

От DVB-S к DVB-S2X: прогресс в стандартизации систем цифрового спутникового вещания

К. Ю. Коломенский¹, А. Ю. Демидова¹, А. С. Казаринов^{2✉}

¹Санкт-Петербургский филиал – "ЛОНИИР" Ордена Трудового Красного Знамени
Российского научно-исследовательского института радио
им. М. И. Кривошеева, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"
им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ akazarinov97@gmail.com

Аннотация

Введение. Представлена краткая история развития процесса европейской и международной стандартизации в области систем DVB (Digital Video Broadcasting) в применении к спутниковому вещанию, рассматриваются преимущества новых систем, представлены результаты сравнительного анализа их основных характеристик по отношению к предыдущим версиям.

Цель работы. Исследовать прогресс в стандартизации систем цифрового спутникового вещания, проанализировать новые функции и возможности, сравнить основные характеристики и выделить преимущества новых систем по отношению к предыдущим версиям.

Материалы и методы. Документы Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) и Международного союза электросвязи, относящиеся к стандартизации систем спутникового вещания от DVB-S до DVB-S2X. Сравнительный анализ основных функций и характеристик рассматриваемых систем.

Результаты. Проанализированы новые функции и возможности, введенные в системе DVB-S2, включая опцию Time-slicing (Annex M), позволяющую приемникам выбирать и декодировать отдельный поток, несущий один или более нужных сервисов, и не тратить ресурсы на обработку других потоков. Рассмотрены новые опции системы DVB-S2X, включая опцию Super-Framing Structure (Annex E), которая позволяет обеспечить повышенную устойчивость к соканальным помехам от сигналов, передаваемых по соседнему лучу, а также поддержку будущих разработок, связанных с "прыгающими лучами" (beam hopping). Проиллюстрированы преимущества введенного в DVB-S2X "объединения каналов", что позволяет совместно использовать емкость двух или трех транспондеров с целью увеличения коэффициента статистического мультиплексирования в случае передачи программ UHD TV.

Заключение. Стандартизация систем цифрового спутникового вещания обеспечивает возможность разработчикам и производителям оборудования использовать наиболее современные технологии и методы, опираясь в то же время на международно признанные стандарты. Это позволяет, с одной стороны, постоянно совершенствовать оборудование цифровых систем спутникового вещания, повышая потребительские качества предоставляемых услуг, а с другой – увеличивать тиражи и удешевлять выпускаемые микросхемы и аппаратуру.

Ключевые слова: системы цифрового спутникового вещания, структура кадров, виды модуляции и кодирования, спектральная эффективность

Для цитирования: Коломенский К. Ю., Демидова А. Ю., Казаринов А. С. От DVB-S к DVB-S2X: прогресс в стандартизации систем цифрового спутникового вещания // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27, № 2. С. 68–78. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-2-68-78

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.12.2023; принята к публикации после рецензирования 08.02.2024; опубликована онлайн 29.04.2024

From DVB-S to DVB-S2X: Progress in Standardization of Digital Satellite Broadcasting Systems

Konstantin Yu. Kolomensky¹, Anna Yu. Demidova¹, Andrei S. Kazarinov^{2✉}

¹The M. I. Krivosheev Radio Research & Development Institute
St Petersburg Branch – "LONIIR", St Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Electrotechnical University, St Petersburg, Russia

✉ akazarinov97@gmail.com

Abstract

Introduction. The article presents a brief history of the European and international standardization process in the field of digital video broadcasting (DVB) systems as applied to satellite broadcasting. The advantages of new systems are considered. The results of a comparative analysis of their main characteristics in relation to previous versions are given.

Aim. To study the current progress in the standardization of digital satellite broadcasting systems, to analyze their new features and capabilities, to compare their main characteristics, and to distinguish the advantages of new systems in relation to previous versions.

Materials and methods. Documents of the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) and the International Telecommunication Union related to the standardization of satellite broadcasting systems from DVB-S to DVB-S2X were studied. A comparative analysis of the main functions and characteristics of the systems under consideration was carried out.

Results. New functions and features introduced in the DVB-S2 system were analyzed, including the Time-Slicing (Annex M) option, which allows receivers to select and decode a specific stream carrying one or more services of interest without wasting resources on processing other streams. New DVB-S2X system options were considered, including the Super-Framing Structure (Annex E) option, which ensures increased immunity to co-channel interference from neighboring beam signals, as well as support for future developments related to beam hopping. The advantages of channel aggregation in DVB-S2X were illustrated, which allows the capacity of two or three transponders to be shared in order to increase the statistical multiplexing ratio in the case of UHD TV programs.

Conclusion. The standardization of digital satellite broadcasting systems provides an opportunity for equipment developers and manufacturers to use the latest technologies and methods, while relying on internationally recognized standards. This allows, on the one hand, the equipment of digital satellite broadcasting systems and the consumer quality of the services provided to be constantly improved, and, on the other hand, the cost of chips and equipment produced to be optimized.

Keywords: digital video broadcast satellite systems, frame structure, channel coding and modulation systems, spectral efficiency

For citation: Kolomensky K. Yu., Demidova A. Yu., Kazarinov A. S. From DVB-S to DVB-S2X: Progress in Standardization of Digital Satellite Broadcasting Systems. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2024, vol. 27, no. 2, pp. 68–78. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-2-68-78

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Submitted 22.12.2023; accepted 08.02.2024; published online 29.04.2024

Введение. На протяжении двух последних десятилетий распространение цифрового спутникового вещания проходит по всему миру, в том числе и в России, ускоренными темпами. В немалой степени этому способствует стандартизация новых методов кодирования и повышения спектральной эффективности, которые достаточно быстро находят отражение в международных нормативных документах для систем цифрового спутникового вещания.

В статье представлена краткая история развития процесса европейской и международной стандартизации в области систем DVB (Digital Video Broadcasting) в применении к спутниковому вещанию. Приводятся общие сведения о системах цифрового спутникового вещания от DVB-S до DVB-S2X, рассматриваются преимущества новых систем, представлены результаты сравнительного анализа их основных характеристик по отношению к предыдущим версиям.

Системы семейства DVB. Концепция систем DVB разрабатывается в рамках европейского проекта DVB Project, который представляет собой консорциум производителей оборудования и операторов телевидения, совместно разрабатывающих открытые спецификации в области распространения цифрового медиаконтента. Члены консорциума в составе рабочих групп по нескольким направлениям готовят спецификации систем цифрового вещания, которые затем утверждаются в виде стандартов международными организациями, как правило, Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Для применения в спутниковом телевидении система цифрового вещания получила название DVB-S (Satellite Transmission) наряду с DVB-C (Cable Transmission), DVB-T (Terrestrial Transmission), DVB-H (Handheld) для мобильных терминалов, DVB-MC и DVB-MS для систем миллиметрового диапазона, работающих на частотах менее и более 10 ГГц соответственно.

Финальная версия европейского стандарта для системы DVB-S была утверждена ETSI в августе 1997 г. и получила кодовое обозначение ETSI EN 300 421 [1]. Это гибкий стандарт, охватывающий различные области применения спутникового вещания и передачи данных, он определяет структуру кадров, виды модуляции и кодирования спутниковых сигналов с использованием схемы сжатия MPEG-2.

В 2005 г. был утвержден новый европейский стандарт ETSI EN 302 307-1 для системы, получившей название DVB-S2 [2], а в 2014 г. этот стандарт был дополнен второй частью ETSI EN 302 307-2 для системы, получившей название DVB-S2X [3]. Кроме этих стандартов были подготовлены документы, в которых рассматриваются технические и эксплуатационные вопросы, относящиеся к системам DVB-S2 и DVB-S2X соответственно [4, 5].

На базе документов, разработанных DVB Project и ETSI, Международный союз электросвязи (МСЭ) в марте 2014 г. опубликовал отчет [6], а в декабре 2016 г. выпустил Рекомендацию "Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией (телевидение, звук и данные)", объединяющую основные положения по системам DVB-S2 и DVB-S2X [7].

От DVB-S к DVB-S2 (2003–2014). На базе опыта, полученного в ходе эксплуатации системы DVB-S, и с учетом новых достижений в области приема и обработки спутниковых сигналов в 2003 г. началась разработка стандарта для системы DVB-S2. Этот стандарт был ратифицирован ETSI в марте 2005 г., но работа по совершенствованию системы не прекращалась, и позднее выходили следующие версии спецификаций. Финальная версия стандарта EN 302 307-1 V1.4.1 была утверждена ETSI в ноябре 2014 г.

Общие сведения о стандарте для систем DVB-S2. В отличие от DVB-S система DVB-S2 изначально разрабатывалась для предоставления услуг спутникового телевизионного вещания с высоким уровнем четкости HDTV со сжатием видеосигналов по стандарту H.264 (MPEG-4 Part 10 или AVC), а также для доступа в Интернет и передачи данных. Система DVB-S2 объединила преимущества всех достижений в сфере кодирования и модуляции сигналов, которые имелись на момент ее разработки, в том числе коды LDPC (Low Density Parity Check), а также изменяемые и адаптивные схемы кодирования и модуляции (VCM – Variable Coding and Modulation и ACM – Adaptive Coding and Modulation) [8].

Добавление новых функций и возможностей в стандарт для системы DVB-S2. В стандарт для системы DVB-S2 добавлены новые функции и возможности:

- новые виды модуляции: 8PSK, 16APSK и 32APSK;
- новые более эффективные виды кодирования (на 2...2.5 дБ лучше, чем в DVB-S): коды БЧХ (Боуза–Чоудхури–Хоквингема) вместо кодов Рида–Соломона; коды LDPC вместо несистематических сверточных кодов, декодируемых по алгоритму Витерби;
- использование кадров больших размеров (16 200 и 64 800 бит);
- поддержка большего числа кодовых скоростей (от 1/4 до 9/10);
- дополнительные (меньшие) значения коэффициента скругления спектра сигнала (roll-off factor): 0.2 и 0.25 (кроме 0.35);
- поддержка входных потоков различных форматов (ATM, IP, MPEG и др.);

– передача нескольких потоков на одной несущей с разными схемами кодирования и модуляции (режим VCM – Variable Coding and Modulation);

– адаптивное кодирование и модуляция (режим ACM – Adaptive Coding and Modulation);

– опция Time-slicing (ETSI EN 302 307-1, Annex M), которая позволяет выбрать из общего потока, передаваемого на одной широкополосной несущей, отдельные необходимые сервисы, передаваемые в определенных тайм-слотах, и не обрабатывать другие тайм-слоты, несущие данные посторонних сервисов. Эту опцию целесообразно использовать для широкополосных спутниковых транспондеров, когда передача одной или нескольких широкополосных несущих предпочтительнее, чем передача множества узкополосных сигналов. Для того чтобы позволить приемникам выбирать и декодировать отдельный поток, несущий один или более сервисов, и не тратить ресурсы на обработку других потоков, передатчик должен распределять входные сервисы в потоки, передаваемые в кадрах физического уровня (Physical Layer – PL) и идентифицируемые специальным номером TSN (Time Slice Number). Такие потоки должны передаваться в пакетах, соответствующим образом разделенных во времени (рис. 1). Приемник может выбрать, например, TSN = 1 и декодировать сервисы 1 и 2, отбросив потоки с другими TSN и соответствующими сервисами.

Сравнение основных характеристик DVB-S и DVB-S2. В табл. 1 приведены для сравнения основные характеристики DVB-S и DVB-S2.

Основные преимущества DVB-S2 по сравнению с DVB-S. В результате добавления новых функций и возможностей использование DVB-S2 по сравнению с DVB-S обеспечивает:

– улучшение спектральной эффективности на 30 % и соответственно – такой же рост пропускной способности, т. е. скорости передачи данных в той же полосе частот;

– увеличение числа передаваемых каналов;
– возможность адаптации схемы модуляции и кодирования к текущим условиям приема;
– увеличение зоны покрытия;
– возможность использования антенн абонентских терминалов меньшего диаметра.

От DVB-S2 к DVB-S2X (2014–2021). Стандарт для системы DVB-S2X [3, 5], впервые введенный в 2014 г., наряду с другими усовершенствованиями определил большое число дополнительных схем модуляции и кодирования (MODCOD). В последующие годы развитие и дополнение стандарта продолжалось, финальная версия датирована 2021 г.

DVB-S2X обеспечивает более высокие рабочие характеристики и расширяет функциональные возможности DVB-S2.

Общие сведения о стандарте для системы DVB-S2X. Система DVB-S2X разрабатывалась в целях повышения производительности спутниковой связи на традиционных рынках (DTH – Direct To Home, VSAT – Very Small Aperture Terminal, DSNG – Digital Satellite News Gathering) и расширения применения DVB-S2 для охвата развивающихся рынков мобильной связи и профессиональных приложений.

Применительно к рынку DTH новой задачей была поддержка просмотра телевидения ультравысокой четкости (UHDTV) со сжатием видеосигналов по стандарту H.265 (MPEG-4, HEVC – High Efficiency Video Coding).

DVB-S2X расширяет диапазон работы DVB-S2, с одной стороны, за счет возможности обеспечения связи при очень низком отношении сигнал/шум (VL-SNR – Very Low Signal to Noise Ratio), что необходимо для работы VSAT и мобильных приложений, а с другой – за счет повышения пропускной способности магистральных спутниковых линий и профессиональных приложений при очень высоком отношении сигнал/шум (VH-SNR – Very High Signal to Noise Ratio) [9].

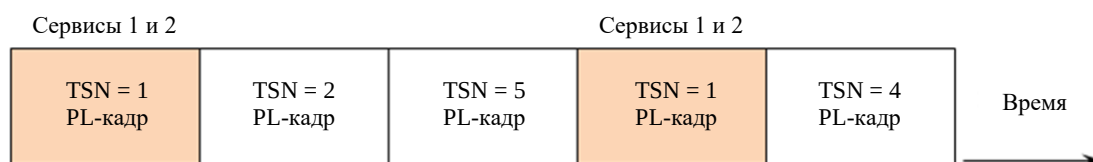


Рис. 1. Пример использования опции Time-slicing [2]

Fig. 1. Example of using Time-slicing option [2]

Табл. 1. Сравнение основных характеристик DVB-S и DVB-S2
Tab. 1. Comparison of DVB-S and DVB-S2 key features

Характеристики	DVB-S	DVB-S2
Год принятия стандарта	1997	2005
Входной интерфейс	Один транспортный поток (Single Transport Stream)	Несколько транспортных потоков (Multiple Transport Stream) или GSE (Generic Stream Encapsulation)
Режимы CCM/VCM/ACM	CCM (Constant Coding and Modulation)	VCM (Variable Coding and Modulation) и ACM (Adaptive Coding and Modulation)
Типы модуляции	QPSK	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32 APSK
Виды кодирования	Сверточные коды (внутренние) и код Рида–Соломона (внешний)	LDPC (внутренние) и BCH коды (внешние)
Число сигнально-кодовых конструкций (MODCOD)	5 (10)	28
Размер кадров	1632 бит	16 200 и 64 800 бит (короткий, нормальный)
Пилот-сигналы	Не применяются	Используются
Коэффициент скругления спектра сигнала (α)	0.35	0.20, 0.25, 0.35
Символьная скорость при полосе частот 36 МГц	27.5 МБод ($\alpha = 0.35$)	30.9 МБод ($\alpha = 0.20$)
Скорость передачи данных при полосе частот 36 МГц	33.8 Мбит/с	46 Мбит/с (+36 %)
Максимальная спектральная эффективность	1.61 бит/(с·Гц)	3.7 бит/(с·Гц)
Число ТВ-каналов стандартной (SD) и высокой четкости (HD)	MPEG-2: 7 SD или 3 HD	MPEG-2: 10 SD или 2 HD MPEG-4: 21 SD или 5 HD

Добавление новых функций и возможностей в стандарт для системы DVB-S2X. Преимущества системы DVB-S2X достигаются за счет добавления следующих функциональных возможностей:

- новых типов модуляции и новых кодовых скоростей, а соответственно – большего числа дополнительных сигнально-кодовых конструкций (MODCOD), что позволяет проводить более тонкую подстройку под текущие условия приема;

- дополнительных малых значений коэффициента скругления спектра сигнала (roll-off factor) 0.05, 0.1 и 0.15 (в дополнение к значениям 0.2, 0.25 и 0.35, используемым в DVB-S2), что повышает спектральную эффективность и пропускную способность;

- новых последовательностей для скремблирования несущих, передаваемых по соседним лучам, с целью снижения соканальных помех;

- технических средств для объединения нескольких транспондеров (до трех), что повы-

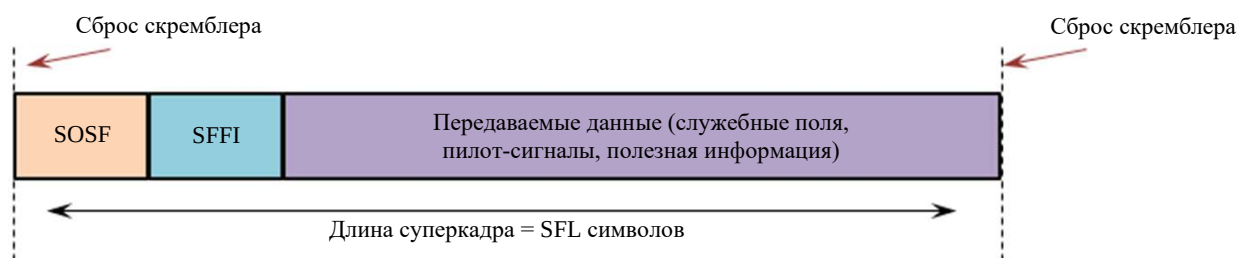


Рис. 2. Структура суперкадра [3]

Fig. 2. Super-Frame structure [3]

шает эффективность статистического мультиплексирования широкополосных сервисов, в том числе UHDTV;

- поддержки режима сверхнизкого отношения сигнал/шум (VL-SNR);

- опции Super-Framing Structure (ETSI EN 302 307-2 Annex E), которая позволяет обеспечить повышенную устойчивость к соканальным помехам от сигналов, передаваемых по соседнему лучу, дополнительную синхронизацию при сложных условиях приема (VL-SNR) или прерываниях сигнала, а также поддержку будущих разработок, связанных с "прыгающими лучами" (beam hopping), методами снижения интерференции и мультимедийной передачей сигналов. Это достигается добавлением в поток передаваемых данных так называемых суперкадров, стандартная длина которых SFL (Super-Frame Length) составляет 612 540 символов (предусмотрена также возможность изменения значения SFL оператором сети). Каждый суперкадр включает в себя преамбулу Start-Of-Super-Frame (SOSF) и индикатор формата суперкадра Super-Frame Format Indicator (SFFI), которые занимают первые 720 символов суперкадра (рис. 2). Оставшаяся часть суперкадра может быть выделена под передаваемые данные, включая служебные поля, пилот-сигналы и поля, несущие полезную информацию. Полный суперкадр скремблируется, включая поля SOSF и SFFI, с помощью двух различных последовательностей скремблирования. Скремблеры сбрасываются первым символом последовательности SOSF.

Сравнение основных характеристик DVB-S2 и DVB-S2X. В табл. 2 приведены для сравнения основные характеристики систем DVB-S2 и DVB-S2X.

Основные преимущества DVB-S2X по сравнению с DVB-S2. На рис. 3 представлены для

сравнения графики спектральной эффективности DVB-S2 и DVB-S2X в зависимости от отношения сигнал/шум.

Система DVB-S2 ориентирована на работу в области средних значений отношения сигнал/шум. Из рис. 3 видно, что DVB-S2 и DVB-S2X в этой зоне довольно близки по спектральной эффективности. Тем не менее новая версия системы позволяет более точно выбирать схему модуляции и кодирования (более тонкая подстройка), что дает выигрыш по спектральной эффективности около 20 % при отношении сигнал/шум 14...15 дБ.

Благодаря возможности использования в DVB-S2X меньших значений коэффициента α форма спектра сигнала ближе к прямоугольной, что позволяет более эффективно использовать доступные частоты спутникового транспондера. Из рис. 3 видно, что в области высоких значений отношения сигнал/шум (> 15 дБ) спектральная эффективность DVB-S2X заметно лучше, чем DVB-S2 (на 51 % при отношении сигнал/шум 20 дБ).

В области очень низких значений отношения сигнал/шум (< -3 дБ), при которых DVB-S2 работать не может, DVB-S2X позволяет обеспечивать связь с допустимым качеством приема, но, конечно, за счет снижения спектральной эффективности.

DVB-S2X также позволяет объединять в единый виртуальный канал до трех стандартных транспондеров и осуществлять статистическое мультиплексирование сервисов в рамках этого широкополосного канала, увеличив число транслируемых в транспондере программ на 20...30 %.

Система DVB-S2X была разработана в 2013 г., когда начали внедряться новые технологии HEVC и UHDTV. Требуемая скорость передачи

Табл. 2. Сравнение основных характеристик DVB-S2 и DVB-S2X
Tab. 2. Comparison of DVB-S and DVB-S2 key features

Характеристики	DVB-S2	DVB-S2X
Год принятия стандарта	2005	2014
Входной интерфейс	GSE (Generic Stream Encapsulation)	GSE-Light
Число сигнально-кодовых конструкций (MODCOD)	28	116
Типы модуляции	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32 APSK	До 256 APSK
Виды кодирования	LDPC и BCH	LDPC и BCH (добавлены новые скорости)
Размер кадров	16 200 и 64 800 бит	16 200, 32 400, 64 800 бит плюс опция SuperFrame (Annex E) 612 540 символов
Коэффициент скругления спектра сигнала (α)	0.20, 0.25, 0.35	Добавлены более низкие значения 0.05, 0.1, 0.15
Символьная скорость при полосе частот 36 МГц	27.5 МБод ($\alpha = 0.25$)	33 МБод ($\alpha = 0.1$)
Максимальная спектральная эффективность	3.7 бит/(с·Гц)	4.4 бит/(с·Гц) (при C/N = 15 дБ) 5.6 бит/(с·Гц) (при C/N = 20 дБ) (+51 %)
Объединение несущих (транспондеров)	Не поддерживается	Поддерживается (до трех несущих)

для одной программы UHD TV составляет 20 Мбит/с. При этом система DVB-S2 может обеспечить передачу трех программ UHD TV на транспондер вместо шести программ HDTV. Соответственно, выигрыш за счет статистического мультиплексирования программ снижается с 19 до 12 % (рис. 4), что не позволит передать дополнительную программу в рамках одного транспондера. Это делает перспективу спутникового вещания для услуг UHD TV с использованием традиционных методов довольно нерентабельной.

Для увеличения коэффициента статистического мультиплексирования в случае передачи программ UHD TV в системе DVB-S2X введено понятие "объединения каналов", что позволяет сов-

местно использовать емкость двух или трех транспондеров. Следует отметить, что DVB-S2X поддерживает объединение каналов только в сочетании с постоянным кодированием и модуляцией CCM и что эта функциональность доступна только в том случае, если приемник оснащен несколькими тюнерами для обеспечения возможности одновременного приема потоков данных с различных транспондеров. Такие типы приемников становятся более распространенными с появлением таких функций, как "картинка в картинке" и "просмотр одной программы, запись другой".

Из рис. 4 видно, что объединение двух транспондеров, несущих по три программы UHD TV, увеличивает эффективность статистического мультиплексирования с 12 до 19 %, что позволяет использовать емкость двух или трех транспондеров.

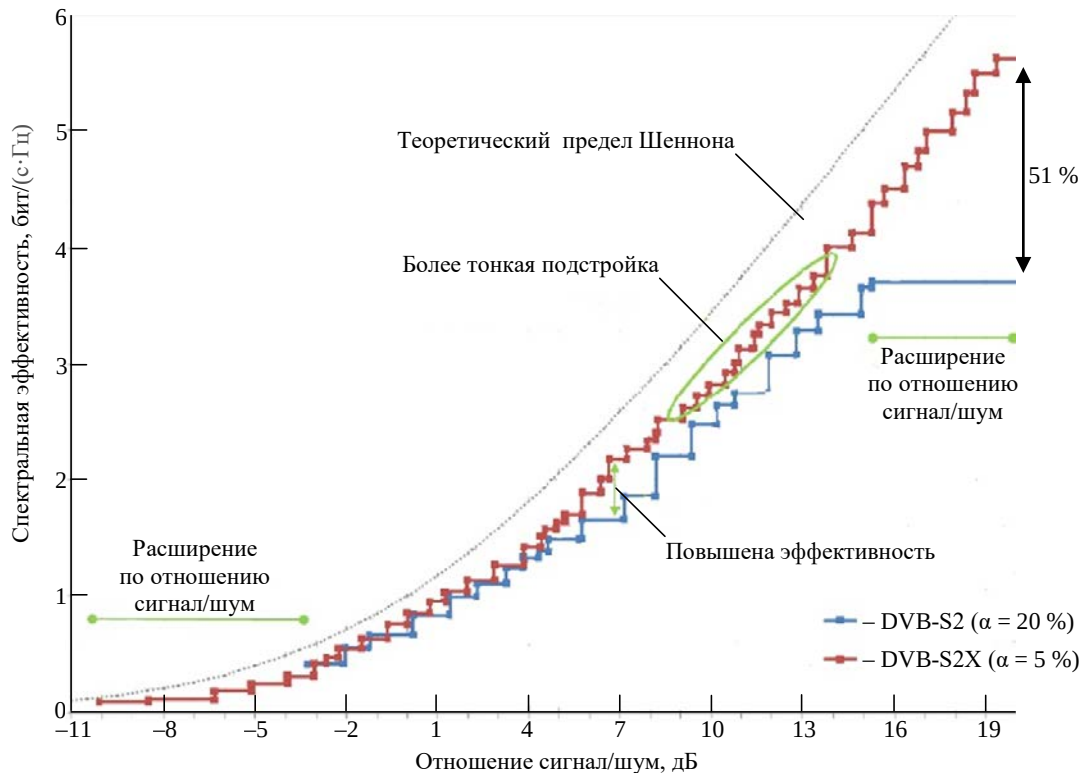


Рис. 3. Сравнение спектральной эффективности DVB-S2 и DVB-S2X [9]

Fig. 3. Comparison of DVB-S2 and DVB-S2X spectral efficiency [9]

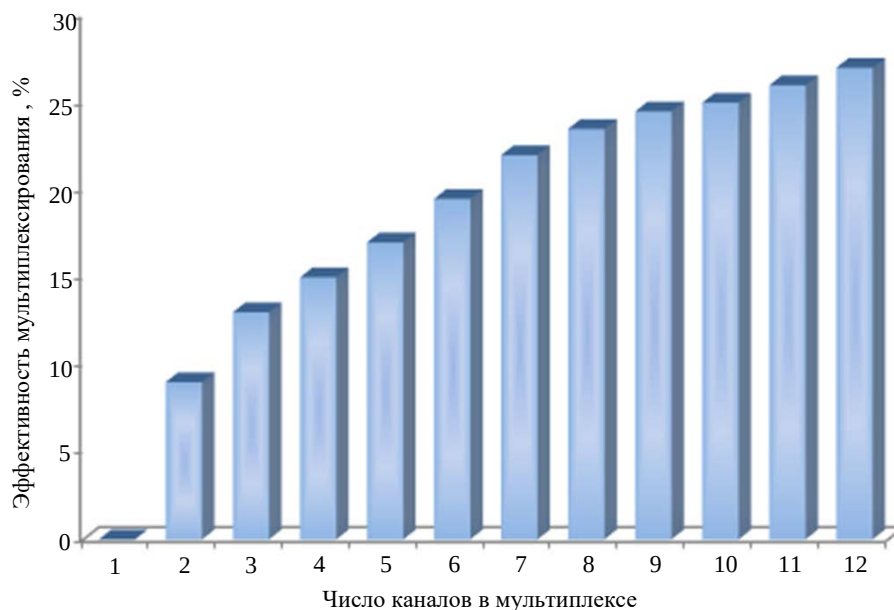


Рис. 4. Эффективность статистического мультиплексирования каналов [9]

Fig. 4. Example of Statistical Multiplexing Gain [9]

а присоединение третьего транспондера может увеличить выигрыш до 24 %.

Еще одним потенциальным применением объединения каналов является возможность собирать свободную емкость этих каналов, тем самым улучшая использование ресурсов объ-

единяемых транспондеров.

Российские межгосударственные стандарты, посвященные системам DVB-S2 и DVB-S2X. В РФ выпущено 3 межгосударственных стандарта (ГОСТ), посвященных рассматриваемой теме. Первые два относятся к

системе DVB-S2 и разработаны на базе версии стандарта ETSI 2009 г. [10, 11]. Третий относится к системе DVB-S2X и разработан на базе стандартов ETSI 2014 и 2015 гг. [12]. Эти ГОСТы имеют степень соответствия NEQ – Not Equal, т. е. межгосударственный стандарт, не эквивалентный принятым за основу международным стандартам.

Заключение. Система DVB-S2 продемонстрировала очень хорошие показатели спектральной эффективности и обеспечила 30 %-е повышение пропускной способности по сравнению с предыдущей системой DVB-S. DVB-S2X представляет собой эволюцию и усовершенствование системы DVB-S2, а не фундаментальное изменение технологии. Поэтому, в целом, DVB-S2X не может обеспечить такой же большой скачок производительности, как при переходе от DVB-S к DVB-S2.

Тем не менее, усовершенствования, введенные в систему DVB-S2X, представляют значительные достижения и дают дополнительные возможности для разработчиков аппаратуры и поставщиков услуг, особенно в таких областях, как приложения с многолучевой скачкообразной передачей (beam hopping), поддерживаемые новой структурой суперкадров; новое поколение услуг DTH-вещания с использованием объединения каналов для поддержки UHD TV; VSAT-услуги и мобильные приложения при очень низком отношении сигнал/шум (VL-SNR), а также передача сигналов по магистральным спутниковым линиям и

профессиональные услуги при очень высоком отношении сигнал/шум (VH-SNR).

Рабочие группы 3GPP по сервисам и системным аспектам в ходе обсуждения вариантов использования спутниковых систем в сетях пятого поколения в качестве одной из основных целей сформулировали их применение для обеспечения масштабируемости услуг 5G, в том числе трансляции медиаконтента на большие территории (телевизионное и радиовещание) [13, 14]. Таким образом, системы DVB-S2/S2X благодаря системной проработке и последовательной стандартизации на протяжении двух последних десятилетий становятся также одной из важных составляющих сетей 5G.

В целом, стандартизация систем цифрового спутникового вещания позволяет разработчикам и производителям использовать наиболее современные технологии и методы, опираясь в то же время на международно признанные стандарты. Это дает возможность, с одной стороны, постоянно совершенствовать оборудование цифровых систем спутникового вещания, повышая потребительские качества предоставляемых услуг, а с другой – увеличивать тиражи и удешевлять выпускаемые микросхемы и аппаратуру.

Таким образом, во многом благодаря стандартизации систем DVB-S/S2/S2X процесс распространения и совершенствования систем цифрового спутникового вещания по всему миру проходит исключительно быстро и успешно.

Список литературы

1. ETSI EN 300 421 V1.1.2 (1997-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300421/01.01.02_60/en_300421v010102p.pdf (дата обращения 04.09.2023)
2. ETSI EN 302 307-1 V1.4.1 (2014-11). 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. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/44129/92389fe353354a07bbb58cb780a6afe2/ETSI-EN-302-307-1-V1-4-1-2014-11-.pdf> (дата обращения 24.08.2023)
3. ETSI EN 302 307-2 V1.3.1 (2021-07). 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). URL:

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230702/01.03.01_60/en_30230702v010301p.pdf (дата обращения 15.09.2023)

4. ETSI TR 102 376-1 V1.2.1 (2015-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/10237601/01.02.01_60/tr_10237601v010201p.pdf (дата обращения 30.08.2023)

5. ETSI TR 102 376-2 V1.2.1 (2021-01). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: S2 Extensions (DVB-S2X). URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/10237602/01.02.01_60/tr_10237602v010201p.pdf (дата обращения 24.08.2023)

6. Report ITU-R S.2173-1 (07/2014). Multi-carrier based transmission techniques for satellite systems. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-S.2173-1-2014-PDF-E.pdf (дата обращения 19.09.2023)

7. Рекомендация МСЭ-R BO.1784-1 (12/2016). Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией (телевидение, звук и данные). Сер. BO. Спутниковое радиовещание. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bo/R-REC-BO.1784-1-201612-1!!PDF-R.pdf (дата обращения 05.09.2023)

8. Щербаков Я. Ю., Чирков А. Б., Коломенский К. Ю. Эффективный метод покадровой демодуляции сигналов DVB-S2 // Тр. Научно-исследовательского ин-та радио. 2015. № 1. С. 27–31.

9. DVB Document A172 (03/2015). White Paper on the use of DVB-S2X for DTH applications, DSNG & Professional Services, Broadband Interactive Services and VL-SNR applications. URL: https://dvb.org/wp-content/uploads/2020/01/a172_dvb-s2x_highlights_-_white_paper.pdf (дата обращения 17.10.2023)

10. ГОСТ Р 56456–2015. Интегрированный приемник-декодер системы спутникового цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-

S2). Основные параметры. Технические требования (ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), NEQ). М.: Стандартинформ, 2020.

11. ГОСТ Р 56457–2015. Интегрированный приемник-декодер системы спутникового цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-S2). Методы измерений (ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), NEQ). М.: Стандартинформ, 2015.

12. ГОСТ Р 59807–2021. Приемник-декодер расширенной системы второго поколения спутникового вещания (DVB-S2X). Основные параметры (ETSI TR 102 376-2 V1.1.1 (2015-11), ETSI EN 302 307-2 V1.2.1 (2014-10), NEQ) / Рос. ин-т стандартизации. М., 2021.

13. Коломенский К. Ю., Демидова А. Ю. Интеграция спутникового сегмента в спецификации 3GPP для сетей 5G. Ч. I // Электросвязь. 2023. № 6. С. 14–19. doi: 10.34832/ELSV.2023.43.6.002

14. Коломенский К. Ю., Демидова А. Ю. Интеграция спутникового сегмента в спецификации 3GPP для сетей 5G. Ч. II // Электросвязь. 2023. № 7. С. 13–19. doi: 10.34832/ELSV.2023.44.7.002

Информация об авторах

Коломенский Константин Юрьевич – кандидат технических наук (1986), заместитель директора по науке Санкт-Петербургского филиала – "ЛОНИИР" Ордена Трудового Красного Знамени Российского научно-исследовательского института радио им. М. И. Кривошеева. Автор более 30 научных работ. Сфера научных интересов – гибридные наземно-спутниковые сети подвижной связи 5G, 5G Advanced и 6G; спутниковые и наземные системы радиосвязи и радиомониторинга; перспективные цифровые технологии. Адрес: Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио им. М. И. Кривошеева, Санкт-Петербургский филиал – "ЛОНИИР", Большой Смоленский пр., д. 4, лит. А, Санкт-Петербург, 192029, Россия
E-mail: KKolomensky@loniir.ru
<http://orcid.org/0009-0001-7626-2416>

Демидова Анна Юрьевна – экономист по специальности "Национальная экономика" (1997, Санкт-Петербургский университет экономики и финансов), специалист Санкт-Петербургского филиала – "ЛОНИИР" Ордена Трудового Красного Знамени Российского научно-исследовательского института радио имени М. И. Кривошеева. Автор двух научных публикаций. Сфера научных интересов – интеграция спутникового сегмента в спецификации 3GPP для сетей 5G; распределение частотных диапазонов спутниковых систем связи; перспективные цифровые технологии. Адрес: Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио им. М. И. Кривошеева, Санкт-Петербургский филиал – "ЛОНИИР", Большой Смоленский просп., д. 4, лит. А, Санкт-Петербург, 192029, Россия
E-mail: ademidova@loniir.ru
<http://orcid.org/0009-0001-7626-2416>

Казаринов Андрей Сергеевич – специалист по направлению "Радиоэлектронные системы и комплексы" (2021), аспирант Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Сфера научных интересов – построение средств радиомониторинга; пеленгование; виртуальные антенные решетки; цифровая обработка сигналов. Адрес: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5 Ф, Санкт-Петербург, 197022, Россия
E-mail: akazarinov97@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-6923-1310>

References

1. ETSI EN 300 421 V1.1.2 (1997-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for 11/12 GHz Satellite

Services. Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300421/01.01.02_60/en_300421v010102p.pdf (accessed 04.09.2023)

От DVB-S к DVB-S2X: прогресс в стандартизации систем цифрового спутникового вещания
From DVB-S to DVB-S2X: Progress in Standardization of Digital Satellite Broadcasting Systems

2. ETSI EN 302 307-1 V1.4.1 (2014-11). 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. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/44129/92389fe353354a07bbb58cb780a6afe2/ETSI-EN-302-307-1-V1-4-1-2014-11-.pdf> (accessed 24.08.2023)

3. ETSI EN 302 307-2 V1.3.1 (2021-07). 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). Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230702/01.03.01_60/en_30230702v010301p.pdf (accessed 15.09.2023)

4. ETSI TR 102 376-1 V1.2.1 (2015-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for the Second Generation System for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2. Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/10237601/01.02.01_60/tr_10237601v010201p.pdf (accessed 30.08.2023)

5. ETSI TR 102 376-2 V1.2.1 (2021-01). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for the Second Generation System for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: S2 Extensions (DVB-S2X). Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/10237602/01.02.01_60/tr_10237602v010201p.pdf (accessed 24.08.2023)

6. Report ITU-R S.2173-1 (07/2014). Multi-Carrier Based Transmission Techniques for Satellite Systems. Available at: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-S.2173-1-2014-PDF-E.pdf (accessed 19.09.2023)

7. Recommendation ITU-R BO.1784-1 (12/2016). Digital Satellite Broadcasting System with Flexible

Configuration (TV, Audio and Data). Series BO. Satellite Radio Broadcasting. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bo/R-REC-BO.1784-1-201612-1!!PDF-R.pdf (accessed 05.09.2023)

8. Shcherbakov Ya. Yu., Chirkov A. B., Kolomensky K. Yu. Efficient Method of Frame-by-Frame Demodulation of Signals DVB-S2. *Trudy NIIR*. 2015, no. 1, pp. 27–31. (In Russ.)

9. DVB Document A172 (03/2015). White Paper on the Use of DVB-S2X for DTH Applications, DSNG & Professional Services, Broadband Interactive Services and VL-SNR applications. Available at: https://dvb.org/wp-content/uploads/2020/01/a172_dvb-s2x_highlights_-_white_paper.pdf (accessed 17.10.2023)

10. GOST R 56456–2015. Integrated Receiver Decoder of a Second Generation Digital Satellite Television Broadcasting System (DVB-S2). Main Parameters. Technical Requirements (ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), NEQ). Moscow, Standartinform, 2020.

11. GOST R 56457–2015. Integrated Receiver Decoder of a Second Generation Digital Satellite Television Broadcasting System (DVB-S2). Test Methods (ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), NEQ). Moscow, Standartinform, 2015.

12. GOST R 59807–2021. Digital Video Broadcasting. Enhanced System Receiver Decoder of Second Generation of Satellite Broadcasting (DVB-S2X). Main Parameters. (ETSI TR 102 376-2 V1.1.1 (2015-11), ETSI EN 302 307-2 V1.2.1 (2014-10), NEQ). Moscow, Russian Standardization Inst., 2021.

13. Kolomensky K. Yu., Demidova A. Yu. Integration of Satellite Segment into 3GPP Specifications for 5G Networks. Pt. I. *Electrosvyaz*. 2023, no. 6, pp. 14–19. doi: 10.34832/ELSV.2023.43.6.002

14. Kolomensky K. Yu., Demidova A. Yu. Integration of Satellite Segment into 3GPP Specifications for 5G Networks. Pt. II. *Electrosvyaz*. 2023, no. 7, pp. 13–19. doi: 10.34832/ELSV.2023.44.7.002

Information about the authors

Konstantin Yu. Kolomensky, Cand. Sci. (Eng) (1986), Deputy Director on Science of St Petersburg Branch – "LONIIR" of the M. I. Krivosheev Radio Research & Development Institute. The author more than 30 scientific publications. Area of expertise: 5G, 5G Advanced and 6G hybrid terrestrial-satellite mobile communication networks; satellite and terrestrial radio communication and radio monitoring systems; advanced digital technologies.

Address: The M. I. Krivosheev Radio Research & Development Institute, St Petersburg Branch – "LONIIR", 4 A, Bolshoy Smolensky Ave., St Petersburg 192029, Russia

E-mail: KKolomensky@loniir.ru

<https://orcid.org/0009-0002-4468-4857>

Anna Yu. Demidova, Economist in National Economy (1997, St Petersburg University of Economics and Finance), specialist of St Petersburg Branch – "LONIIR" of the M. I. Krivosheev Radio Research & Development Institute. The author of 2 scientific publications. Area of expertise: integration of satellite systems in 3GPP specification for 5G networks; distribution of satellite system frequency bands; advanced digital technologies.

Address: The M. I. Krivosheev Radio Research & Development Institute, St Petersburg Branch – "LONIIR", 4 A, Bolshoy Smolensky Ave., St Petersburg 192029, Russia

E-mail: ademidova@loniir.ru

<http://orcid.org/0009-0001-7626-2416>

Andrei S. Kazarinov – Master in Radio Electronic Systems and Complexes (2021), Postgraduate student of the Saint Petersburg Electrotechnical University. Area of expertise: construction of radio monitoring equipment; direction finding; virtual antenna arrays; digital signal processing.

Address: Saint Petersburg Electrotechnical University, 5 F, Professor Popov St., St Petersburg 197022, Russia

E-mail: akazarinov97@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-6923-1310>