

*Представленний аналіз принципів побудови систем цифрового наземного телебачення і їх основні характеристики, які дозволяють орієнтуватися при вирішенні конкретних питань побудови систем в цілому і виборі її технічних параметрів з урахуванням особливості рельєфу місцевості Сирійської Арабської республіки*

*Ключові слова: цифрове наземное телебачение, модели распространения радиоволн, критерий планирования*

*Представлен анализ принципов построения систем цифрового наземного телевидения и их основные характеристики, которые позволяют ориентироваться при решении конкретных вопросов построения систем в целом и выборе её технических параметров с учетом особенностей рельефа местности Сирийской Арабской республики*

*Ключевые слова: цифровое наземное телевидение, модели распространения радиоволн, критерии планирования*

*The analysis of principles of construction of the systems of digital surface television and their basic descriptions which allow to be oriented at the decision of concrete questions of construction of the systems on the whole and choice of its technical parameters taking into account the feature of hypsography the Syrian Arabic republic is presented*

*Keywords: digital terrestirial television, models of distribution of radio waves, planning criteria*

УДК 621.396

# АНАЛИЗ СЕТЕЙ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ВЕЩАНИЯ ДЛЯ СТРАН СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ

Гассан Халиль

Аспирант

Одесская национальная академия связи им.  
А.С.Попова  
ул. Ковальская, 1, г. Одесса, Украина, 65029  
Контактный тел.: 8-063-799-44-37  
E-mail: odessa\_9010@yahoo.com

## Введение

Внедрение наземного цифрового телевизионного вещания в Сирийской Арабской Республике является одной из первых наиболее значимых задач, имеющих практическое значение для широких слоев населения страны. Для реализации внедрения этой службы важное значение имеет выбор системы цифрового вещания и ее технических параметров с учетом конкретных условий, разработка принципов и выбор критериев планирования цифровой радиовещательной службы, в том числе выбор наиболее эффективной модели распространения радиоволн с учетом сложного гористого рельефа местности, а также с учетом статистики национальной системы вещания и анализа системы частотных присвоений в Плане „Женева-06”. Решению соответствующих задач посвящена данная статья.

## Основные принципы построения систем наземного цифрового телевидения

**Система ATSC.** Система ATSC была специально разработана так, чтобы к каждому действующему передатчику NTSC в Соединенных Штатах Америки можно было добавить цифровой передатчик с сопоставимой зоной охвата (по площади и численности населения) и минимальным мешающим воздействием на существующую службу вещания NTSC. Поставленная задача была не только выполнена, но и перевыполнена.

Система ATSC достаточно эффективна и способна работать в различных условиях, т. е. при наличии свободных каналов, либо (как было реализовано в США) в жестких условиях организации 1600 дополнительных каналов в переполненном спектре и необходимости обеспечить прием с помощью наружных (расположенных на крыше) или портативных антенн.

Система ATSC была разработана также исходя из требований защиты от многолучевого распространения, обеспечения эффективного использования спектра, а также простоты частотного планирования.

**Система DVB-T.** В систему DVB-T с самого начала разработки была заложена гибкость в отношении использования всех возможных каналов: она позволяет работать не только в свободных каналах, но допускает частотное планирование с перемежением каналов и даже вещание единой программы разными передатчиками в совмещенном канале (одночастотные сети). Она также обеспечивает гибкость обслуживания, предоставляя возможность приема на антенны, расположенные на крыше, а при желании осуществлять прием на переносные приемники. Мобильный прием возможен при использовании КАМ-4, а также вариантов модуляции более высокого порядка, что подтверждено многочисленными лабораторными измерениями и полевыми испытаниями в различных условиях работы каналов.

При разработке системы DVB-T также учитывалось требование обеспечить устойчивость к помехам от задержанных сигналов, обусловленных как отражениями от земного рельефа или зданий, так и сигналами удаленных передатчиков одночастотной сети – нового предоставляемого системой средства планирования сетей ТВ-вещания, которое позволяет повысить эффективность использования спектра, что необходимо в условиях его частичной перегрузки, как это имеет место в Европе.

Однако стандарт DVB-T входит в семейство стандартов, охватывающих спутниковые (DVB-S) и кабельные (DVB-C) каналы. Во всех стандартах используется видео и звуковое кодирование MPEG-2, равно как и мультиплексирование MPEG-2. Они имеют общие свойства в части используемой стратегии коррекции ошибок. Главное отличие заключается в методах модуляции, которые специфичны для каждой среды передачи (спутниковый, кабельный или наземный канал связи).

Различаются и предоставляемые этими видами каналов пропускные способности, причем более высокие цифровые потоки предоставляются спутниковыми и кабельными системами. Тем не менее, при наличии необходимого цифрового потока возможен перенос программ из одного вида канала к другому.

Система DVB-T дает возможность выбирать ряд параметров, которые позволяют приспосабливать систему к широкому диапазону отношений несущая/шум и характеристикам каналов, обеспечивая стационарный, мобильный или портативный прием, на основе компромисса в отношении используемой скорости передачи информации.

Имеющийся диапазон параметров позволяет вещателям выбирать режимы, соответствующие планируемым применением. Например, для обеспечения приема на портативные приемники требуется очень устойчивый режим (с соответствующим снижением полезной нагрузки). Если при планировании службы предусмотрено применение перемежающихся каналов, то можно использовать режим с умеренной устойчивостью и большей полезной нагрузкой. А если для реализации цифрового телевизионного вещания имеется в наличии свободный канал, то можно ис-

пользовать режим с меньшим уровнем защиты и максимальной полезной нагрузкой. Это демонстрирует особую гибкость системы DVB-T, которая позволяет пользователю оптимизировать систему, выбирая из различных предлагаемых режимов работы наиболее подходящий.

**Система ISDB-T.** ISDB (цифровое вещание с интеграцией служб) представляет собой новый тип вещания для мультимедийного обслуживания. Этот вид вещания систематически объединяет различные виды цифровых программ, которые могут включать в себя множество видеопрограмм (телевизионных программ от низкой до высокой четкости), множество звуковых программ, графическую и текстовую информацию и т.п. Большинство цифровых программ в настоящее время кодируются в формате транспортного потока MPEG-2 и распространяются по всему миру. В этой связи весьма желательно интегрировать цифровые программы на основе транспортных потоков MPEG-TS.

Поскольку ISDB охватывает целый ряд служб, эта система должна удовлетворять широкому кругу требований, которые могут различаться для разных служб. Например, для службы ТВЧ требуется высокая пропускная способность, а для таких услуг передачи данных, как доставка ключей условного доступа, скачивание программного обеспечения и т. п., требуется высокая готовность службы (или надежность передачи).

Для объединения таких сигналов, удовлетворяющих требованиям различных служб, желательно, чтобы системы передачи предоставляли ряд видов модуляции и/или схем защиты от ошибок, которые можно будет выбирать и комбинировать для максимального удовлетворения требований каждой из объединяемых служб.

Системы цифрового наземного вещания с интеграцией служб (ISDB-T) разрабатывались для обеспечения достаточной гибкости передачи не только телевизионных или звуковых программ, представленных в виде цифровых сигналов, но и организации мультимедийных служб, объединяющих такие различные виды цифровых данных, как видео, звуковая и текстовая информация, а также компьютерные программы.

Они нацелены на реализацию преимуществ, присущих земным радиоволнам, и при использовании сегментированной схемой OFDM могут обеспечить стабильный прием на компактные, легкие и недорогие мобильные приемники в дополнение к интегрированным приемникам домашнего пользования.

Благодаря использованию кодирования и мультиплексирования по системе MPEG-2 в системе ISDB-T имеются элементы, совпадающие по функционированию и приему с системами цифрового спутникового вещания и связи. Система ISDB-T также предоставляет возможность гибкой многопрограммной адаптации к различным условиям приема с использованием иерархической передачи в каналах, которые подразделяются на сегменты OFDM (системы с ортогональным частотным разделением каналов), в которых возможен независимый выбор параметров передачи.

Поскольку система ISDB-T использует для модуляции схему сегментированного OFDM, перед формированием цикла OFDM должно быть выполнено

перемультиплексирование транспортного потока и его разбиение на группы данных (информационные сегменты).

Каждый такой сегмент имеет полосу шириной  $B/14$  МГц (где  $B$  – ширина полосы канала наземного ТВ вещания, составляющая 6, 7 или 8 МГц, в зависимости от региона), так что один сегмент занимает полосу шириной  $6/14$  МГц (~428,57 кГц),  $7/14$  МГц (~500 кГц) или  $8/14$  МГц (~571,29 кГц).

В каждый сегмент вводятся пилот-сигналы, которые обеспечивают управление передачей и схемой мультиплексирования (TMCC). Несущие TMCC (введенные пилот-сигналы) используются для сигнализации о параметрах, относящихся к схеме передачи, т. е. к канальному кодированию, модуляции и уровню иерархии.

Благодаря сегментации и введению пилот-сигналов, каждый сегмент может иметь свою собственную схему защиты от ошибок и/или свой тип модуляции (DQPSK, KAM-4, KAM-16 или KAM-64). Кроме того, каждый сегмент может удовлетворять требованиям интегрируемой службы, а несколько сегментов могут быть гибко объединены для реализации интегрированной широкополосной службы (например, HDTV).

#### Сравнение основных параметров и характеристик систем цифрового вещания

Основные параметры систем ISDB-T, DVB-T и ATSC обозначаемой в МСЭ-R как система С представлены в таблице 1[ 1].

Таблица 1

Основные параметры систем ISDB-T, DVB-T и ATSC для нескольких несущих на 8 МГц

№	Характеристики систем цифрового вещания	Система ISDB-T	Система DVB-T	система ATSC
1	Используемая ширина полосы	$Bw \times Ns + Cs$ 7,434 МГц (режим 1) 7,431 МГц (режим 2) 7,430 МГц (режим 3)	6,66 МГц	7,00 МГц (-3 дБ)
2	Число излучаемых несущих	1 405 (режим 1) 2 809 (режим 2) 5 617 (режим 3)	1 705 (режим 2k) 3 409 (режим 4k) 6 817 (режим 8k)	1
3	Метод модуляции	ДКФМН, КФМН, 16-уровневая КАМ, 64-уровневая КАМ	КФМН, 16-уровневая КАМ, 64-уровневая КАМ, 16-уровневая КАМ с несколькими разрешениями, 64-уровневая КАМ с несколькими разрешениями	8-уровневая с ЧПБП
4	Активная длительность символа	189 мкс (режим 1) 378 мкс (режим 2) 756 мкс (режим 3)	224 мкс (режим 2k) 448 мкс (режим 4k) 896 мкс (режим 8k)	71,4 нс
5	Общая длительность символа или сегмента	237,25; 212,625; 200,8125; 194,90625 мкс (режим 1) 472,5; 425,25; 401,625; 389,8125 мкс (режим 2) 945; 850,5; 803,25; 779,625 мкс (режим 3)	231; 238; 252; 280 мкс (режим 2k) 462; 476; 504; 560 мкс (режим 4k) 924; 952; 1 008; 1 120 мкс (режим 8k)	59,4 мкс (сегмент)
6	Длительность кадра передачи	204 символа ОЧУ	68 символов ОЧУ. Один суперфрейм состоит из четырех кадров	37,2 мс
7	Внутреннее перемежение	Перемежение внутри сегментов и между сегментами (частотное перемежение). Посимвольное сверточное перемежение 0, 95, 190, 380 символов (временное перемежение)	Перемежение битов в сочетании с естественным или детальным	28 (независимо кодированных потоков, перемежающихся во времени)
8	Внутренний канал	Сверточный код, скорость $1/2$ с 64 состояниями. Выкашивание на скорость $2/3, 3/4, 5/6, 7/8$	Сверточный код, скорость $1/2$ с 64 состояниями. Выкашивание на скорость $2/3, 3/4, 5/6, 7/8$	Решетчатое кодирование со скоростью $R = 2/3$ , каскадное кодирование со скоростью $R = 1/2$ или решетчатое кодирование со скоростью $R = 1/4$
9	Код Рида-Соломона (PC) внешнего канала	PC (204,188, T = 8)	PC (204,188, T = 8)	PC (207,187, T = 10), каскадное кодирование PC (184,164, T = 10)

## Продолжение таблицы 1

10	Внешнее перемежение	Побайтовое сверточное перемежение, $I = 12$	Перемежение битов в сочетании с естественным или детальным(5)	Сверточное перемежение байтов 52 сегментов, каскадное перемежение байтов 46 сегментов
11	ПСПС	ПСПС	16-битовая ПСПС	-
12	Временная/частотная синхронизация	Пилот-сигналы	Пилот-сигналы	Синхронизация сегментов, пилот-сигнал
13	Определение режима передачи	-	-	Символы режима в кадровой синхронизации
14	Чистая скорость передачи данных	Зависит от числа сегментов, модуляции, скорости кода, иерархической структуры и защитного интервала 4,87–31,0 Мбит/с	Зависит от модуляции, скорости кода и защитного интервала (4,98–31,67 Мбит/с для неиерархических режимов)	В зависимости от скорости кода модуляции 5,99–27,48 Мбит/с
15	Отношение несущая/шум в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ)	Зависит от модуляции и канального кода 5,0–23 dB	Зависит от модуляции и канального кода. 3,1–20,1 dB	В зависимости от канального кода, 15,19 dB, 9,2 dB, 6,2 dB

На основе приведенных параметров систем ISDB-T, DVB-T и ATSC можно разделить представленные системы по методам модуляции. В таблице 2 представ- лено сравнение характеристик систем с модуляцией COFDM и ОБП-8Т.

**Таблица 2**  
**Сравнение характеристик систем с модуляцией COFDM и ОБП-8Т**

Параметр		ОБП-8Т (ATSC)	COFDM (DVB-T и ISDB-T)	Примечание	
1.	Отношение пиковой к средней мощности сигнала	+	-		
2.	Характеристика системы				
	Отношение сигнал-шум в Гауссовом канале, dB				
	теоретически	14,8	15,2		
	экспериментально в радиоканале	15,1	17,4		
	E6/No				
	теоретически	9,7/10,5	10,4/11,7	DVB-T, R=2/3, ЗИ =1/32	
			11,4/12,7	DVB-T, R=3/4, ЗИ =1/32	
			12,7/14,0	ISDB-T, R=2/3, ЗИ =1/32	
			13,6/14,9	ISDB-T, R=3/4, ЗИ =1/32	
	экспериментально в радиоканале	10,1/10,9	13,1/14,4	DVB-T, R=2/3, ЗИ =1/32	
			14,1/15,4	DVB-T, R=3/4, ЗИ =1/32	
			13,2/14,4	ISDB-T, R=2/3, ЗИ =1/32	
			14,0/15,3	ISDB-T, R=3/4, ЗИ =1/32	
3.	Многолучевое распространение				
	статическая многолучевость				
	антенна на крыше	+	-		
	переносные приемники	-	++		
	динамическая многолучевость	-	+++		
4.	Прием внутри помещения	-	+++		
5.	Прием в движении	-	+++		
6.	Коэффициент шума приемника	одинаковый	одинаковый		
7.	Минимальный уровень сигнала	-	+		

## Продолжение таблицы 2

8.	Эффективность использования спектра			
	MFN	+	-	
	SFN	-	+++	
9.	Передача ТВЧ и многопрограммного ТСЧ	Да	да	
10.	Помехи аналоговым системам	Низкие	средние	За счет более низкого С/N
11.	Одночастотные сети			
	большие SFN сети	Нет	да	
	одноканальные ретрансляторы	Да	да	
12	Импульсные шумы	++	-	
13	Гармоническая помеха	-	++	
14	Помехи от аналоговых ТВ систем в совпадающем канале	одинаково	одинаково	
15	Помехи от цифрового телевидения в совпадающем канале	++	-	
16	Чувствительность к фазовым шумам	++	-	
17	Масштабируемость к различным полосам частот	одинаково	одинаково	
18	Иерархическая модуляция	Нет	Да	

При сравнении характеристик систем с модуляцией COFDM и ОБП-8Т в таблице 2 показали следующее:

- отношение пиковой к средней мощности сигнала. При прочих равных условиях ОБП-8Т имеет на 2,5 дБ более низкое отношение в 99,99% времени, это означает, что передатчик COFDM должен иметь больший запас по мощности.

- пороговое отношение сигнал-шум (С/N) в Гауссовом канале. В стандарте DVB-T данный параметр определяется как отношение сигнал-шум, при котором достоверность на входе кодера Рида-Соломона достигает  $2 \cdot 10^{-4}$ , на выходе канала в этом случае коэффициент ошибок менее  $10^{-11}$  – это практически среда, свободная от ошибок (QEF). В качестве критерия порога в стандарте ATSC принят так называемый "порог видимости" (Threshold of Visibility) – уровень ошибок, при котором они практически незаметны на экране (соответствует коэффициенту ошибок  $3 \cdot 10^{-6}$ , или 60 ошибкам в секунду). Оценка по соотношению сигнал-шум не учитывает также различия в скорости передачи в стандарте DVB-T при изменении защитного интервала. Пороговое отношение сигнал-шум – лишь один из опорных параметров, и далеко не самый важный. Данный параметр определяется для Гауссовой модели канала, а реальный канал эфирного вещания практически никогда не бывает Гауссовым из-за наличия отражений. Различие позиций американских и европейских специалистов сказывается и в подходе к частотному планированию. В США при планировании используется модель Гаусса, поэтому такое внимание уделяется снижению С/N. В Европе за основу взята модель Райса, в которой отношение С/N на 0,5...1 дБ выше, поэтому в расчеты закладывается запас 2 дБ по этому параметру.

- многолучевое распространение. Указано, что ATSC имеет некоторое преимущество при приеме

на направленную антенну, установленную высоко на крыше (уровень отраженной волны на 4...6 дБ ниже прямой), но совершенно теряет это преимущество при приеме на переносимые приемники и особенно в условиях динамической многолучевости. Особую трудность для ATSC представляют эхо-сигналы с большим опережением, типичные для SFN сети. Хотя для компенсации эхо-сигналов требуется повышенное отношение С/N, часть необходимой энергии сигнала может быть заимствована от самих эхо-сигналов.

- прием в движении. Как и для приема в помещении, только COFDM пригодна для приема на движущихся транспортных средствах. Это свойство подтверждено неоднократными испытаниями в трамваях, автомобилях и поездах на скоростях до 150 км/ч. Для верхней части дециметрового диапазона подходит режим "2к" с  $R = 1/2$  или  $2/3$ , в метровом диапазоне можно использовать режим "8к" (возможен прием в транспортном средстве сигналов больших SFN сетей). Хорошим решением проблемы нехватки радиоканалов может служить иерархическая модуляция, позволяющая принимать в движении с пониженным качеством сигнал, передаваемый для стационарных приемников с высоким качеством. Коэффициент шума приемника. При планировании служб в рамках МСЭ для цифрового эфирного телевидения был принят одинаковый коэффициент шума 5 дБ для ATSC и DVB-T в метровом диапазоне и различные значения – 10 дБ и 7 дБ соответственно – в дециметровом диапазоне. Этот запас позволяет частично компенсировать повышенное отношение С/N в канале COFDM.

- эффективность использования спектра. В режиме MFN некоторое преимущество имеет ATSC, так как из-за наличия защитного интервала скорость передачи в канале снижается на 24% ( $D = 1/4$ ), 19% ( $D = 1/8$ ), 10% ( $D = 1/16$ ) или 7% ( $D = 1/32$ ). Однако в режиме SFN преимущество DVB-T бесспорно.

- передача ТВЧ и многопрограммного ТСЧ. Обе системы допускают передачу ТВЧ программы в канале 6/7/8 МГц, хотя в полосе 6 МГц скорость передачи у DVB-T несколько ниже, чем требует американский стандарт. Благодаря меньшей мощности передатчика помехи от системы ATSC несколько ниже, чем от DVB-T.

- одночастотные сети. ATSC допускает использование маломощного ретранслятора для обслуживания теневых участков, работающего на той же частоте, но совершенно исключает построение больших одночастотных сетей.

- импульсные шумы. Теоретически COFDM должна бы иметь большую устойчивость к импульсным помехам вследствие усреднения коротких импульсов в процессоре быстрого преобразования Фурье на приеме, однако канальное кодирование и перемежение тоже играют важную роль. Благодаря более глубокому перемежению ATSC лучше справляется с импульсными шумами и вызываемыми ими пакетными ошибками.

- гармоническая помеха. Благодаря многочастотному характеру COFDM наличие гармонической или узкополосной помехи разрушит лишь небольшое число несущих, и потеря данных будет незначительна. Для одночастотной ОБП-8Т влияние может оказаться более существенным и привести к закрытию глазковой диаграммы. Преимущество COFDM достигает 10 дБ.

- иерархическая модуляция. Способность к иерархической модуляции, бесспорно, очень важное свойство COFDM, которым не обладает ОБП-8Т. Потоки разного приоритета могут использоваться для вещания разных программ или одной и той же программы на разные части зоны обслуживания, или для разных категорий абонентов. Разница в значении С/N между потоками разных приоритетов должна быть не менее 10 дБ.

- гибкость системы. Спецификация DVB-T предлагает вещателю широкий выбор режимов работы, включая режим "2к" или "8к", вид модуляции, относительную скорость кода, защитный интервал, что дает в результате 120 комбинаций для неиерархической и 1200 для иерархической передачи. Вещатель может выбрать скорость передачи и другие параметры таким образом, чтобы оптимизировать распределение программ в желаемой зоне покрытия с учетом рельефа местности, имеющегося абонентского оборудования и других особенностей конкретной вещательной системы. ОБП-8Т такой гибкостью не обладает.

Таким образом, каждая система имеет свои преимущества и недостатки. Сигнал ATSC более устойчив

в Гауссовом канале, менее чувствителен к импульсным шумам, имеет меньшее отношение пиковой к средней мощности в канале, более подходит для реализации многочастотных сетей вещания (MFN). Обе системы примерно равнозначны по влиянию помех от аналогового телевидения и по воздействию отраженных сигналов низкого уровня. DVB-T имеет преимущества в условиях сильных отражений, при которых отраженный сигнал равен по с основным, при значительном запаздывании и опережении отраженного сигнала, при многолучевости изменяющейся во времени, более пригоден для одночастотных сетей (SFN) и при приеме в движении.

## Выводы

Результаты анализа сводятся к следующему:

1. Представлен анализ принципов построения систем цифрового наземного телевидения их основные характеристики, которые позволяют ориентироваться при решении конкретных вопросов построения систем в целом и выборе её технических параметров.

2. Учитывая особенности рельефа местности Сирийской Арабской республике целесообразно рекомендовать использование стандарта DVB-T в частотных диапазонах III, IV и V. Это обуславливается учетом использования совместным использованием стандартов DVB-T и T-DAB в частотном диапазоне III, а также дальнейшим внедрением систем телевизионного вещания новых поколений, таких как DVB-T2, DVB-H, T-DMB.

## Литература

1. Рекомендация МСЭ-Р ВТ.1306-3 Методы исправления ошибок, формирования кадров данных, модуляции и передачи для наземного цифрового телевизионного радиовещания. - Женева 2006.
2. К. Гласман. Большие дебаты: 8-VSB – COFDM. - Журнал «625», №4, 2000 г.
3. Марк Кривошеев. Дело всей моей жизни. - Часть 2. - Журнал "Broadcasting" - «Телевидение и радиовещание», №7, 2006.
4. Заключительные акты Региональной конференции радиосвязи по планированию цифровой наземной радиовещательной службы. - Женева - 2006.