

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1784

**Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией
(телевизионная, звуковая и передачи данных)**

(Вопрос МСЭ-R 3/6)

(2007)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация предназначена для цифровой радиовещательной спутниковой службы (РСС), когда высокая гибкость в конфигурации системы и интерактивность радиовещания важны для обеспечения возможности широкого компромисса, касающегося работы при минимальных уровнях отношения несущая/шум (C/N) либо максимальной пропускной способности.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что в Рекомендациях МСЭ-R ВО.1408 и МСЭ-R ВО.1516 были разработаны цифровые мультипрограммные телевизионные системы для использования спутниками, которые именуются как существующие системы;
- b) что в результате последних разработок в области кодирования канала и модуляции были получены новые методы с характеристиками, близкими к максимальной скорости передачи информации;
- c) что такие новые цифровые методы обеспечили бы большую эффективность использования спектра и/или мощности по сравнению с существующими системами, в то же время сохраняя возможность гибкой конфигурации, с тем чтобы справляться с шириной полосы и ресурсами мощности конкретного спутника;
- d) что в рекомендуемой системе используются такие методы и таким образом обеспечивается возможность широкого компромисса, касающегося работы при минимальных уровнях C/N либо максимальной пропускной способности, получая существенное усиление по сравнению с DVB-S (Система А в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516) в зависимости от избранного режима DVB-S2;
- e) что рекомендуемая система была разработана не только для радиовещания, но также для приложений интерактивности и доставки программ, таких как линии доставки ТВ программ и цифровой спутниковый сбор новостей (ЦССН);
- f) что система, пригодная для всех таких приложений при сохранении однокристалльного декодера разумных уровней сложности, позволила бы повторно использовать данную разработку для продуктов массового рынка в целях доставки программ или для специализированных приложений;
- g) что новый метод адаптивного кодирования и модуляции (АСМ), предлагаемый рекомендуемой системой, обеспечил бы более эффективное использование спектра для одноадресных приложений применительно к обратному тракту путем оптимизации параметров передачи (т. е. модуляции и кодирования) для каждого отдельного пользователя, в зависимости от условий тракта;
- h) что рекомендуемая система приспособлена к любым форматам входного потока, включая один или несколько транспортных потоков экспертной группы по вопросам движущегося изображения (MPEG) (характеризуемых пакетами размером 188 байт), протокол IP, а также пакеты асинхронного режима передачи (АТМ) и непрерывные битовые потоки;
- j) что рекомендуемая система могла бы работать с разнообразными улучшенными аудиовизуальными форматами, как имеющимися в настоящее время, так и формируемыми,

учитывая далее,

- a) что системная Рекомендация МСЭ помогает рынку создавать услуги на основе стандартизированных систем, избегая, таким образом, распространения специализированных разработок, что выгодно как для конечных пользователей, так и для отрасли в целом;
- b) что несмотря на успех существующих систем, многие радиовещательные компании, операторы и производители во всем мире высоко ценят новые технические характеристики, обеспечивающие возможность доставки со значительно более высокой скоростью передачи данных в заданной ширине полосы транспондера, чем существующие системы;
- c) что требование предоставлять услуги телевидения высокой четкости (ТВЧ) заставит радиовещательные компании искать более эффективные методы доставки сигналов этих услуг при существующих транспондерах;
- d) что присущая рекомендуемой системе гибкость предоставила бы способы ослабления влияния ослабления в атмосфере в более высоких полосах частот радиовещательной спутниковой службы (РСС) (таких как, например, полосы РСС 17 ГГц и 21 ГГц), которые, как предполагается, должны использоваться для услуг ТВЧ;
- e) что рекомендуемая система включает режимы, полностью совместимые с предыдущими версиями, допускающие продолжение работы существующих приемников РСС,

рекомендует,

1 чтобы система DVB-S2, определенная в стандарте ETSI EN 302 307 V 1.1.2: <http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/docs/rsg6-etsi/index.html> (см. Прилагаемый документ 1) могла рассматриваться как подходящая система для разработки системы спутникового радиовещания с гибкой конфигурацией¹.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Приложении 1 представлено описание рекомендуемой системы (Система E), а в Приложении 2 содержатся сравнительные таблицы, в которых рекомендуемая система (Система E) описывается вместе с системами, содержащимися в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516 (Системы A, B, C, D).

Приложение 1

Основные характеристики системы DVB-S2 (называемой Система E)

DVB-S2 представляет собой технические характеристики второго поколения для приложений спутниковой широкополосной связи, разработанные в соответствии с проектом DVB (цифровое телевизионное радиовещание) в 2003 году, и ставшие стандартом ETSI EN 302 307 в 2004 году.

EN 302 307 определяет структуру формирования кадров, кодирование канала и модуляцию для различных видов приложений спутниковой связи:

- телевизионного радиовещания стандартной четкости и высокой четкости (ТСЧ и ТВЧ);
- интерактивности (включая доступ к интернету) для спутниковых радиовещательных приложений (для интегрированных приемников-декодеров (IRD) и персональных компьютеров);
- приложений доставки ТВ программ, например доставки программ цифрового ТВ, распределение и спутниковый сбор новостей;
- распространение цифрового контента и транкинг интернета.

¹ Слово "shall" в указанном стандарте ETSI следует рассматривать как "should" (должен) в настоящей Рекомендации МСЭ-R.

Для того чтобы работать во всех областях приложений, сохраняя при этом однокристалльный декодер разумных уровней сложности, система DVB-S2 имеет структуру набора инструментов, обеспечивая таким образом возможность использования продуктов массового рынка для доставки ТВ программ или специализированных приложений.

Система DVB-S2 была разработана с учетом трех концепций: лучшие характеристики передачи, приближение к максимальной скорости передачи информации, общая гибкость и разумная сложность приемника.

Для достижения лучшего компромисса в отношении рабочие характеристики – сложность при обеспечении существенного прироста пропускной способности по отношению к DVB-S для стандартных радиовещательных приложений в системе DVB-S2 использованы самые последние разработки в области кодирования и модуляции канала: коды LDPC (контроль четности с низкой плотностью) приняты в сочетании со схемами модуляции КФМН (квадратурная фазовая манипуляция), 8-ФМН, 16-АФМН (амплитудно-фазовая манипуляция) и 32-АФМН, с тем чтобы система должным образом работала в нелинейном спутниковом канале.

Структура кадрирования допускает максимальную гибкость для универсальной системы и синхронизации также в конфигурациях наихудшего случая (низкое значение отношения сигнал/шум (ОСШ)).

Для интерактивных приложений связи пункта с пунктом, таких как одноадресные IP-приложения применительно к обратному тракту, принятие функции ACM позволяет оптимизировать параметры передачи для каждого отдельного пользователя на покадровой основе, в зависимости от условий тракта, при регулировании с обратной связью по обратному каналу (присоединение приемника к станции линии вверх системы DVB-S2 через наземные либо спутниковые линии, сообщение об условиях приема приемника). Это приводит к дальнейшему повышению эффективности использования спектра системой DVB-S2 по сравнению с системой DVB-S, допуская оптимизацию конструкции космического сегмента, таким образом делая возможным существенное сокращение стоимости IP-услуг на базе спутниковой связи.

DVB-S2 является настолько гибкой системой, что она может быть совместима с любыми существующими характеристиками спутникового транспондера при разнообразных требованиях к эффективности использования спектра и к ОСШ. Более того, она предназначена для обработки различных улучшенных аудио- и видеоформатов, которые в настоящее время определяются международными организациями. DVB-S2 приспособлена к любым форматам входного потока, включая один или несколько транспортных потоков MPEG (характеризуемых пакетами размером 188 байт), IP, а также пакеты ATM и непрерывные битовые потоки;

Также имеются режимы, полностью совместимые с предыдущими версиями, допускающие продолжение работы существующих традиционных приемников IRD.

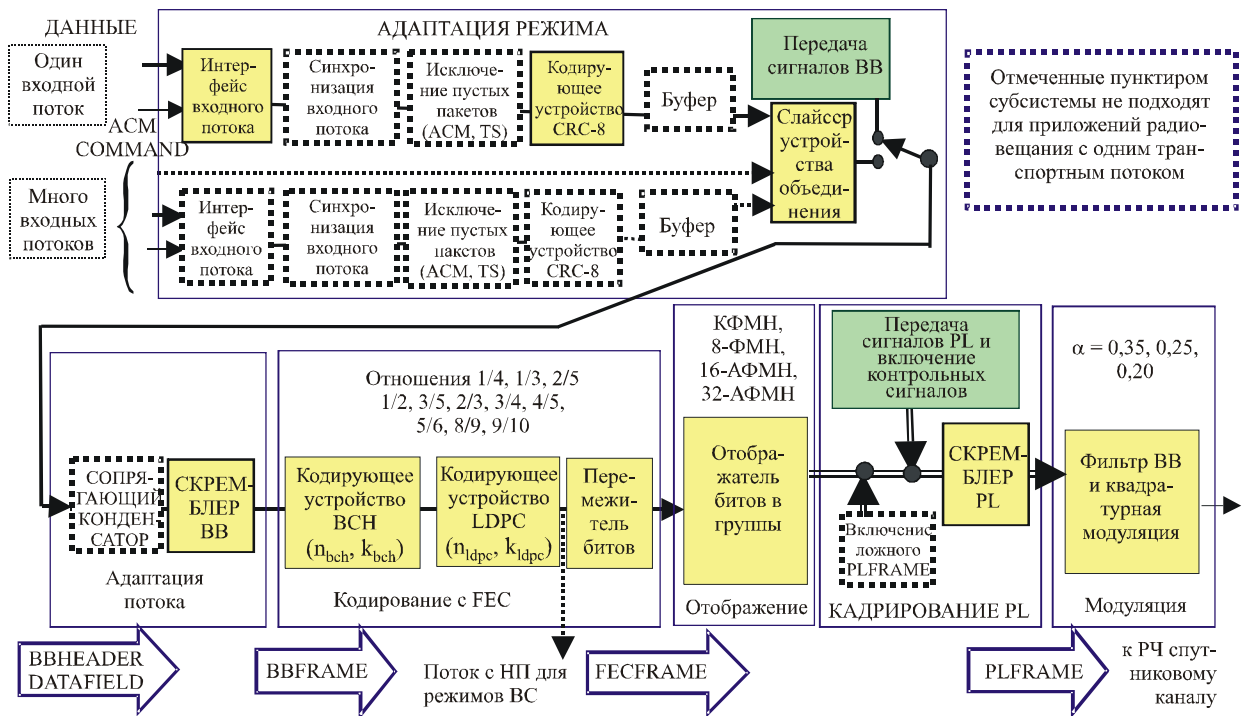
Структура системы DVB-S2

Система DVB-S2 состоит из последовательности функциональных блоков, как это описано на рис. 1. Формирование сигнала основано на двух уровнях структур формирования кадров:

- BBFRAME на уровне основной полосы частот (baseband – BB), переносящем разнообразные биты сигнализации для конфигурации гибкости приемника в соответствии со сценарием приложения;
- PLFRAME на физическом уровне (physical layer – PL), переносящем несколько битов сигнализации с высокой защитой для обеспечения надежной синхронизации и передачи сигналов на физическом уровне.

РИСУНОК 1

Диаграмма функционального блока системы DVB-S2



1784-01

В зависимости от приложения входная последовательность DVB-S2 может представлять собой один или несколько транспортных потоков (TS) MPEG, один или несколько общих потоков как пакетированных, так и непрерывных. Блок, определяемый как *Адаптация режима*, обеспечивает интерфейс входного потока², синхронизацию входного потока³ (дополнительно), исключение пустых пакетов⁴ (только для АСМ и формата входного транспортного потока), кодирование CRC-8 для обнаружения ошибок на пакетном уровне в приемнике (только для пакетных входных потоков), объединение входных потоков (только для режимов нескольких входных потоков) и разделение на поля данных. Заголовок моделирующей полосы частот затем добавляется перед полем данных для сообщения приемнику данных о формате входного потока и типе *Адаптации режима*: один или множество входящих потоков, общий либо транспортный поток, постоянное кодирование и модуляция, (ССМ) либо АСМ и многие другие детали конфигурации. Благодаря защите с упреждающей коррекцией ошибок (FEC) (распространяющейся как на заголовок, так и на полезную нагрузку данных) и общую длину кадра FEC, заголовок моделирующей полосы частот может фактически содержать много битов сигнализации, не теряя эффективности передачи либо устойчивости к шуму. Следует отметить, что мультиплексные транспортные пакеты MPEG могут быть асинхронно отображены в кадры основной полосы частот.

² Входная последовательность может представлять собой один или несколько транспортных потоков (TS), один или несколько общих потоков (пакетированных либо непрерывных).

³ Обработка данных в DVB-S2 может вызвать различные задержки в передаче. Этот блок позволяет гарантировать постоянную скорость передачи битов и задержку в сквозной передаче для пакетированного входного потока.

⁴ Для снижения скорости передачи информации и повышения защиты от ошибок в модуляторе. В результате этого процесса пустые пакеты восстанавливаются в приемнике именно в том месте, где они были изначально.

Затем применяется *Адаптация потока* для обеспечения заполнения в случае, если имеющиеся для передачи данные пользователя недостаточны для полного заполнения BBFRAME, а также для скремблирования основной полосы частот.

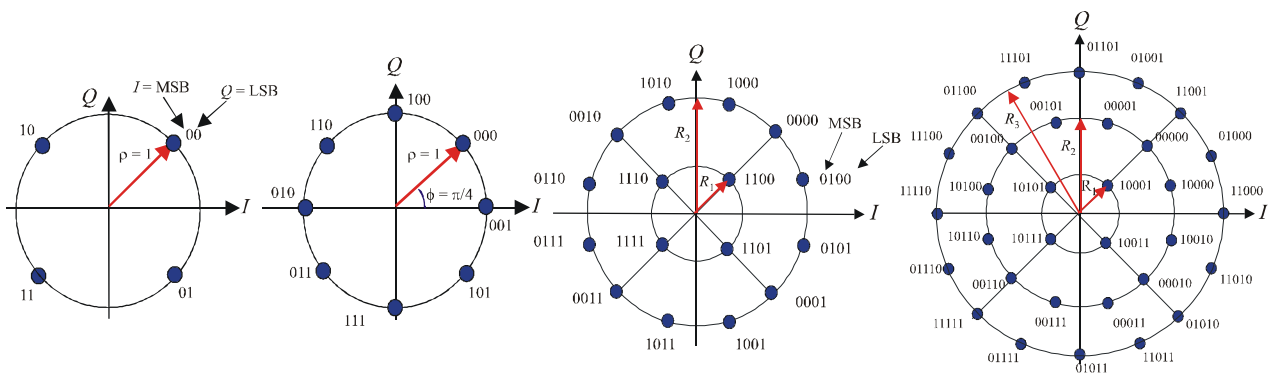
Кодирование с упреждающей коррекцией ошибок (FEC) осуществляет связывание внешнего кода БЧХ (код Боуза-Чаудхури-Хоквингема) и внутренних кодов LDPC (контроль четности с низкой плотностью) (соотношения 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). В зависимости от области применения блоки кодов FEC (кадры FEC) могут иметь длину 64 800 либо 16 200 битов. Когда используются переменное кодирование и модуляция (VCM) либо ACM, FEC и режим модуляции являются постоянными в пределах кадра, однако могут быть изменены в других кадрах; более того, переданный сигнал может содержать смесь нормальных и коротких кодовых блоков. Для режимов с полной совместимостью с предыдущими версиями битовый поток на выходе кодера FEC далее обрабатывается вместе с сигналом DVB-S в соответствии с указанной процедурой. Затем к закодированным битам с FEC применяется побитовое перемежение для 8-ФМН, 16-АФМН и 32-АФМН, с тем чтобы разделить биты, отображенные в одном сигнале передачи.

Отображение может быть выбрано из групп КФМН, 8-ФМН, 16-АФМН и 32-АФМН (см. рис. 2) в зависимости от области применения. КФМН и 8-ФМН обычно предлагаются для радиовещательных приложений, поскольку они по сути являются типами модуляции с постоянной огибающей, и могут быть использованы в нелинейных спутниковых транспондерах, работающих в режиме, близком к насыщению. Режимы 16-АФМН и 32-АФМН, главным образом предназначенные для приложений доставки ТВ программ, также могут быть использованы для радиовещания, однако это требует более высокого уровня существующего отношения C/N и принятия улучшенных методов предсказания на станции линии вверх для сведения к минимуму эффекта нелинейности транспондера. Хотя эти режимы не являются настолько энергосберегающими, как другие, эффективность использования спектра оказывается намного выше. Группы 16-АФМН и 32-АФМН были оптимизированы для работы на нелинейном транспондере путем нанесения точек на круги. Однако их рабочие характеристики на линейном канале сравнимы с рабочими характеристиками 16-КАМ и 32-КАМ, соответственно.

При выборе группы модуляции и кодовых скоростей можно выбрать эффективность использования спектра в пределах от 0,5 до 4,5 битов на символ в зависимости от возможностей и ограничений используемого спутникового транспондера.

РИСУНОК 2

**Четыре возможные группы DVB-S2
перед скремблированием физического уровня**



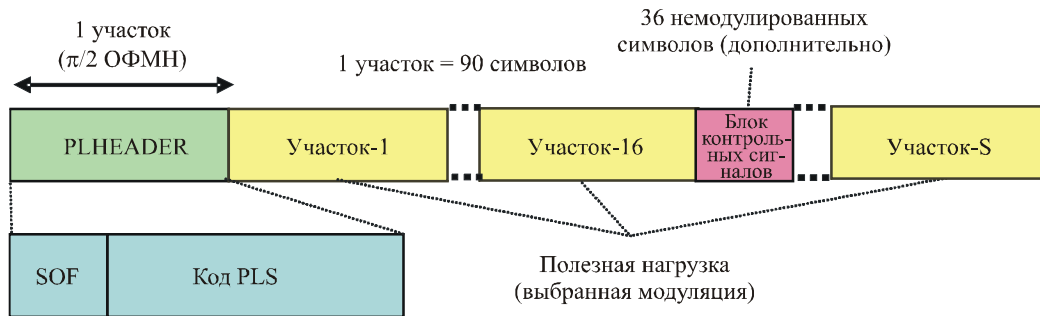
1784-02

Формирование кадров физического уровня было разработано для обеспечения надежной синхронизации и сигнализации на физическом уровне. Таким образом, приемник может синхронизировать (восстановление несущей и фазы, синхронизация кадра) и обнаруживать параметры модуляции и кодирования перед демодуляцией и декодированием с FEC. Сигнал физического уровня DVB-S2 состоит из обычной последовательности кадров (см. рис. 3): в пределах кадра схема модуляции и кодирования однородна, однако может меняться (при адаптивной конфигурации модуляции и кодирования) в соседних кадрах. Каждый кадр состоит из полезной нагрузки в 64 800 бит в конфигурации "нормального кадра", 16 200 бит в конфигурации "короткого

кадра", соответствуя кодовому блоку FEC. Полезной нагрузке предшествует заголовок в 90 двоичных символов модуляции, содержащий информацию о синхронизации и сигнализации, с тем чтобы приемник мог синхронизировать (восстановление несущей и фазы, синхронизация кадра) и обнаруживать параметры модуляции и кодирования перед демодуляцией и декодированием с FEC.

РИСУНОК 3

Схема кадра PL



1784-03

Первые 26 двоичных символов (последовательность 18D2E82_{HEX}) заголовка PL определяют начало кадра PL (SOF – Start Of Frame – начало кадра), оставшиеся 64 символа используются для оповещения о конфигурации системы. Поскольку заголовок PL является первым элементом, который должен быть декодирован приемником, он не мог бы быть защищен схемой с FEC (т. е. BCH и LDPC). С другой стороны он должен был быть полностью декодируемым в условиях линии наихудшего случая (ОСШ около $-2,5$ дБ). Таким образом, чтобы минимально затронуть общую эффективность использования спектра, информация о сигнализации на этом уровне была понижена до 7 бит, 5 из которых используются для указания конфигурации модуляции и кодирования (поле MODCOD), 1 – для длины кадра (64 800 или 16 200 бит), 1 – для указания наличия/отсутствия пилот-сигналов для обеспечения синхронизации приемника (как объяснено ниже). Эти биты затем хорошо защищаются перемежающимся блоковым кодом Рида-Маллера первого порядка с отношениями параметра (64, 7, $t = 32$), подходящими для декодирования корреляции с "мягким" решением.

Независимо от схемы модуляции полезной нагрузки PLFRAME (кодированный блок с FEC), 90 двоичных символов, формирующих заголовки PL, являются модулированными по $\pi/2$ -ОФМН; этот вариант классической группы ОФМН вносит вращение на $\pi/4$ на четных символах и на $-\pi/4$ на нечетных символах, таким образом, обеспечивая возможность сокращения колебаний огибающей радиочастотного сигнала.

Полезная нагрузка кадра PL состоит из различного числа модулированных символов в зависимости от длины FEC (64 800 либо 16 200) и группы модуляции, однако (исключая дополнительные контрольные сигналы) длина полезной нагрузки всегда представляет собой множество участков из 90 символов (см. рис. 3), что показывает периодичность, которая может быть использована устройством синхронизации кадров в приемнике: после того, как текущий заголовок PL раскодирован, декодер точно знает длину кадра PL и, таким образом, позицию следующего SOF.

Кадрирование PL также обеспечивает:

- дополнительное включение пустого кадра PL, когда полезные данные не готовы для отправки в канал; и
- включение дополнительных контрольных сигналов для обеспечения синхронизации приемника.

Коды DVB-S2 с FEC в действительности являются такими мощными, что восстановление несущей может стать серьезной проблемой для типов модуляции высокого порядка, работающих при низком ОСШ в присутствии высоких уровней фазового шума в конвертерах и тюнерах спутникового радиовещания с малозумящими преобразователями вниз (low noise block – LNB): в частности, такое происходит с некоторыми низкоскоростными режимами DVB-S2 8-ФМН, 16-АФМН и 32-АФМН.

Контрольные сигналы представляют собой немодулированные символы, определяемые посредством $I = Q = 1/\sqrt{2}$, сгруппированные в блоки по 36 символов и включаемые через каждые 16 временных интервалов полезной нагрузки, что таким образом обеспечивает при использовании максимальную потерю пропускной способности, приблизительно равную 2,4%.

В заключение осуществляется скремблирование в целях рассеивания энергии для удовлетворения требованиям Регламента радиосвязи в отношении заполнения спектра и для передачи своего рода "подписи" оператора услуги с целью быстрой идентификации в случае ошибок в процедурах линии вверх.

Затем применяется *Фильтрация моделирующей полосы частот и квадратурная модуляция*, для того чтобы сформировать спектр сигнала и создать РЧ сигнал. На стороне передачи используется фильтрация квадратного корня из приподнятого косинуса с выбором из трех факторов ослабления: 0,35; 0,25 и 0,20 в зависимости от ограничений ширины полосы.

Режимы с полной совместимостью с предыдущими версиями

Поскольку уже установлено большое число существующих в настоящее время приемников РСС (Рекомендация МСЭ-R ВО.1516), многим устоявшимся радиовещательным компаниям очень сложно рассматривать вариант о резком изменении технологии на DVB-S2, особенно в случае, когда речь идет о замене приемника, и в случае бесплатных услуг общего пользования. В таких случаях в период перехода могут потребоваться режимы с полной совместимостью с предыдущими версиями, позволяющие прежним приемникам продолжать работать, при этом обеспечивая дополнительную мощность и обслуживание для новых улучшенных приемников. В конце переходного периода, когда весь ряд приемников будет переведен на DVB-S2, передаваемый сигнал может быть изменен на режим, несовместимый с предыдущими версиями, таким образом, обеспечивая использование всего потенциала DVB-S2.

Таким образом, в DVB-S2 были определены дополнительные режимы с полной совместимостью с предыдущими версиями (BC), которые должны были направлять два транспортных потока в один спутниковый канал. Первый поток (с высоким приоритетом, ВП) совместим с приемниками DVB-S (в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R ВО.1211), а также с приемниками DVB-S2, а второй поток (с низким приоритетом, НП) совместим только с приемниками DVB-S2.

Совместимость с предыдущими версиями может быть при желании осуществлена в соответствии с двумя подходами:

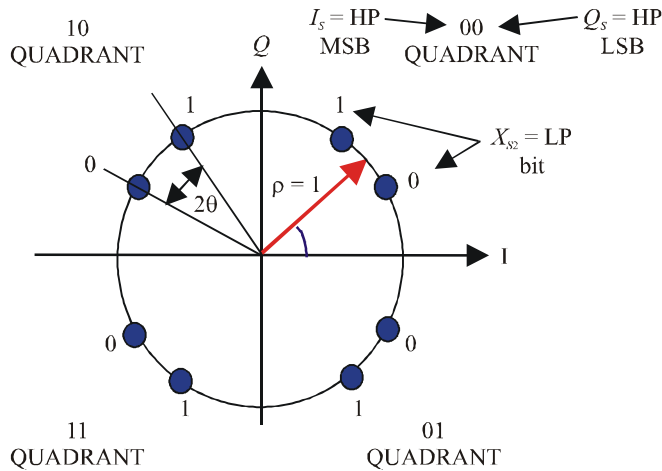
- многоуровневая модуляция, где сигнал DVB-S2 и сигнал DVB-S асинхронно объединены в радиочастотном канале (таким образом, такой рабочий режим не требует никаких особых средств в спецификации DVB-S2);
- иерархическая модуляция, где два транспортных потока ВП и НП синхронно объединены на уровне символа модуляции в неравномерной группе 8-ФМН (рис. 4).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Поток DVB-S2 с НП также могут передавать другие радиовещательные системы, отличные от DVB (т. е. системы, определенные в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516), на основе КФМН, используя указанные выше иерархические и многоуровневые схемы модуляции.

При подходе, основанном на иерархической модуляции, в соответствии с рис. 5 сигнал, соответствующий DVB-S2 с НП, является кодированным по БЧХ и LDPC с кодовыми скоростями LDPC 1/4, 1/3, 1/2 или 3/5. Затем иерархический отображатель создает неравномерную группу 8-ФМН: два бита DVB-S с ВП определяют точку группы КФМН (которую может принимать любой стандартный IRD DVB-S), тогда как один бит от кодирующего устройства DVB-S2 с LDPC устанавливает дополнительное вращение на $\pm\theta$ перед передачей (в результате чего происходит небольшое ухудшение рабочих характеристик IRD DVB-S в зависимости от амплитуды θ).

РИСУНОК 4

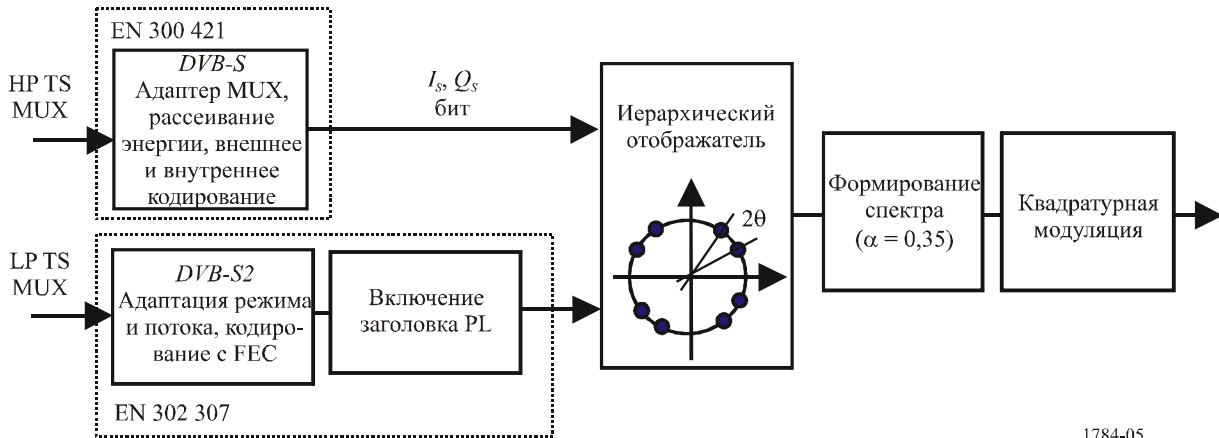
Неоднородная группа 8-ФМН



1784-04

РИСУНОК 5

Диаграмма функционального блока иерархической системы DVB-S2, полностью совместимой с предыдущими моделями



1784-05

Сигнал на выходе из иерархического модулятора аналитически может быть записан следующим образом:

$$v_{HM} = \sum_k A e^{j\Phi_k} s(t-kT)$$

где дискретная фаза Φ_k принимает значения в диапазоне $\left\{ \frac{\pi}{2}l + \frac{\pi}{4} + (-1)^{l+k+1}\theta \right\}$ для $l = 3Q_S - 2I_S Q_S + I_S$ (четыре возможных значений 0, 1, 2, 3), Q_S и I_S определены на рис. 4 и $k = X_{S2}$ (два возможных значения 0, 1). Q_S , I_S и X_{S2} определены на рис. 4.

Поскольку получающийся сигнал имеет квазипостоянную огибающую, он может быть передан в одном транспондере, работающем в режиме, близком к режиму насыщения.

В Дополнении 1 к настоящему Приложению для информации содержится некоторые результаты практических испытаний.

Дополнение 1 к Приложению 1

Результаты лабораторных испытаний оборудования DVB-S2

С тем чтобы проверить рабочие характеристики DVB-S2 в июне 2006 года в Rai-CRIT были проведены расширенные лабораторные испытания оборудования DVB-S2, поставленного семью различными производителями. Были испытаны характеристики аддитивного белого гауссовского шума (AWGN), нелинейный канал и ухудшение из-за фазового шума. Результаты ясно показывают, что рабочие характеристики оборудования соответствуют результатам моделирования, представленным в стандарте DVB-S2.

Были реализованы и сравнены с аналогичными конфигурациями DVB-S конфигурации с одной несущей и с несколькими несущими, что продемонстрировало способность DVB-S2 обеспечивать большой выигрыш как в отношении мощности и рабочих характеристик, так и в отношении гибкости. Затем были реализованы конфигурации VCM и ACM и проверены возможности оборудования.

И наконец, следует отметить, что испытываемое оборудование продемонстрировало отличные показатели взаимодействия.

1 Основные результаты испытания

Испытание AWGN

Были произведены измерения на канале с AWGN, соответственно, для КФМН, 8-ФМН, 16-АФМН и 32-АФМН для оценки рабочих характеристик системы как при нормальной конфигурации, так и при конфигурации FECFRAME. Скорость передачи символов составила 27,5 МБод, за исключением 32-АФМН, где она была 20 МБод⁵, а спад – 35%. Средние результаты, полученные по итогам измерений, показывают, что потери при реализации, рассчитанные как $\Delta E_s/N_0@PER = 10^{-7}$ по отношению к результатам моделирования, указанным в таблице 13 EN 302 307, лежат в диапазоне от 0,2 до 0,6 дБ для КФМН, от 0,2 до 0,9 дБ для 8-ФМН, от 0,3 до 1,3 дБ для 16-АФМН и от 1,3 до 1,7 дБ для 32-АФМН.

Испытание SAT

Результаты лабораторных исследований в нелинейном спутниковом канале подтверждают результаты моделирования, содержащиеся в таблице Н.1 EN 302 307. Оптимальная рабочая точка имеет место при снижении входной мощности (input back-off – IBO) на 0 дБ для КФМН1/2, соответствуя снижению выходной мощности (output back-off – OBO) на 0,3 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно 0,5 дБ по отношению к каналу AWGN. Для 8-ФМН оптимальная рабочая точка имеет место при снижении входной мощности на 1 дБ, соответствуя снижению выходной мощности на 0,4 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно на 0,6 дБ. Для 16-АФМН оптимальная рабочая точка имеет место при снижении входной мощности на 4 дБ, соответствуя снижению выходной мощности на 1,6 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно 3,0 дБ. Для 32-АФМН рабочая точка имеет место при снижении входной мощности на 7 дБ, соответствуя снижению выходной мощности на 3,2 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно на 5,4 дБ. Если в переданный сигнал включаются пилот-сигналы, рабочие характеристики улучшаются примерно на 0,3 дБ для 8-ФМН и 1,0 дБ для 16-АФМН.

Были проведены дополнительные исследования с использованием предварительной коррекции сигнала в модуляторе для сокращения нелинейных эффектов в демодулированном сигнале и для обеспечения работы системы ближе к точке насыщения, также для модуляций более высокого порядка, т. е. 16- и 32-АФМН. Для 16-АФМН со скоростью 3/4 использование предварительной

⁵ Максимальная скорость передачи символов, возможная для конфигурации 32-АФМН. Выше 20 МБод рабочие характеристики оборудования в настоящее время не гарантируются, поскольку тактовая частота и/или плотность FPGA не позволяют выполнять требуемое количество итераций декодера LDPC. Можно ожидать, что усовершенствования технологии FPGA могли бы обеспечить в ближайшем будущем работу на самых высоких скоростях передачи в бодах.

коррекции в модуляторе позволяет системе работать оптимально в режиме насыщения при снижении выходной мощности спутника на примерно 1,3 дБ и ухудшении показателей работы по отношению к каналу AWGN примерно на 1,5 дБ, т. е. допуская выигрыш по показателям работы по отношению к сигналу без предварительной коррекции примерно на 1,5 дБ.

Были изучены сравнительные примеры DVB-S и DVB-S2 для приложений радиосвязи, в соответствии со следующими конфигурациями:

ТАБЛИЦА 1

Сравнительные сценарии DVB-S/DVB-S2 для приложений радиосвязи

Система	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Ширина полосы канала BW (МГц)	36	36	36	36
Модуляция и кодирование	КФМН 2/3	КФМН 3/4	КФМН 7/8	8-ФМН 2/3
Спад α	0,35	0,20	0,35	0,25
Скорость передачи символов (МБод) = $1,03 \cdot BW / (1 + \alpha)$	27,5	30,9	27,5	29,7
C/N (в 27,5 МГц) (дБ)	4,7	4,9	7,6	7,6
Полезная скорость передачи данных (Мбит/с)	33,8	46 (коэффициент усиления = 34%)	44,4	58,8 (коэффициент усиления = 32%)

Спутниковый канал включает усилитель на лампе бегущей волны (TWTA) и фильтр выходного мультиплексного сигнала (OMUX).

Результаты в таблице 1 показывают, что за счет незначительного увеличения требований к отношению несущая/шум (C/N) (от 0 до 0,2 дБ) система DVB-S2 позволяет увеличить пропускную способность на передаче, в зависимости от режима, на 30% и более.

Испытание фазового шума

Для испытаний фазового шума были рассмотрены две различные конфигурации:

- Сценарий доставки ТВ программ со скоростью передачи символов в передаваемом сигнале, равной 5 МБод, и спутниковым усилителем, работающим в линейном режиме.
- Сценарий спутникового радиовещания со скоростью передачи символов в передаваемом сигнале, равной 27,5 МБод, и спутниковым усилителем, работающим при оптимальной снижении мощности.

Результаты, полученные для сценария доставки ТВ программ показали, что вносимое фазовым шумом LNB ухудшение составляет порядка 0,3 дБ для КФМН и 8-ФМН, 1,2 дБ для 16-АФМН и 32-АФМН. Кроме того, пилот-сигналы не требуются при КФМН, хотя они начинают становиться полезными при 8-ФМН; при 16-АФМН и 32-АФМН пилот-сигналы необходимы для получения хороших результатов.

Сценарий спутникового радиовещания с более высокой скоростью передачи символов, напротив, намного менее критичен в отношении фазового шума. Результаты показывают, что вносимое фазовым шумом LNB ухудшение незначительно для КФМН даже при отсутствии пилот-сигналов и составляет порядка 0,1 дБ для 8-ФМН и 0,3 дБ для 16-АФМН при использовании пилот-сигналов.

Испытания VCM и ACM

Были проведены исследования VCM, демонстрирующие способность приемников адаптироваться к изменениям конфигурации передачи. В генераторе сигналов произвольной формы была создана и сохранена последовательность FECFRAME. Затем был внесен шум для получения различных значений отношения сигнал/шум. В том случае, когда отношение сигнал/шум было больше минимально требуемого для конкретного типа модуляции и кодирования, приемник был способен декодировать соответствующий кадр FEC.

И наконец, была испытана функция АСМ для изучения способности приемника оценивать полученное отношение сигнал/шум, а также соответствующую способность к адаптации модулятора в отношении изменения модуляции и кодирования. Результаты показали, что при соединении из пункта в пункт оборудование способно должным образом адаптироваться к изменениям отношения сигнал/шум.

2 Выводы

Проведенные лабораториями Rai-CRIT испытания показали, что оборудование DVB-S2 соответствует рабочим характеристикам, которые были спрогнозированы компьютерным моделированием, и позволили достичь существенного понимания характеристик сложных методов модуляции, кодирования канала, формирования кадра и синхронизации системы DVB-S2. Несмотря на тот факт, что испытываемое оборудование представляет собой первое поколение оборудования, и следовательно, безусловно, ожидается некоторое усовершенствование алгоритмов приемника, что обеспечит дальнейшее улучшение рабочих характеристик, результаты в среднем показали, что DVB-S2 является отличной системой не только на бумаге, но и с точки зрения реального аппаратного обеспечения.

Кроме того, сравнение с характеристиками DVB-S в рабочих конфигурациях показало, что DVB-S2 предоставляет значительный выигрыш по пропускной способности в конфигурациях ССМ с одной несущей и со многими несущими на транспондер.

И, наконец, были проведены испытания путем соединения модуляторов и демодуляторов различных производителей, и оборудование продемонстрировано отличную функциональную совместимость.

Приложение 2

Сравнение системы DVB-S2 (Система E) с системой спутниковой передачи программ цифрового многопрограммного телевидения, определенной в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516

В таблице 1 содержится информация как об основных функциях (общих элементах), так и о дополнительных функциях четырех систем, описанных в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516 (Системы А, В, С и D), и указанная информация сравнивается с информацией, касающейся DVB-S2 (Система E).

Ассамблея радиосвязи в п. 6.1.2 Резолюции МСЭ-R 1 отмечает, что: "Если Рекомендации содержат информацию о различных системах, относящихся к одному конкретному применению радиосвязи, они должны основываться на критериях, связанных с таким применением, и должны, по возможности, включать оценку рекомендуемых систем с использованием таких критериев. В подобных случаях соответствующие критерии и прочая уместная информация должны определяться, в зависимости от обстоятельств, в рамках исследовательской комиссии". В таблице 2 представлена такая оценка. Были выбраны критерии рабочих характеристик, относящихся к таким системам, и представлены соответствующие параметрические значения либо возможности каждой из таких систем.

ТАБЛИЦА 2

Краткие характеристики цифровых спутниковых радиовещательных систем

а) Функция

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Доставляемые услуги	ТСЧ и ТВЧ, приложения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, приложения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, приложения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, приложения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, приложения по передаче звука, данных и интерактивных данных ⁽¹⁾
Формат входного сигнала	MPEG-TS	Модифицированный MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS/общий поток (например, IP)
Способность обрабатывать множество входных сигналов	Нет	Нет	Нет	Да, максимум 8	Да, максимум 255
Устойчивость в условиях замираний сигнала в дожде	Определяется мощностью передатчика и внутренней скоростью кода	Определяется мощностью передатчика и внутренней скоростью кода	Определяется мощностью передатчика и внутренней скоростью кода	Имеется иерархическая передача в дополнение к мощности передатчика и внутренней скорости кода	Для радиовещания: определяется мощностью передатчика и внутренней скоростью кода. Имеется адаптивное кодирование и модуляция сигналов для индивидуально предоставляемых и интерактивных услуг в дополнение к мощности передатчика и внутренней скорости кода
Подвижной прием	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению
Гибкое присвоение скорости передачи данных сигналов услуг	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

а) Функция (окончание)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Конструкция приемника, общая с другими приемными системами	Возможны Системы А, В, С и D	Возможны Системы А, В, С и D	Возможны Системы А, В, С и D	Возможны Системы А, В, С и D	Возможны варианты полной совместимости с более ранними Системами А, В, С и D
Полная унификация с другими носителями (т. е. наземными, кабельными и т. д.)	Основа MPEG-TS	Основа MPEG-ES (элементарный поток)	Основа MPEG-TS	Основа MPEG-TS	Основа MPEG-TS
В эксплуатации?	Да	Да	Да	Да	Да
Оборудование радиовещательной станции	Имеется на рынке	Имеется на рынке	Имеется на рынке	Имеется на рынке	Имеется на рынке

б) Рабочие характеристики

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Скорость передачи данных по сети (скорость передачи без четности)	Скорость передачи символов (R_s) не является фиксированной. Следующие скорости передачи данных по сети получаются на основе примерной скорости R_s , составляющей 27,776 МБод: 1/2: 23,754 Мбит/с 2/3: 31,672 Мбит/с 3/4: 35,631 Мбит/с 5/6: 39,590 Мбит/с 7/8: 41,570 Мбит/с	1/2: 17,69 Мбит/с 2/3: 23,58 Мбит/с 6/7: 30,32 Мбит/с	19,5 МБод 29,3 МБод 5/11: 16,4 Мбит/с 24,5 Мбит/с 1/2: 18,0 Мбит/с 27,0 Мбит/с 3/5: 21,6 Мбит/с 32,4 Мбит/с 2/3: 24,0 Мбит/с 36,0 Мбит/с 3/4: 27,0 Мбит/с 40,5 Мбит/с 4/5: 28,8 Мбит/с 43,2 Мбит/с 5/6: 30,0 Мбит/с 45,0 Мбит/с 7/8: 31,5 Мбит/с 47,2 Мбит/с	До 52,2 Мбит/с (при скорости передачи символов 28,86 МБод)	Скорость передачи символов (R_s) не является фиксированной. Следующие скорости передачи данных по сети получаются на основе примерной скорости R_s , составляющей 27,776 МБод, при нормальной длине кадра FEC и без пилот-сигналов: КФМН 1/2: 27,467 Мбит/с КФМН 3/4: 41,316 Мбит/с 8-ФМН 2/3: 55,014 Мбит/с 16-АФМН 3/4: 82,404 Мбит/с
Возможность наращивания снизу вверх	Да	Да	Да	Да	Да
Возможность ТВЧ	Да	Да	Да	Да	Да
Выбираемый условный доступ	Да	Да	Да	Да	Да

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Схема модуляции	КФМН	КФМН	КФМН	ТС8-ФМН/КФМН/ОФМН	КФМН/8-ФМН/16-АФМН/ 32-АФМН
Скорость передачи символов	Не указана	Фиксированная, 20 МБод	Переменная, 19,5 и 29,3 МБод	Не указана (например, 28,86 МБод)	Не указана
Необходимая ширина полосы (-3 дБ)	Не указана	24 МГц	19,5 и 29,3 МГц	Не указана (например, 28,86 МГц)	Не указана
Скорость спада	0,35 (приподнятый косинус)	0,2 (приподнятый косинус)	0,55 и 0,33 (фильтр Баттеруорта 4-го порядка)	0,35 (приподнятый косинус)	0,35; 0,25; 0,2 (приподнятый косинус)
Внешний код	Рида-Соломона (204, 188, $T=8$)	Рида-Соломона (146, 130, $T=8$)	Рида-Соломона (204, 188, $T=8$)	Рида-Соломона (204, 188, $T=8$)	БЧХ (N, K, T) с параметрами, различающимися в зависимости от внутреннего кодирования и конфигурации длины кадра
Генератор внешнего кода	Рида-Соломона (255, 239, $T=8$)	Рида-Соломона (255, 239, $T=8$)	Рида-Соломона (255, 239, $T=8$)	Рида-Соломона (255, 239, $T=8$)	БЧХ (N, K, T) с параметрами, различающимися в зависимости от внутреннего кодирования и конфигурации длины кадра
Многочлен генератора внешнего кода	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$, где $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$, где $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^1)(x + \alpha^2) \dots (x + \alpha^{16})$, где $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$, где $\alpha = 02_h$	Неодинаковый в зависимости от внутреннего кодирования и конфигурации длины кадра
Многочлен генератора поля	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	Неодинаковый в зависимости от внутреннего кодирования и конфигурации длины кадра
Рандомизация для рассеивания энергии	ПСПДС: $1 + x^{14} + x^{15}$	Нет	ПСПДС: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ усеченная для периода в 4 894 байт	ПСПДС: $1 + x^{14} + x^{15}$	ПСПДС: $1 + x^{14} + x^{15}$

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача) (продолжение)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Последовательность загрузки в регистре псевдослучайной последовательности двоичных символов (ПСПДС)	100101010000000	Неприменимо	0001 _h	100101010000000	100101010000000
Точка рандомизации	Перед кодирующим устройством РС (Рида Соломона)	Неприменимо	После кодирующего устройства РС	После кодирующего устройства РС	Перед кодирующим устройством БЧХ/после отображения битов и включения дополнительных пилот-сигналов
Перемежение между внутренним и внешним кодами	Сверточное, $I = 12, M = 17$ (Форни)	Сверточное, $M1 = 13, M2 = 146$ (Ramsey II)	Сверточное, $I = 12, M = 19$ (Форни)	Блок (глубина = 8)	(2)
Внутреннее кодирование	Сверточное	Сверточное	Сверточное	Сверточное 1, решетчатое (8-ФМН: TCM 2/3)	LDPC
Длина кодового ограничения	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	Неприменимо
Абсолютный код	1/2	1/2	1/3	1/2	Неприменимо
Многочлен генератора	171, 133 (восьмеричное)	171, 133 (восьмеричное)	117, 135, 161 (восьмеричное)	171, 133 (восьмеричное)	Неприменимо
Длина блока внутреннего кода	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Нормальный кадр FEC = 64 800 бит Короткий кадр FEC = 16 200 бит

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача) (окончание)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Скорость внутреннего кодирования	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 6/7	1/2, 2/3, 3/4, 3/5, 4/5, 5/6, 5/11, 7/8	1/2, 3/4, 2/3, 5/6, 7/8	КФМН: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 8-ФМН: 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10 16-АФМН: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 32-АФМН: 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Управление передачей	Нет	Нет	Нет	ТМСС	Структура формирования кадров основной полосы частот и физического уровня; дополнительные пилот-сигналы
Структура кадра	Нет	Нет	Нет	48 участков/кадр 8 кадр/суперкадр	Нормальный кадр FEC = 64 800 байтов Короткий кадр FEC = 16 200 байтов
Размер пакета (в байтах)	188	130	188	188	188 байтов для MPEG-TS Не определен для GS
Уровень транспорта	MPEG-2	Не MPEG	MPEG-2	MPEG-2	Не определен
Частотный диапазон спутниковой линии вниз (ГГц)	Первоначально разработан для 11/12, не исключая другие спутниковые частотные диапазоны	Первоначально разработан для 11/12, не исключая другие спутниковые частотные диапазоны	Первоначально разработан для спутниковых частотных диапазонов 11/12 и 4	Первоначально разработан для 11/12, не исключая другие спутниковые частотные диапазоны	Разработан для 11/12 и 17/21, не исключая другие спутниковые частотные диапазоны

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

d) Технические характеристики (кодирование источника)

		Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е	
Кодирование видеоисточника	Синтаксис	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC MPEG-2 общий	
	Уровни	Как минимум основной уровень	Как минимум основной уровень	Как минимум основной уровень	Основной и высокий уровень	Уровень 3 и 4	
	Профили	Как минимум основной профиль	Как минимум основной профиль	Как минимум основной профиль	Основной профиль	Основной профиль	
Формат развертки		4:3 16:9 (2.12:1 дополнительно)	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9 (2.12:1 дополнительно)	
Поддерживаемые форматы изображения		Не ограничены, Рекомендуемые: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288	720 × 480 704 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 720 × 1 280 1 280 × 1 024 1 920 × 1 080	720(704) × 576 720(704) × 480 528 × 480 528 × 576 352 × 480 352 × 576 352 × 288 352 × 240	1 920 × 1 080 1 440 × 1 080 1 280 × 720 720 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 240 ^{(1),*} 176 × 120 ^{(1),*} (* для иерархической передачи)	Рекомендуемые для MPEG-2: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288 Рекомендуемые для MPEG-4 AVC: 720 × 480 640 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 1 920 × 1 080 1 440 × 1 080 1 280 × 1 080 960 × 1 080 1 280 × 720 960 × 720 640 × 720	
Скорость передачи кадров на мониторе (в секунду)		25	29,97	25 либо 29,97	29,97 либо 59,94	25 либо 50, 24, 30 либо 60	

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

d) Технические характеристики (кодирование источника) (окончание)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Декодирование источника аудиосигналов	MPEG-2, Уровни I и II	MPEG-1, Уровень II; ATSC A/53 (AC3)	ATSC A/53 либо MPEG-2 Уровни I и II	MPEG-2 AAC	Аудио с полной совместимостью с предыдущими моделями MPEG-1 Уровень I, MPEG-1 Уровень II либо MPEG-2 Уровень II
Служебная информация	ETS 300 468	Система В	ATSC A/56 SCTE DVS/011	ETS 300 468	Поддерживается
EPG (электронная программа телепередач)	ETS 300 707	Система В	Выбирается пользователем	Выбирается пользователем	Поддерживается
Телетекст	Поддерживается	Не указано	Не указано	Выбирается пользователем	Поддерживается
Введение субтитров	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается
Скрытые субтитры	Не указано	Да	Да	Поддерживается	Не указано

(1) Также применимо к сбору новостей, интерактивным услугам и другим спутниковым приложениям.

(2) Хотя в Системе Е не используется перемежение между внутренним и внешним кодами, существует битовое перемежение перед отображателем символов (за исключением КФМН).

ТАБЛИЦА 3

Таблица сравнительных характеристик

Модуляция и кодирование		Система А		Система В		Система С		Система D		Система Е	
Режимы модуляции, поддерживаемые отдельно и на одной и той же несущей		КФМН		КФМН		КФМН		8-ФМН, КФМН, и ОФМН		КФМН, 8-ФМН, 16-АФМН, 32-АФМН	
Рабочие характеристики (определяют C/N, требуемое для квази-безошибочной передачи (QEF) (бит/с/Гц))		Эффективность использования спектра ⁽¹⁾	C/N для QEF ⁽¹⁾	Эффективность использования спектра	C/N для QEF ⁽²⁾	Эффективность использования спектра ⁽³⁾	C/N для QEF ⁽⁴⁾	Эффективность использования спектра	C/N для QEF ⁽⁵⁾	Эффективность использования спектра ⁽⁷⁾	C/N для QEF ⁽⁶⁾
Режимы Внутренний код											
ОФМН Сверг.	1/2	Не используется		Не используется		Не используется		0,35	0,2	Не используется	
КФМН	1/4	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,49	-2,3
	1/3	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,66	-1,2
	2/5	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,79	-0,3
	5/11	Не используется		Не используется		0,54/0,63	2,8/3,0	Не используется		Не используется	
	1/2	0,72	4,1	0,74	3,8	0,59/0,69	3,3/3,5	0,7	3,2	0,99	1,0
	3/5	Не используется		Не используется		0,71/0,83	4,5/4,7			1,19	2,2
	2/3	0,96	5,8	0,98	5	0,79/0,92	5,1/5,3	0,94	4,9	1,32	3,1
	3/4	1,08	6,8	Не используется		0,89/1,04	6,0/6,2	1,06	5,9	1,49	4,0
	4/5	Не используется		Не используется		0,95/1,11	6,6/6,8	Не используется		1,59	4,7
	5/6	1,2	7,8	Не используется		0,99/1,15	7,0/7,2	1,18	6,8	1,65	5,2
	6/7	Не используется		1,26	7,6	Не используется		Не используется		Не используется	
	7/8	1,26	8,4	Не используется		1,04/1,21	7,7/7,9	1,24	7,4	Не используется	
8/9	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		1,77	6,2	
9/10	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		1,79	6,4	

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Модуляция и кодирование		Система А	Система В	Система С	Система D		Система Е	
8-ФМН решетчатая		Не используется	Не используется	Не используется	1,4	8,4	Не используется	
8-ФМН	3/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		1,78	5,5
	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		1,98	6,6
	3/4	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,23	7,9
	5/6	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,48	9,3
	8/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,65	10,7
	9/10	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,68	11,0
16-АФМН	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,64	9,0
	3/4	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,97	10,2
	4/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,17	11,0
	5/6	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,30	11,6
	8/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,52	12,9
	9/10	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,57	13,1
32-АФМН	3/4	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,70	12,7
	4/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,95	13,6
	5/6	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		4,12	14,3
	8/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		4,40	15,7
	9/10	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		4,46	16,0
Способность управлять иерархической модуляцией?		Нет	Нет	Нет	Да		Да, при варианте полной совместимости с предыдущими системами	
Характеристики скорости передачи символов		Плавно регулируемая	Фиксированная, 20 МБод	Регулируемая, 19,5 либо 29,3 МБод	Плавно регулируемая		Плавно регулируемая	

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Транспортирование и мультиплексирование	Система А	Система В	Система С	Система D	Система Е
Длина пакета (в байтах)	188	130	188	188	188 для TS, определяется пользователем вплоть до 64 К для GS. Возможны потоки с регулируемой длиной пакетов, непакетированные потоки либо потоки с длиной, превышающей 64К
Поддерживаемые транспортные потоки	MPEG-2	Система В	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2 и общий поток (GS)
Соответствие транспортных потоков спутниковым каналам	Один поток/канал	Один поток/канал	Один поток/канал	От 1 до 8 потоков/канал	От 1 до 255 потоков/канал
Обеспечение статистического мультиплексирования видео потоков	Нет ограничений в рамках транспортного потока	Нет ограничений в рамках транспортного потока	Нет ограничений в рамках транспортного потока	Нет ограничений в рамках транспортного потока. Также может иметь место на всем протяжении транспортных потоков в рамках одного спутникового канала	Нет ограничений в рамках транспортного потока Нет ограничений для типичных потоков

TWTA: travelling wave tube amplifier – усилитель на лампе бегущей волны

IMUX: input multiplex – входной мультиплексный сигнал

OMUX: output multiplex – выходной мультиплексный сигнал

(1) При КОБ $< 10^{-10}$. Значения C/N для Системы А относятся к результатам компьютерного моделирования, полученным на гипотетической спутниковой цепи, включая IMUX, TWTA и OMUX с модуляционным сдвигом, равным 0,35. Они основаны на допущении декодирования Витерби с мягким решением в приемнике. Было принято отношение ширины полосы/скорости передачи символов, равное 1,28. Значения C/N включают рассчитанное ухудшение 0,2 дБ из-за ограничений ширины полосы на фильтрах IMUX и OMUX, нелинейное ухудшение в TWTA, равное 0,8 дБ, при насыщении, и ухудшение модема, 0,8 дБ. Цифры применяются к КОБ $= 2 \times 10^{-4}$ перед RS (204, 188), который соответствует QEF на выходе из кодера RS. Ухудшение из-за помех в расчет не принимается.

(2) При КОБ, равном 1×10^{-12} .

- (3) Рассчитано путем $2(R_c)(188/204)/1,55$ либо $2(R_c)(188/204)/1,33$ для нормальной и усеченной формы спектра передачи Системы С, соответственно, где R_c является скоростью сверточного кода.
- (4) Теоретическое E_s/N_0 КФМН (2 бита на символ), т. е. C/N , измеренное в случае ширины полосы при скорости передачи в бодах для нормальной и усеченной формы спектра передачи, соответственно. Не включает запас на аппаратную реализацию либо запас на потери в спутниковом транспондере.
- (5) Эти значения были получены на основании компьютерного моделирования и рассматриваются как теоретические значения. Они применяются к КОБ = 2×10^{-4} перед RS (204, 188) с шириной полосы при скорости передачи в бодах (ширина полосы частот по Найквисту). Не включает запас на аппаратную реализацию либо запас на потери в спутниковом транспондере.
- (6) Эти значения были получены на основании компьютерного моделирования, итераций декодирования с фиксированной точкой 50 LDPC, идеальной несущей и восстановления синхронизации без фазового шума в канале AWGN. Длина кадра FEC составляет 64 800 битов. Значения применяются к PER = 10^{-7} , где PER – это отношение, имеющееся после упреждающей коррекции ошибок в приемнике между числом пакетов полезного транспортного потока (188 байтов), затронутых ошибкой и общим числом полученных пакетов. Не включает запас на аппаратную реализацию либо запас на потери в спутниковом транспондере.
- (7) Определяется как полезная скорость передачи данных на единичную скорость передачи символов в отсутствие пилот-сигналов.

ПРИЛАГАЕМЫЙ ДОКУМЕНТ 1

[EN 302 307 V1.1.2](#)
