

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R ВО.1784-1
(12/2016)

**Цифровая спутниковая система
радиовещания с гибкой конфигурацией
(телевидение, звук и данные)**

Серия ВО
Спутниковое радиовещание



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
ВО	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1784-1

**Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией
(телевидение, звук и данные)**

(Вопрос МСЭ-R 285/4)

(2007-2016)

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 между работой при минимальных уровнях C/N и максимальной пропускной способностью.

Ключевые слова

ТВЧ, ТСВЧ, спутниковый, радиовещание, объединение каналов, DVB-S2, DVB-S2X

Сокращения/Глоссарий

AAC	Advanced Audio Coding		Усовершенствованное аудиокодирование
ACM	Adaptive Coding and Modulation		Адаптивное кодирование и модуляция
ALS	Audio Lossless coding		Аудиокодирование без потерь
APSK	Amplitude and Phase Shift Keying		Амплитудно-фазовая манипуляция
ATM	Asynchronous Transfer Mode	АРП	Асинхронный режим передачи
AVC	Advanced Video Coding		Усовершенствованное видеокодирование
AWGN	Additive White Gaussian Noise		Аддитивный белый гауссов шум
BB	BaseBand		Основная полоса
BCH code	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code		Код Боуза-Чоудхури-Хоквингема
BPSK	Binary Phase Shift Keying		Двухпозиционная фазовая манипуляция
BSS	Broadcasting-Satellite Service	РСС	Радиовещательная спутниковая служба
CCM	Constant Coding and Modulation		Постоянное кодирование и модуляция
C/N	Carrier to Noise Ratio		Отношение несущая/шум
CRC	Cyclic Redundancy Check		Циклический избыточный код
DSNG	Digital Satellite News Gathering	ЦСН	Цифровой спутниковый сбор новостей
DTH	Direct To Home		Непосредственно на домашнюю антенну
DVB	Digital Video Broadcasting project		Проект цифрового телевизионного радиовещания
DVB S	DVB System for satellite broadcasting		Система DVB для спутникового радиовещания
DVB S2	Second generation DVB System for satellite broadcasting and unicasting		Система DVB второго поколения для спутникового радиовещания и односторонней передачи
DVB S2X	Extensions of the second generation DVB System for satellite broadcasting and unicasting		Расширения системы DVB второго поколения для спутникового радиовещания и односторонней передачи
FEC	Forward Error Correction		Упреждающая коррекция ошибок
FPGA	Field Programmable Gate Array		Программируемая вентильная матрица

GF	Galois Field		Поле Галуа
GS	Generic Stream		Поток общего назначения
GSE	Generic Stream Encapsulation		Инкапсулированный поток общего назначения
HDTV	High Definition Television	ТВЧ	Телевидение высокой четкости
HEVC	High Efficiency Video Coding		Высокоэффективное видеокodирование
IBO	Input Back Off		Коэффициент потери мощности на входе
IP	Internet Protocol		Протокол Интернет
IRD	Integrated Receiver Decoder		Приемник со встроенным декодером
LDPC	Low Density Parity Check		Код с малой плотностью проверок на четность
LNB	Low Noise Block		Малощумящий блок
MPEG	Moving Picture Experts Group		Группа экспертов по кинематографии
OBO	Output Back Off		Выходные потери
PL	Physical Layer		Физический уровень
PSK	Phase Shift Keying		Фазовая манипуляция
PRBS	Pseudo-Random Binary Sequence		Псевдослучайная двоичная последовательность
QAM	Quadrature Amplitude Modulation		Квадратурная амплитудная модуляция
QEF	Quasi Error Free		Квазибезошибочный прием
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying		Квадратурная фазовая манипуляция
RF	Radio Frequency	РЧ	Радиочастота
RS	Reed Solomon		Рида-Соломона (код)
SDTV	Standard Definition Television	ТСЧ	Телевидение стандартной четкости
SNR	Signal to Noise Ratio		Отношение сигнал/шум
SOF	Start of Frame		Начало кадра
TS	Transport Stream		Транспортный поток
TV	Television	ТВ	Телевидение
TWTA	Traveling Wave Tube Amplifier		Усилитель на лампе бегущей волны
UHDTV	Ultra-High Definition Television	ТСВЧ	Телевидение сверхвысокой четкости
VCM	Variable Coding and Modulation		Переменные кодирование и модуляция
VL-SNR	Very Low - Signal to Noise Ratio		Очень малое значение отношения сигнал/шум
VSAT	Very Small Aperture Terminal		Терминал с очень малой апертурой

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R ВО.1408-1	Система передачи для новейших мультимедийных услуг, предоставляемых службой цифрового радиовещания с интеграцией служб в спутниковом радиовещательном канале
Рекомендация МСЭ-R ВО.1516-1	Цифровые многопрограммные телевизионные системы, предназначенные для использования спутниками, работающими в диапазоне частот 11/12 ГГц

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что в Рекомендациях МСЭ-R ВО.1408 и МСЭ-R ВО.1516 были разработаны цифровые многопрограммные телевизионные системы для использования спутниками, которые называются действующими системами;
- b) что в результате последних разработок в области кодирования канала и модуляции были получены новые методы с характеристиками, приближающимися к границе Шеннона;
- c) что такие новые цифровые методы обеспечили бы бóльшую эффективность использования спектра и/или мощности по сравнению с действующими 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 применений интерактивности и доставки программ, таких как линии доставки ТВ программ и цифровой спутниковый сбор новостей (ЦСН);
- f) что система, пригодная для всех таких сфер применения при сохранении однокристалльного декодера разумных уровней сложности, позволила бы повторно использовать данную разработку для продуктов массового рынка в целях доставки программ или для специализированных применений;
- g) что новый метод адаптивного кодирования и модуляции (АСМ), предлагаемый рекомендуемой системой, обеспечил бы более эффективное использование спектра для одноадресных применений 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 Группы экспертов по кинематографии (MPEG) (характеризуемых пакетами размером 188 байт), протокол IP, а также пакеты асинхронного режима передачи (АТМ) и непрерывные битовые потоки;
- i) что рекомендуемая система могла бы работать с разнообразными усовершенствованными аудиовизуальными форматами, как имеющимися в настоящее время, так и формируемыми;
- j) что новые расширения рекомендуемой системы обеспечивают улучшенные показатели и характеристики для ее основных применений, в том числе для радиовещания непосредственно на домашнюю антенну (DTH) и телевидения сверхвысокой четкости (ТСВЧ), а также обеспечивают расширенный эксплуатационный диапазон для охвата возникающих рынков, таких как рынки применений подвижной связи,

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 действующих систем, многие спутниковые радиовещательные организации, 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 ретранслятора, чем действующие системы;
- c) что требование предоставлять услуги телевидения высокой четкости (ТВЧ) и ТСВЧ заставит радиовещательные организации искать более эффективные методы доставки сигналов этих услуг при существующих ретрансляторах;

d) что присущая рекомендуемой системе и ее расширениям гибкость предоставила бы способы ослабления влияния ослабления в атмосфере в более высоких полосах частот радиовещательной спутниковой службы (PSS), которые предназначены для использования для услуг ТВЧ и последующих систем,

рекомендует,

1 чтобы система DVB-S2, определенная в стандарте ETSI EN 302 307-1 V 1.4.1 (см. Прилагаемый документ 1) могла рассматриваться как подходящая система для разработки системы спутникового радиовещания с гибкой конфигурацией¹;

2 чтобы система DVB-S2X, определенная в стандарте ETSI EN 302 307-2 V1.1.1 (см. Прилагаемый документ 2) могла рассматриваться как подходящая система для разработки системы спутникового радиовещания с улучшенными показателями и характеристиками¹.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Приложении 1 представлено описание рекомендуемой системы DVB-S2 (Система E1), в Приложении 2 представлено описание расширений DVB-S2X к рекомендуемой системе (Система E2) а в Приложении 3 содержатся сравнительные таблицы, в которых рекомендуемые системы (Системы E1 и E2) сопоставляются с системами, содержащимися в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516 (Системы А, В, С, D).

Приложение 1

Основные характеристики системы DVB-S2 (называемой Система E1)

DVB-S2 представляет собой технические характеристики второго поколения для применений 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 применений спутниковой связи:

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

Для того чтобы работать во всех областях применения, 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 телевизионных программ или специализированных применений.

Система DVB-S2 была разработана с учетом трех концепций: лучшие характеристики передачи, приближение к границе Шеннона, полная 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 применений в системе DVB-S2 использованы новейшие разработки в области кодирования и модуляции канала: коды LDPC (код с малой плотностью проверок на четность) приняты в сочетании со схемами модуляции QPSK (квадратурная фазовая манипуляция),

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

8-PSK, 16-APSK (амплитудно-фазовая манипуляция) и 32-APSK, 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 (малое отношение сигнал/шум (SNR)).

Для интерактивных применений 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 поккадровой 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 ретранслятора при разнообразных требованиях к эффективности использования спектра и к SNR. 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.

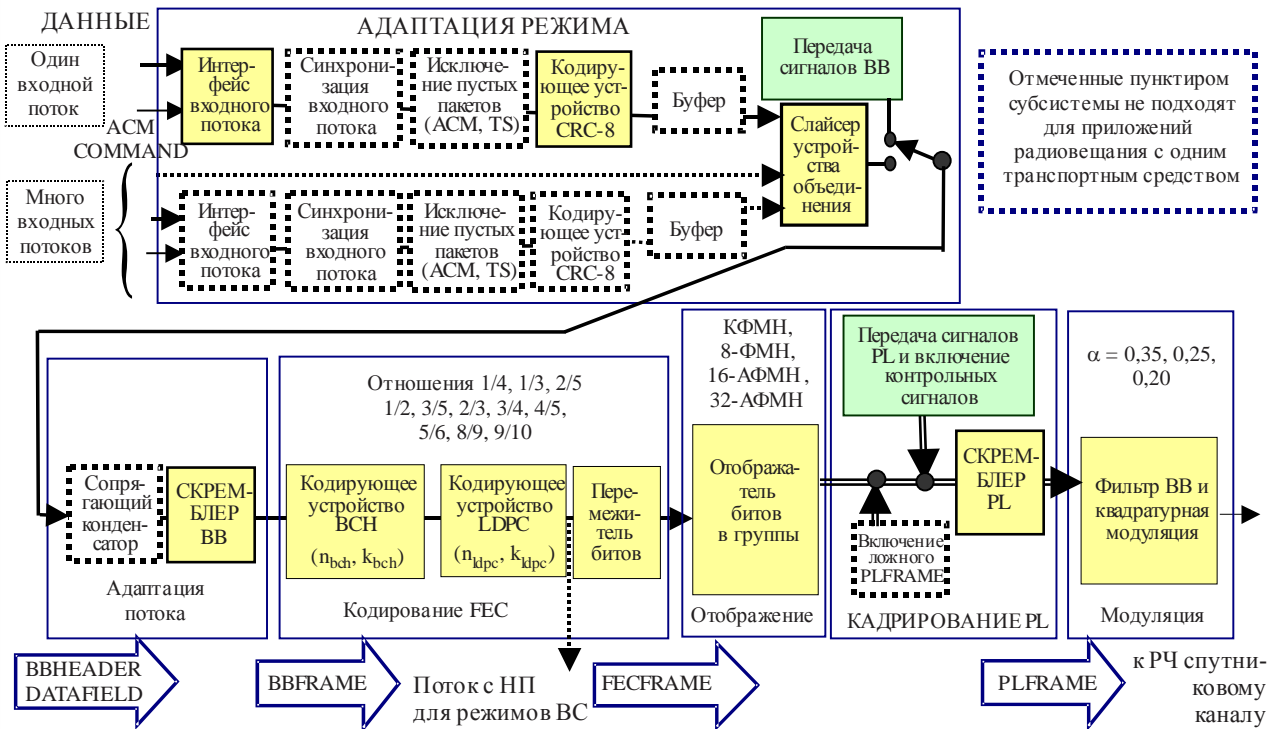
Структура системы DVB-S2

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

- BBFRAME на уровне основной полосы (BB), переносящем разнообразные биты сигнализации для конфигурации гибкости приемника в соответствии со сценарием применения;
- PLFRAME на физическом уровне (PL), переносящем несколько битов сигнализации с высокой степенью защиты для обеспечения надежной синхронизации и передачи сигналов на физическом уровне.

РИСУНОК 1

Функциональная блок-схема системы DVB-S2



ВО.1784-01

В зависимости от применения входная последовательность DVB-S2 может представлять собой один или несколько транспортных потоков (TS) MPEG, один или несколько потоков общего назначения как пакетированных, так и непрерывных. Блок, определяемый как *Адаптация режима*, обеспечивает интерфейс входного потока², синхронизацию входного потока³ (факультативно), исключение пустых пакетов⁴ (только для ACM 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. Поточковый заголовок 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, постоянные кодирование и модуляция, (CCM) либо ACM 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, поточковый заголовок 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 поточковых кадрах.

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

² Входная последовательность может представлять собой один или несколько TS, один или несколько потоков общего назначения (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.

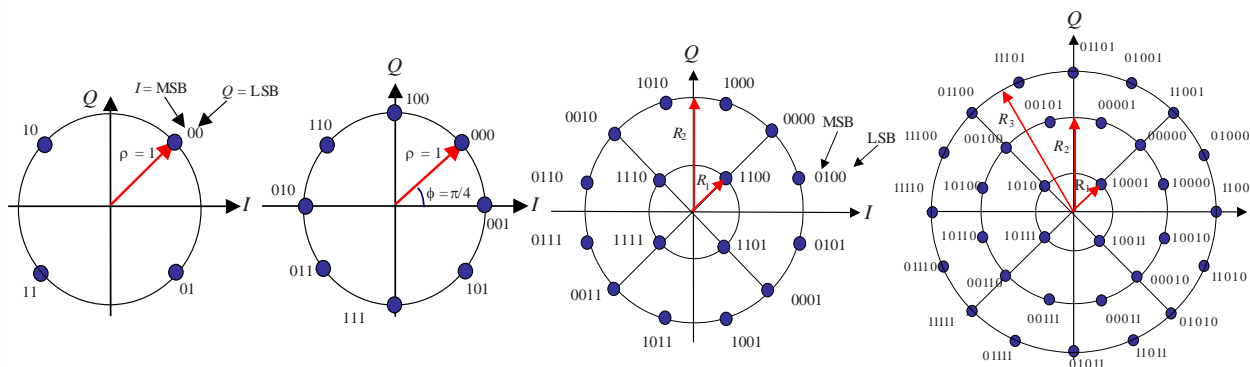
Кодирование с упреждающей коррекцией ошибок (FEC) осуществляет связывание внешнего кода BCH (код Боуза-Чоудхури-Хоквингема) и внутренних кодов LDPC (с малой плотностью проверок на четность) (соотношения 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). В зависимости от области применения блоки кодов FEC (кадры FEC) могут иметь длину 64 800 либо 16 200 битов. Когда используются переменные 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.

Отображение может быть выбрано из групп QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK (см. рисунок 2) в зависимости от области применения. QPSK и 8-PSK обычно предлагаются для радиовещательных применений, поскольку они по сути являются типами модуляции с постоянной огибающей, и могут быть использованы в нелинейных спутниковых ретрансляторах, работающих в режиме, близком к насыщению. Режимы 16-APSK и 32-APSK, главным образом предназначенные для применений доставки телевизионных 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 ретранслятора. Хотя эти режимы не являются настолько энергосберегающими, как другие, эффективность использования спектра оказывается намного выше. Группы 16-APSK и 32-APSK были оптимизированы для работы на нелинейном ретрансляторе путем нанесения точек на круги. Тем не менее их рабочие характеристики на линейном канале сравнимы с рабочими характеристиками 16-QAM и 32-QAM, 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 ретранслятора.

РИСУНОК 2

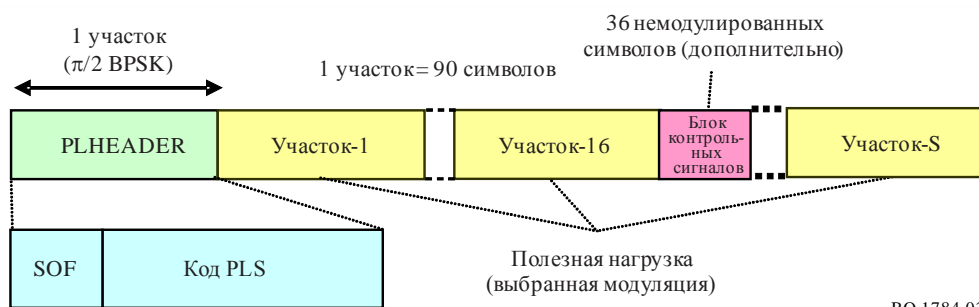
Четыре возможные группы DVB-S2 перед скремблированием физического уровня



ВО.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. рисунок 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



ВО.1784-03

Первые 26 двоичных символов (последовательность 18D2E82_{HEX}) заголовка PL определяют начало кадра PL (SOF), 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 (SNR 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 надежно 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 заголовок PL, являются модулированными по $\pi/2$ -BPSK; этот вариант классической группы BPSK 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 бит) и группы модуляции, однако (исключая факультативные пилот-сигналы) длина полезной нагрузки всегда представляет собой множество участков из 90 символов (см. рисунок 3), что показывает периодичность, которая может быть использована устройством синхронизации кадров в приемнике: после того как текущий заголовок PL декодирован, декодер точно знает длину кадра PL и, таким образом, позицию следующего SOF.

Кадрование PL также обеспечивает:

- факультативное включение пустого кадра PL, когда полезные данные не готовы для отправки в канал; и
- включение факультативных пилот-сигналов для обеспечения синхронизации приемника.

Коды DVB-S2 с FEC в действительности являются столь мощными, что восстановление несущей может стать серьезной проблемой для типов модуляции высокого порядка, работающих при низком SNR в присутствии высоких уровней фазового шума в конвертерах и тюнерах спутникового радиовещания с маломощными блоками (LNB): в частности, такое происходит с некоторыми низкоскоростными режимами DVB-S2 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK. Пилот-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 соблюдения требований Регламента радиосвязи в отношении заполнения спектра и для передачи своего рода "подписи" оператора службы с целью оперативной идентификации в случае ошибок в процедурах линии вверх.

Затем применяется *Потоковая фильтрация 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.

Прилагаемый документ 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 гауссова 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 функционального взаимодействия.

1 Основные результаты испытания

Испытание AWGN

Были произведены измерения на канале с AWGN, соответственно, для QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK для оценки рабочих характеристик системы как при нормальной конфигурации, так и при короткой конфигурации FECFRAME. Скорость передачи символов составила 27,5 МБод, за исключением 32-APSK, 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 QPSK, от 0,2 до 0,9 дБ для 8-PSK, от 0,3 до 1,3 дБ для 16-APSK и от 1,3 до 1,7 дБ для 32-APSK.

Испытание SAT

Результаты лабораторных испытаний в нелинейном спутниковом канале подтверждают результаты моделирования, содержащиеся в таблице Н.1 EN 302 307. Оптимальная рабочая точка имеет место при снижении входной мощности (IBO) на 0 дБ для QPSK1/2, соответствуя снижению выходной мощности (OBO) на 0,3 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно 0,5 дБ по отношению к каналу AWGN. Для 8-PSK оптимальная рабочая точка имеет место при IBO 1 дБ, соответствуя OBO 0,4 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно на 0,6 дБ. Для 16-APSK оптимальная рабочая точка имеет место при IBO 4 дБ, соответствуя OBO 1,6 дБ и вызывая ухудшение рабочих характеристик на примерно 3,0 дБ. Для 32-APSK рабочая точка имеет место при

⁵ Максимальная скорость передачи символов, возможная для конфигурации 32-APSK. 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.

ОВО 7 дБ, соответствуя ОВО 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-PSK и 1,0 дБ для 16-APSK.

Были проведены дополнительные испытания 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-APSK. Для 16-APSK со скоростью 3/4 использование предварительной коррекции в модуляторе позволяет системе работать оптимально в режиме насыщения при ОВО спутника 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 применений радиовещания, в соответствии со следующими конфигурациями:

ТАБЛИЦА 1

Сравнительные сценарии DVB-S/DVB-S2 для применений радиовещания

Система	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Ширина полосы канала BW (МГц)	36	36	36	36
Модуляция и кодирование	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8-PSK 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 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 телевизионных 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 оптимальном снижении мощности.

Результаты, полученные для сценария доставки телевизионных программ, показали, что вносимое фазовым шумом LNB ухудшение составляет порядка 0,3 дБ для QPSK и 8-PSK, 1,2 дБ для 16-APSK и 32-APSK. Кроме того, пилот-сигналы не требуются при QPSK, хотя они начинают становиться полезными при 8-PSK; при 16-APSK и 32-APSK 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 QPSK даже при отсутствии пилот-сигналов и составляет порядка 0,1 дБ для 8-PSK и 0,3 дБ для 16-APSK при использовании пилот-сигналов.

Испытания VCM и ACM

Были проведены испытания 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 ACM 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 в реальном аппаратном обеспечении.

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

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

Приложение 2

Основные характеристики системы DVB-S2X (радиовещательная часть именуется Системой E2)

DVB-S2X является расширением спецификации DVB-S2 для применений спутниковой широкополосной связи и обеспечивает дополнительные технологии и характеристики. DVB-S2X публикуется как ETSI EN 302 307, часть 2, а DVB-S2 является частью 1.

DVB-S2X обеспечивает улучшенные показатели и характеристики для основных применений DVB-S2, включая передачу непосредственно на домашнюю антенну (DTH), доставку программ, VSAT и DSNG. Спецификация обеспечивает также расширенный эксплуатационный диапазон для охвата возникающих рынков, например применений подвижной связи.

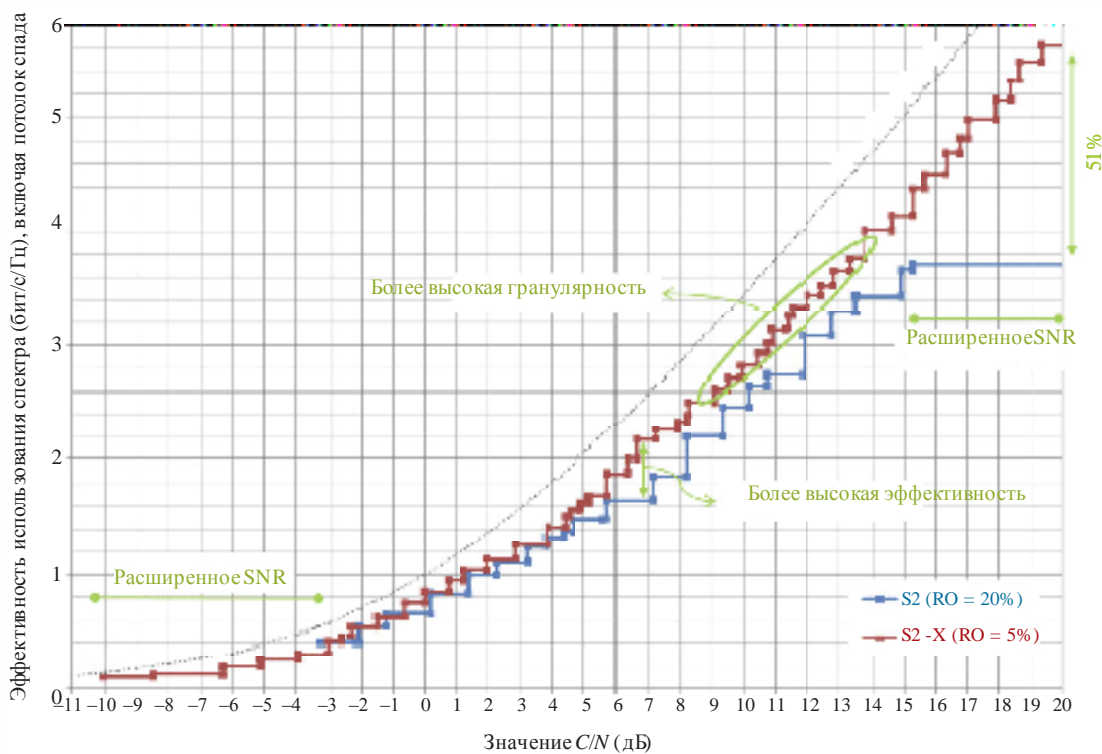
Спецификация DVB-S2 была разработана около 10 лет назад и ориентирована на DTH. С тех пор возникли новые требования, и необходимые технические спецификации обеспечивает DVB-S2X. DVB-S2X поддерживает значительно более высокую эффективность использования спектра при отношениях несущая/шум (C/N), типичных для профессиональных применений, таких как линии доставки программ и IP-транкинг. Она также поддерживает очень малое значение C/N до -10 дБ для применений подвижной связи (например, морских, воздушных, в поездах и т. п.).

Стандарт DVB-S2X основан на устойчивой спецификации DVB-S2. В ней используется надежная и мощная схема упреждающей коррекции ошибок (FEC) с LDPC в сочетании с BCH FEC в качестве внешнего кода, и представлены следующие дополнительные элементы:

- более низкие характеристики спада – 5% и 10% (в дополнение к 20%, 25% и 35% в DVB-S2);
- более высокая гранулярность и расширение числа режимов модуляции и кодирования;
- новые варианты комбинаций для линейных и нелинейных каналов (комбинации линейных каналов обозначаются как xxx-L, где xxx – соответствующая нелинейная комбинация);
- дополнительные варианты скремблирования в критических ситуациях наличия помех в совмещенном канале;
- связывание каналов (до 3-х каналов);
- эксплуатационная поддержка режима сверхмалого отношения SNR (до –10 дБ);
- функция суперкадра.

Это обуславливает следующую эффективность использования спектра DVB-S2X по сравнению с DVB-S2 (рисунок 4).

РИСУНОК 4
Сопоставление показателей работы DVB-S2 и DVB-S2X



ВО.1784-04

Пригодный к использованию диапазон C/N расширяется на значения до –10 дБ благодаря дополнительным вариантам кадрирования, кодирования и модуляции, что делает возможными использование в спутниковых службах подвижной связи (на море и в воздухе) и направленных антенн очень малого размера. Для применений VSAT спецификации DVB-S2X открывают возможность поддержки передовых технологий для будущих сетей интерактивной широкополосной связи, т. е. методов ослабления влияния помех внутри системы, скачкообразного переключения лучей и передачи с использованием нескольких форматов. Это может обеспечить значительный выигрыш в пропускной способности и гибкости интерактивных спутниковых сетей широкополосной связи и стало возможным благодаря дополнительной структуре формирования суперкадров.

DVB-S2 уже обеспечивает высокую эффективность использования спектра для применений DTH, и поэтому DVB-S2X не может дать на физическом уровне таких преимуществ, которые были бы сопоставимы с переходом от DVB-S к DVB-S2 (т. е. около 30%). Тем не менее, для DTH DVB-S2X точно настраивает как физический уровень, так и уровень более высоких протоколов DVB-S2,

создавая чрезвычайно привлекательный пакет (для услуг нового поколения, которым в любом случае потребуются новые приемники).

Наиболее важными возможностями для DTH является объединение каналов и более высокая гранулярность модуляции и опции FEC в сочетании с более резкими спадами. Объединение до трех спутниковых каналов позволит поддерживать более высокие совокупные скорости передачи данных и получать дополнительный выигрыш от статистического мультиплексирования для услуг с высокими скоростями передачи данных, таких как TCBЧ. Обязательная реализация VCM (переменные кодирование и модуляция) в приемниках создает возможность повышения эффективности использования спектра для услуг TCBЧ, гарантируя при этом бесперебойность обслуживания при сильном дожде благодаря одновременной передаче компонентов стандартной четкости (СЧ) с высокой степенью защиты.

Более высокая гранулярность и опции FEC обеспечивают повышенную эксплуатационную гибкость.

Для профессиональных применений и применений DSNG схемы высокоэффективной модуляции позволяют добиваться спектральной эффективности, приближающейся к 6 бит/с/Гц (с 256APSK). Значения C/N до 20 дБ теперь поддерживаются достигаемым повышением усиления до 50%.

Приложение 3

Сравнение системы DVB-S2 (Система E1) и системы DVB-S2X (радиовещательная часть именуется Системой E2) с системой спутниковой передачи программ цифрового многопрограммного телевидения, определенной в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516

В таблице 2 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 E1) и DVB-S2X (Система E2).

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 3 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 E1	Система E2
Доставляемые услуги	ТСЧ и ТВЧ, применения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, применения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, применения по передаче звука, данных и интерактивных данных	ТСЧ и ТВЧ, применения по передаче звука, данных и интерактивных данных		ТСЧ, ТВЧ и ТСВЧ, применения по передаче звука, данных и интерактивных данных ¹⁾	
Формат входного сигнала	MPEG-TS	Модифицированный MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS		MPEG-TS/поток общего назначения (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 ⁷⁾	Для радиовещания: имеются переменные кодирование и модуляция в дополнение к мощности передатчика и внутренней скорости кода	
Объединение каналов	Нет	Нет	Нет	Нет		Нет	До трех каналов
Подвижной прием	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению		Отсутствует, подлежит дальнейшему рассмотрению	Режимы VL-SNR, пригодные для применений подвижной связи и других услуг в районах с SNR не выше -10 дБ
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 E1	Система E2
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 Системы А, В, С, D и E1	Возможны Системы А, В, С, D, E1 и E2	
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 Основа GSE, GSE-Lite	
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 E1	Система E2
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 5/11: 16,4 Мбит/с 1/2: 18,0 Мбит/с 3/5: 21,6 Мбит/с 2/3: 24,0 Мбит/с 3/4: 27,0 Мбит/с 4/5: 28,8 Мбит/с 5/6: 30,0 Мбит/с 7/8: 31,5 Мбит/с	29,3 МБод 24,5 Мбит/с 27,0 Мбит/с 32,4 Мбит/с 36,0 Мбит/с 40,5 Мбит/с 43,2 Мбит/с 45,0 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: QPSK 1/2: 27,467 Мбит/с QPSK 3/4: 41,316 Мбит/с 8-PSK 2/3: 55,014 Мбит/с 16-APSK 3/4: 82,404 Мбит/с ⁵⁾ 6)	8-PSK 25/36: 57,278 32-APSK 2/3 L (*): 91,437 64-APSK 5/6: 137,120 ⁶⁾
Возможность наращивания снизу вверх	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Возможность ТВЧ	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Возможность ТСВЧ	–	–	–	–	–	Да	
Выбираемый условный доступ	Да	Да	Да	Да	Да	Да	

(*) L обозначает режимы, оптимизированные для квазилинейных каналов.

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1	Система E2
Схемы модуляции для радиовещания	QPSK	QPSK	QPSK	TC8-PSK/QPSK/BPSK	QPSK/8-PSK/16-APSK/32-APSK ⁵⁾	QPSK/8-PSK/8-APSK-L/16-APSK/16-APSK-L/32-APSK/32-APSK-L/64-APSK/64-APSK-L/ ⁶⁾
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)	
					0,15, 0,10, 0,05 (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)	VCH (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)	VCH (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	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	Нет	PRBS: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ усеченная для периода в 4 894 байт	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	PRBS n: последовательности Голда получены путем объединения двух последовательностей, построенных с использованием примитивных (над GF(2)) многочленов $1 + x^7 + x^{18}$ и $1 + y^5 + y^7 + y^{10} + y^{18}$ $n \in [0, 262\ 141]$ Тогда последовательность n-го кода Голда z_n $n = 0, 1, 2, \dots, 2^{18} - 2$, определяется как: $-z_n(i) = [x((i+n) \text{ modulo } (2^{18}-1)) + y(i)] \text{ modulo } 2, i = 0, \dots, 2^{18} - 2.$	

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1	Система E2
Последовательность загрузки в регистре псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS)	100101010000000	Неприменимо	0001_h	100101010000000	$n = 0$ для радиовещательных служб	$n = i \times 10\,949$, при $i \in [0,6]$ для радиовещательных служб с целью ослабления влияния помех
Точка рандомизации	Перед кодирующим устройством РС (Рида-Соломона)	Неприменимо	После кодирующего устройства РС	После кодирующего устройства РС	Перед модуляцией/после отображения битов в кадр физического уровня и включения дополнительных пилот-сигналов	
Перемежение между внутренним и внешним кодами	Сверточное, $I = 12, M = 17$ (Форни)	Сверточное, $N1 = 13, N2 = 146$ (Рамсей II)	Сверточное, $I = 12, M = 19$ (Форни)	Блок (глубина = 8)	2)	
Внутреннее кодирование	Сверточное	Сверточное	Сверточное	Сверточное 1, решетчатое (8-PSK: 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	
					Средний кадр FEC = 32 400 бит	

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

с) Технические характеристики (передача) (окончание)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1 ⁽³⁾	Система E2 ⁽³⁾
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	QPSK: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 8-PSK: 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10 16-APSK: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 32-APSK: 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	QPSK: 13/45, 9/20, 11/20, 11/45, 4/15, 14/45, 7/15, 8/15, 32/45 8-PSK: 23/36, 25/36, 13/18, 7/15, 8/15, 26/45, 32/45 8-APSK-L: 5/9, 26/45 16-APSK: 26/45; 3/5; 28/45; 23/36; 25/36; 13/18; 7/9; 77/90 7/15, 8/15, 26/45, 3/5, 32/45 16-APSK-L: 5/9; 8/15; 1/2; 3/5; 2/3 32-APSK: 2/3, 32/45 32-APSK-L: 2/3 64-APSK: 11/15; 7/9; 4/5; 5/6 64-APSK-L: 32/45 ⁽⁶⁾
Управление передачей	Нет	Нет	Нет	TMCC	Структура формирования потоковых кадров и кадров 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	
						Средний кадр FEC = 32 400 бит
Структура построения суперкадров	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
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 E1	Система E2
Кодирование видеоисточника	Синтаксис	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC MPEG-2 общий HEVC ⁴⁾ Не ограничено	
	Уровни	Как минимум основной уровень	Как минимум основной уровень	Как минимум основной уровень	Основной и высокий уровень	Уровень 3 и 4 Не ограничено, применимо ко всем уровням	
	Профили	Как минимум основной профиль	Как минимум основной профиль	Как минимум основной профиль	Основной профиль	Основной профиль Не ограничено, все профили применимы	
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) Не ограничено	
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 Рекомендуемые для HEVC ⁴⁾ Не ограничено	
Скорость передачи кадров на мониторе (в секунду)		25	29,97	25 либо 29,97	29,97 либо 59,94	25, 50 либо 100, 24, 30, 60 либо 120	

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

d) Технические характеристики (кодирование источника) (окончание)

	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1	Система E2
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 MPEG-4 AAC, MPEG-4 ALS	
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 применениям.
- 2) В Системах E1 и E2 перемежение между внутренним и внешним кодами не используется, однако существует битовое перемежение перед отображателем символов (за исключением QPSK).
- 3) Не все скорости внутреннего кодирования применимы к любому размеру кадра FEC.
- 4) Рекомендация МСЭ-T Н.265 (2013) | ISO/IEC 23008-2:2013: Высокоэффективное видеокodирование.
- 5) QPSK и 8-PSK являются нормативными, 16-APSK и 32-APSK являются необязательными для вещательных применений в DVB-S2.
- 6) QPSK, 8-PSK, 8-APSK-L, 16-APSK, 16-APSK-L, 32-APSK 32-APSK-L являются нормативными для радиовещания, 64-APSK и 64-APSK-L являются необязательными для радиовещания в DVB-S2X. Наряду с этим BPSK, 128-APSK, 256-APSK и 256-APSK-L, имеющиеся в DVB-S2X, неприменимы для радиовещания. L обозначает режимы, оптимизированные для квазилинейных каналов.
- 7) Для взаимно однозначных и интерактивных служб доступны адаптивное кодирование и модуляция в дополнение к мощности передатчика и внутренней скорости кода.

ТАБЛИЦА 3

Таблица сравнительных характеристик

Модуляция и кодирование		Система А		Система В		Система С		Система D		Система E1 ⁹⁾		Система E2 ⁹⁾	
Режимы модуляции, поддерживаемые отдельно и на одной и той же несущей		QPSK		QPSK		QPSK		8-PSK, QPSK и BPSK		QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK ^{10) 11)}			
										8-APSK-L, 16-APSK-L, 32-APSK-L, 64-APSK, 64-APSK-L ⁽¹¹⁾			
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⁾	Эффективность использования спектра ⁷⁾	C/N для QEF ⁽⁸⁾
Режимы Внутренний код													
BPSK Сверт.	1/2	Не используется		Не используется		Не используется		0,35	0,2	Не используется			
QPSK	1/4	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,49	-2,3		
	13/45	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,57	-2,03
	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			
	9/20	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		0,89	0,22
	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		
	11/20	Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		Не используется		1,09	1,45
	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				

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Модуляция и кодирование		Система А	Система В	Система С	Система D		Система E1 ⁹⁾		Система E2 ⁹⁾	
	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		
8-PSK решетчатая		Не используется	Не используется	Не используется	1,4	8,4	Не используется			
8-APSK-L	5/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		1,65	4,73
	26/45	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		1,71	5,13
8-PSK	3/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		1,78	5,5		
	23/36	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		1,90	6,12
	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		1,98	6,6		
	25/36	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,06	7,02
	13/18	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,15	7,49
	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-APSK-L	1/2	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		1,97	5,97
	8/15	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,10	6,55
	5/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,19	6,84
	3/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,37	7,41
	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,64	8,43
16-APSK	26/45	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,28	7,51
	3/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,37	7,80
	28/45	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,46	8,10
	23/36	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,52	8,38
	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,64	9,0		
	25/36	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,75	9,27
	13/18	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		2,86	9,71
	3/4	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		2,97	10,2		
	7/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		Не используется		3,08	10,65
	4/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется		3,17	11,0		

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Модуляция и кодирование	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1 ⁹⁾	Система E2 ⁹⁾		
	5/6	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,30	11,6	
	77/90	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,39	11,99
	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-APSK-L	2/3	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,29	11,10
32-APSK	32/45	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,51	11,75
	11/15	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,62	12,17
	3/4	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,70	12,7	
	7/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	3,84	13,05
	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	
64-APSK-L	32/45	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	4,21	13,98
	64-APSK	11/15	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	4,34	14,81
	7/9	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	4,60	15,47
	4/5	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	4,74	15,87
	5/6	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	Не используется	4,93	16,55
Способность управлять иерархической модуляцией?	Нет	Нет	Нет	Да	Да			
Характеристики скорости передачи символов	Плавно регулируемая	Фиксированная, 20 МБод	Регулируемая, 19,5 либо 29,3 МБод	Плавно регулируемая	Плавно регулируемая			
Длина пакета (в байтах)	188	130	188		188	188 для TS, определяется пользователем вплоть до 64К 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 поток общего назначения (GS)		
						Полностью IP		

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Модуляция и кодирование	Система А	Система В	Система С	Система D	Система E1 ⁹⁾	Система E2 ⁹⁾
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 потоков общего назначения

TWTA: усилитель на лампе бегущей волны

IMUX: входной мультиплексный сигнал

OMUX: выходной мультиплексный сигнал

- 1) При $BER < 10^{-10}$. 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 $BER = 2 \times 10^{-4}$ перед RS (204, 188), который соответствует QEF на выходе из кодера RS. Ухудшение из-за помех в расчет не принимается.
- 2) При BER , равном 1×10^{-12} .
- 3) Рассчитано как $2(R_c)(188/204)/1,55$ 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 QPSK (2 бита на символ), т. е. C/N , измеренное для 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 ретрансляторе.
- 5) Эти значения были получены на основании компьютерного моделирования и рассматриваются как теоретические значения. Они применяются к $BER = 2 \times 10^{-4}$ 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 ретрансляторе.
- 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 ретрансляторе.
- 7) Определяется как полезная скорость передачи данных на единичную скорость передачи символов в отсутствие пилот-сигналов.
- 8) 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 $FER = 10^{-5}$, где FER – это отношение, имеющееся после упреждающей коррекции ошибок в приемнике между числом полученных нормальных кадров FEC, затронутых ошибкой, и общим числом полученных пакетов. Не включает запас на аппаратную реализацию либо запас на потери в спутниковом ретрансляторе.
- 9) Перечисленные конфигурации модуляции и кодирования относятся к нормальному кадру FEC.
- 10) QPSK и 8-PSK являются нормативными, 16-APSK и 32-APSK являются необязательными для вещательных применений в DVB-S2.
- 11) QPSK, 8-PSK, 8-APSK-L, 16-APSK, 16-APSK-L, 32-APSK и 32-APSK-L являются нормативными для радиовещания, 64-APSK и 64-APSK-L являются необязательными для радиовещания в DVB-S2X. Наряду с этим в DVB-S2X имеются 128-APSK, 256-APSK и 256-APSK-L, которые не применимы для вещательных применений. L обозначает режимы, оптимизированные для квазилинейных каналов.

**Прилагаемый документ 1
к Приложению 3**

ETSI EN 302 307-1 V1.4.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2*,
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230701/01.04.01_60/en_30230701v010401p.pdf

**Прилагаемый документ 2
к Приложению 2**

ETSI EN 302 307-2 V1.1.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X)*,
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230702/01.01.01_60/en_30230702v010101p.pdf
