC](#) с поддержкой до 5 каналов. Дополнительно специфицируется кодирование [MPEG-4](#).

В [ISDB-T](#) поддерживаются электронные программы передач EPG (Electronic Program Guides) вместе с передачей данных при обратном канале обычного доступа в Интернет (включая доступ через мобильный телефон, проводную локальную сеть 10/100Base-T, модем телефонной линии фиксированной связи, беспроводную локальную сеть [IEEE 802.11](#)).

Важная особенность ISDB — обязательное шифрование информации, даже при передаче бесплатных общенациональных телепрограмм. Для этого нужны карточки доступа абонента B-CAS одноименной японской компании, предоставляемые с каждым проданным аппаратом. Более того, тщательно проработаны вопросы защиты контента и управления правом доступа [RMP](#) (Rights management and protection).

Важное внимание уделяется уверенному приему на внутренние антенны, защите от внешних импульсных помех а также движущимися приемниками. Например, стандарт [ISDB-T](#) предусматривает прием сигнала

[HDTV](#) в автомобиле на скорости до 100 км/час, тогда как [DVB](#) допускает прием на мобильный терминал только программ [SDTV](#), а в стандарте [ATSC](#) вообще не предусмотрен подвижный прием.

Спутниковая версия [ISDB-S](#) (BS) имеет скорость 52,2 Мбит/с при модуляции [8PSK](#) и транспондере с полосой 34,5 МГц. Унаследованный вариант CS поддерживает только один транспортный поток в транспортном канале со скоростью 34 Мбит/с в полосе 27 МГц. Используется модуляция [QPSK](#), а также [MPEG-2](#) MP@ML (480i или 480p) для видео и [MPEG-2](#) BC для звука.

Для кабельной спецификации [ISDB-C](#) определена модуляция [64QAM](#) в двух версиях (один транспортный поток — один тракт, либо несколько потоков в тракте). При этом в двух кабельных каналах возможна ретрансляция одного спутникового канала либо сквозная передача [OFDM](#)-сигнала [ISDB-T](#).

[ISDB-T](#) (модуляция [PSK/QAM](#) с мультиплексированием [COFDM](#)) обеспечивает поток 23,2 Мбит/с в полосе 5,6 МГц, а также цифровое радиовещание в частотном диапазоне 2,6 ГГц с модуляцией CDM.

Стандарт ISDB действует в Японии с конца 2003 года. Он также принят в Бразилии, Чили, Перу и Аргентине.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите и кратко охарактеризуйте основные системы передачи ТВ-трафика конечным потребителям.
2. Каковы основные операции над цифровым ТВ сигналом и порядок их выполнения на передающей стороне.
3. Каковы основные операции над цифровым ТВ сигналом и порядок их выполнения на приемной стороне.
4. Назовите и кратко охарактеризуйте основные стандарты цифрового телевидения.

5. Поясните сущность американского стандарта цифрового телевидения ATSC.
6. Поясните сущность европейского стандарта цифрового телевидения DVB.
7. В чем сущность принятой в ATSC многопозиционной амплитудной модуляции VSB
8. Назовите основные группы стандартов DVB по областям их применения.
9. Поясните сущность и основные особенности японского стандарта цифрового телевидения ISDB.

Литература к разделу 3

1. Hervé Benoit. Digital television : satellite, cable, terrestrial, iptv, mobile tv in the dvb framework / Hervé Benoit. – 3rd ed. 2008. -290 p.
2. Локшин Б.А. Цифровое вещание: От студии к телезрителю. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. -446 с.
3. ISDB-T – Digital terrestrial broadcasting in Japan. TV Test Transmitter R&S SFQ / R&S SFL. News from Rohde&Schwarz. Number 177 (2003/ I)
4. Takahashi Yasuo. Feature/Standard Structure of ISDN-T. Digital Broadcasting Expert Group (DiBEG). Japan (Toshiba). February, 2008.
5. Мамчев Г.В. Основы радиосвязи и телевидения. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. -416 с.
6. Зубарев Ю.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. –М.: НИИР, 2001. – 568 с.