

Будущее цифрового телевизионного вещания: 4К, 8К, HEVC, HDR, далее везде

И. Н. Красносельский, начальник лаборатории ФГУП НИИР, к.т.н.; inkras@mail.ru

Ю. Д. Шавдия, начальник отдела ФГУП НИИР; y_shavdiya@mail.ru

УДК 621.397.13

DOI: 10.34832/ELSV.2020.2.1.008

Аннотация. Проведен анализ нормативно-технических документов для европейской зоны вещания, изданных в 2019 г. Основными тенденциями и целями развития отрасли является переход на форматы вещания изображений сверхвысокой четкости в сочетании с большим динамическим диапазоном, высокой частотой кадров и иммерсивным звуком. Показано, что внедрение в практику новых технологий цифрового ТВ-вещания происходит с отставанием от их разработки и международной стандартизации.

Ключевые слова: цифровое наземное ТВ-вещание, телевидение сверхвысокой четкости UHD TV, большой динамический диапазон HDR, высокая частота кадров HFR, аудиосистемы последующих поколений NGA.

ВВЕДЕНИЕ.

Ключевая идея наиболее распространенных сценариев перехода на цифровое наземное ТВ-вещание (DSO) [1] — повышение эффективности использования мультимедиа на основе внедрения системы DVB-T2, имеющей большую пропускную способность, и алгоритма сжатия HEVC (H.265), снижающего примерно вдвое объем передаваемых данных. Это позволяло либо увеличить число программ в мультимедиа, либо повысить качество программ за счет их большей четкости (HDTV, UHD TV). Во время написания [1] были известны и совсем новые технологии повышения качества программ, в основном, сверхвысокой четкости UHD TV, однако казалось, что до их практического внедрения еще достаточно далеко. Прошло три года, и акценты прогресса в телевизионной отрасли существенно поменялись. Можно сказать, что на практике наблюдается действие известного философского закона о переходе количества в качество.

Методы увеличения числа программ хорошо отработаны, и если еще не исчерпали все возможные ресурсы, то уже находятся не так далеко от «насыщения» и фактически отошли на второй план, а на первое место выдвинулись технологии, предоставляющие пользователю высочайшее реалистичное качество программ, обеспечивающих эффект присутствия, или погружения в среду. Причем речь идет об изображениях сверхвысокой четкости UHD TV с разрешением 4К и 8К и многоканальным пространственным (иммерсивным) звуком. Передаче звука тоже уделяется повышенное внимание, поскольку именно звук во многом создает то самое пользовательское впечатление (user experience), когда на смену информационной составляющей ТВ-вещания

приходит художественная составляющая.

Все эти изменения технологий ТВ-вещания создают новые типы телевизионных и мультимедийных программ, новые формы их доставки конечному пользователю. Сами по себе новые технологии достаточно хорошо известны и описаны, являются объектами международной стандартизации, поэтому авторы ставят перед собой задачу не очередного описания известного, а анализ текущего состояния внедрения новых технологий и некоторого прогнозирования ближайшего будущего цифрового ТВ-вещания.

АКЦЕНТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ И ВЕЩАНИЯ ТВ-ПРОГРАММ

Лето и начало осени 2019 г. ознаменовались изданием новых версий стандартов, определяющих возможные параметры сжатия и передачи цифровых потоков аудио- и видеоданных программ сверхвысокого качества. И практически одновременно с ними были опубликованы несколько документов Европейского вещательного союза (EBU), регламентирующих базисные форматы и опции цифрового вещания, которые будут применяться в ближайшие годы и для которого будет производиться приемное потребительское оборудование.

Основными документами, стандартизирующими цифровое вещание DVB, являются технические требования ETSI TS 101 154 v 2.5.1 [2] и стандарт ETSI EN 300 468 v 1.16.1 [3]. Первый документ определяет кодирование аудиовизуальных услуг, передаваемых в системах цифрового вещания и широкополосного доступа, а второй — сигнализацию о передаваемых услугах [4].

Функции приемника-декодера IRD определены в региональных/локальных спецификациях (DTG и NorDig), или в национальных стандартах конкретных стран. Тестирование потребительского оборудования на функциональную совместимость обычно проводится также на уровне локального профиля.

Главное нововведение документа [2] состоит в дополнении стандартов кодирования звука в системах последующих поколений NGA стандартом DTS-UHD Audio (новый раздел 6.9). Но через полгода после публикации [2] в июле 2019 г. был выпущен документ DVB A001 [5] с индексом TS 101 154 v 2.6.1 (хотя формально документы DVB становятся стандартами и техническими спецификациями ETSI после проведения процедур их одобрения и голосования в ETSI).

В новой версии [5] доработаны разделы, относящиеся к передаче потоков HDR, кодированных кодеком HEVC. В частности, введена поддержка динамической адаптации видеосигналов с расширенным динамическим диапазоном к характеристикам дисплея HDR-DM (HDR Dynamic Mapping) в системах цифрового вещания и при динамическом адаптивном потоковом вещании по протоколу HTTP (DVB-DASH) (подпункты в разделе 5.14 и Приложение L). Даны пояснения по стандарту DTS-UHD.

Если в предыдущих версиях документа [5] для систем HDR формата PQ10 определялась передача только статических метаданных, то теперь в системах HDR-DM стала возможной передача динамических метаданных, соответствующих стандартам SMPTE ST 2094-10, ETSI TS 103 433-2, SMPTE ST 2094-40 [6]. Поддержка технологии HDR-DM не является обязательной как при производстве контента, так и при декодировании в телевизорах и ресиверах. Если потоки битов содержат коды HDR-DM, то все телевизоры с поддержкой формата HDR (PQ10) смогут воспроизводить изображение с большим динамическим диапазоном, однако модели с декодерами HDR-DM будут лучше сопоставлять контент с возможными отображениями, обеспечивая тем самым более высокое качество.

При разработке стандарта на сервисную информацию [3] ETSI явно не успевает за DVB. Официальная версия ETSI (v 1.16.1) выпущена в августе 2019 г., а документ DVB A038 обновленной версии (v 1.17.1) [7] — в июне, т.е. документ DVB фактически на две редакции опередил действующий тогда стандарт ETSI (v 1.15.1). И не удивительно, что во многих зарубежных публикациях можно найти ссылки именно на документы DVB как на стандарты ETSI будущих, еще не вышедших версий. Все это говорит о высочайшем темпе создания современного оборудования цифрового телерадиовещания, т.е. разработчики руководствуются фактически проектами будущих официальных версий. Но, собственно, так и задумывалось на этапе учреждения DVB и отлаживания процедур взаимодействия DVB—ETSI.

Последние версии документов DVB и ETSI по сер-

висной информации [3, 7] вводят поддержку сигнализации для ряда функций, ранее включенных в другие спецификации DVB и относящихся к передаче потоков UHD, NGA, субтитров DVB-TTML, а также других услуг, предоставляемых в гибридных вещательных/широкополосных средах HbbTV. Наиболее заметными обновлениями в стандартах по сервисной информации являются добавления [8]:

- сигнализации, специфической для потоков битов технологического уровня UHD-1 Phase 2 (разрешение 4K с большим динамическим диапазоном HDR и высокой частотой кадров HFR);
- сигнализации для звуковых систем последующих поколений NGA;
- поддержки сигнализации для технического решения проверки подлинности секций применительно к передаче интерактивных приложений и услуг в гибридных вещательных/широкополосных средах HbbTV;
- сигнализации для субтитров DVB-TTML;
- технического решения для регистрации типа ссылок универсального идентификатора ресурса URI.

Помимо этого устранены ошибки, допущенные в предыдущих изданиях, и отредактирован текст.

Нельзя также не отметить выход обновленной версии 3.1.1 технических требований к цифровому ТВ-вещанию в регионе Северной Европы (NorDig) [9]. Документ определяет набор минимальных требований (NorDig Basic IRD) к оборудованию для приема услуг на основе стандартов DVB, а такие современные технологии как HEVC, HDR, HFR и HbbTV отнесены к числу дополнительных опций (NorDig HEVC IRD). Они должны поддерживаться в расширенных требованиях к приемнику, но будут полностью определены только в последующих версиях документа. В текущей версии основные обновления связаны с приданием обязательного статуса дескриптору шаблонов настроек звука формата NGA/AC-4 для NorDig HEVC IRD (глава 6 «Аудио») и с обновлением главы 12 «Сервисная информация».

РАЗРЕШЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Если в стандартах ETSI и документах DVB определен полный набор форматов и опций вещания UHD/HDR, то в документе EBU Tech 3372 [4] рекомендованы параметры обслуживания, которые действительно могут быть применены в практике ТВ-вещания, исходя из их аппаратно-программной поддержки потребителем оборудованием. К продаже они заявлены, начиная с 2020 г. и далее.

С привязкой к стандарту [2] этому условию удовлетворяют потоки битов и соответственно приемники-декодеры IRD HEVC/HDR/UHDTV (стандарт сжатия при кодировании — HEVC, большой динамический диапазон — HDR, сверхвысокое разрешение — UHD). При этом для создания и распространения контента могут

быть использованы следующие разрешения изображения (в пикселях) при прогрессивной развертке и с соотношением сторон изображения 16:9: 3840×2160 (4K UHD-1), 3200×1800, 2560×1440 и 1920×1080 (1K HD).

При отображении изображений также должен поддерживаться формат 16:9. В то же время не задается требование к дисплею иметь собственное разрешение, равное одному из указанных выше. Однако предполагается, что дисплей будет способен отображать изображения с вышеприведенными разрешениями без заметных артефактов их масштабирования, а необходимые для этого технологии будут определять сами производители потребительского оборудования.

Ожидается, что в течение определенного периода времени форматы контента при производстве будут мигрировать от 1080 до 2160p. Промежуточные разрешения 3200×1800 и 2560×1440 могут использоваться для снижения скорости передачи видеоданных за счет более низкого пространственного разрешения. Также ожидается, что разрешение 1080p в сочетании с HDR и широкой цветовой гаммой WCG [10, 11] будет использоваться в течение многих лет в процессе перехода к разрешению 2160p.

БОЛЬШОЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН

В настоящее время уже сложилось общее понимание того, что большой динамический диапазон HDR является неотъемлемой составляющей программ с изображениями сверхвысокой четкости UHD TV. Тем не менее наблюдается отчетливая «война форматов» HDR. Базовый параметр HDR — кривая нелинейной коррекции, которая в зависимости от места ее приложения является функцией электронно-оптического преобразования (EOTF) или оптоэлектронного преобразования (OETF). Традиционной OETF в системах со стандартным динамическим диапазоном SDR является гамма-функция. Для систем с HDR определены две функции: PQ (EOTF) и HLG (OETF).

Все известные форматы HDR основываются на кривых нелинейной коррекции PQ и/или HLG и отличаются числом разрядов кодирования, использованием метаданных (статических или динамических), параметрами цветового пространства RGB (цветовой гаммой) и цветового объема, особенностями сигнализации.

Согласно документу EBU Tech 3372 [4], для распределения программ с HDR могут использоваться (минимальное требование) форматы:

- HLG10 (HLG OETF, 10-разрядное кодирование, без передачи метаданных) с обратной совместимостью с DVB-приемниками, не имеющими поддержки HDR HLG;
- PQ10 (PQ EOTF, 10-разрядное кодирование, без передачи метаданных), не имеющий обратной совместимости с DVB-приемниками без поддержки HDR PQ;
- HDR10 (PQ EOTF, 10-разрядное кодирование, с

передачей статических метаданных) без обратной совместимости с DVB-приемниками, не имеющими поддержки HDR PQ.

Вещателям предписывается обеспечивать сигнализацию об используемом формате HDR.

ВЫСОКАЯ ЧАСТОТА КАДРОВ

Считается, что высокой частоте кадров соответствует контент с относительной скоростью более 24 кадр./с для кинофильмов и более 50 кадр./с — для ТВ-программ в европейской зоне вещания (60 кадр./с — для ряда других стран). Высокая частота кадров HFR наряду с HDR служит способом повышения качества отображаемых изображений, особенно с выраженным движением. При частоте смены кадров выше 100 кадр./с дрожание движущихся объектов начинает исчезать, но при этом соответственно возрастает объем передаваемых данных.

Существующими нормативными документами [2, 10, 11] установлены максимальные значения частоты кадров, равные 100 и 120 кадр./с. Однако в документе EBU Tech 3372 [4] регламентируются две частоты кадров для кодирования с прогрессивной разверткой: 25 и 50 кадр./с, что означает никакой высокой частоты кадров на обозримую перспективу. Это связано с тем, что многие вещатели сегодня еще используют чересстрочное, а не прогрессивное сканирование и предоставляют контент только с частотой 25 кадр./с в формате 1080i/25. Поэтому создатели контента изучают оптимальный выбор частоты кадров, методов съемки и кодирования, необходимых для производства программ с HFR, и эти вопросы пока остаются нерешенными.

Что касается качества, то переход от традиционной чересстрочной развертки с 25 кадр./с к прогрессивной развертке при тех же 25 и тем более 50 кадр./с дает заметное улучшение. Телевизоры и приставки, как правило, поддерживают частоты кадров, производные от 50/60 Гц. Поэтому допускается, что в отдельных случаях при трансляции международных событий европейские вещатели могут выбрать, или даже потребовать распространять контент с собственной частотой кадров, принятой на территории съемки, что предполагает поддержку дополнительно всех частот кадров, основанных на 60 Гц.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ФРАГМЕНТОВ ТВ-ПРОГРАММЫ

Такое переключение может возникать при передаче по одной сети вещания и в одном потоке битов фрагментов контента с расширенным динамическим диапазоном HDR и стандартным динамическим диапазоном SDR, а также изображений с различным разрешением. В этом случае динамические изменения отображаемого изображения обусловлены двумя вариантами переключения: от HDR к SDR и от SDR к HDR. Согласно стандарту [2], при обоих вариантах из-за сращивания разнородных потоков битов приемник IRD HEVC/HDR/UHDTV должен поддерживать бесшовное

преобразование из потока битов HEVC/UHDTV в поток HEVC/HDR/UHDTV (и обратно). При этом требование бесшовного переключения форматов относится к потоку битов, а не к устройству отображения. Допускается, что в процессе переключения между передаточными функциями OETF и/или первичными цветами дисплей может временно отображать, например, черный экран.

Применительно к динамическим переключениям в документе EBU [4] вводятся следующие ограничения:

- переключения от HDR к SDR возможны только в режиме обратной совместимости;
- при вещании по стандартам DVB не допускается изменение типа HDR-услуги (например, HLG на PQ) в работающей службе;
- любое переключение фрагментов программы должно сопровождаться соответствующей сигнализацией в элементарном потоке, отвечающей требованиям спецификаций MPEG и DVB;
- рекомендуется, чтобы переключение фрагментов программы происходило только на границах видеокладов (или в моменты, когда в программы вставляются рекламные ролики) с одновременным переключением аудио- и видеоформатов. Переключение только аудиоформата допускается на любой границе видеоклада.

Вводятся также требования к динамическим переключениям:

- приемное устройство должно войти в стабильный режим работы за время, не более 0,25 с;
- переключение должно быть начато не позднее, чем через 40 мс после получения команды на переключение;
- допускается кратковременное (2–3 с) отображение на экране идентификаторов формата;
- нарушения изображения и звука при динамических переключениях должны быть минимальными.

СЖАТИЕ

Ожидается, что для производства контента UHD/HDR будет использоваться кодер HEVC, показавший хорошую производительность как с точки зрения сокращения объема сжатых видеоданных, так и в скорости кодирования/декодирования [4]. Как определено в спецификации DVB [2], минимальный поддерживаемый формат потока битов при кодировании изображений UHD: HEVC Main10 Level 5.1 (основной профиль с глубиной кодирования 10 бит, уровень 5.1). Также не возбраняется использовать дополнительные перспективные кодеки: VVC (Versatile Video Coding), входящий в состав группы стандартов MPEG-I (ISO/IEC 23090-3) и разрабатываемый совместной рабочей группой по кодированию MCЭ и MPEG; кодек VC1 с бесплатной лицензией и открытым источником от Альянса открытых медиа (AOM) [12].

ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ВИДЕОУСЛУГ ПО ТЕХНОЛОГИИ OTT

В новом документе EBU Tech 3372 ключевыми видами технологии OTT для доставки контента UHDTV являются MPEG-DASH и HbbTV [4]. Декларируется, что форматы аудио- и видеокомпонентов, поддерживаемые при эфирном вещании, также должны поддерживаться в системах потокового вещания DASH и широкополосного доступа HbbTV. При этом динамический диапазон яркости и/или цветовой гамма меняться не будут. При доставке программ с HDR глубина кодирования должна составлять 10 бит/отсчет.

Несколько позже документа EBU Tech 3372 [4] в октябре 2019 г. была издана новая версия документа DVB A168 [13], определяющего параметры динамической адаптивной потоковой передачи по протоколу HTTP (DVB-DASH). Стандарт DVB-DASH основан на международном стандарте MPEG DASH [14] и фактически представляет собой подмножество MPEG DASH с несколькими расширениями, наряду с набором требований к DASH-плееру клиента. Для улучшения функциональной совместимости в DVB-DASH определены дополнительные требования и ограничения для случаев применения в режиме реального времени и по запросу, а также эталонные видео- и аудиокодеки из набора инструментов DVB, технически подходящие для использования с MPEG DASH.

Одним из ключевых факторов новой версии DVB-DASH является добавление режима, обеспечивающего минимальные задержки при доставке программ линейного телевидения через интернет, особенно в прямом эфире. Это позволяет осуществлять потоковые передачи и представлять контент с задержкой, сопоставимой с той, которая характерна для эфирного вещания. В результате технология DVB-DASH также будет способствовать персонализации контента, транслируемого в прямом эфире путем вставки дополнительного контента, передаваемого через интернет.

Стандарт DVB-DASH [13] распространяется на телевидение высокой четкости (HDTV), телевидение сверхвысокой четкости (UHDTV), изображения с большим динамическим диапазоном (HDR), видеосигналы с высокой частотой кадров (HFR) и аудиосистемы последующего поколения (NGA).

АУДИОСИСТЕМЫ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ NGA

Хотя системы NGA являются неотъемлемой частью услуг UHDTV, в окончательном виде этот вопрос пока не решен. По мнению EBU в UHDTV, должна быть обеспечена поддержка нескольких систем NGA, в то время как производители потребительского оборудования предпочитают сокращать число вариантов NGA с целью экономии затрат на лицензирование [15]. Но, по всей видимости, на уровне производителей оборудования будет обеспечена поддержка стереозвука, окружающего звука формата 5.1 и, как минимум, одной системы NGA.

Выбор конкретной системы NGA для той или иной

платформы вещания оставлен на усмотрение членов EBU [4]. При этом декодер NGA, установленный в ресивере, должен быть способен работать от сигналов на всех входах (тюнер, интерфейсы HDMI, IP, USB). Для производства контента NGA рекомендуется на всех этапах процесса использовать рендерер, характеристики которого определены в Рек. МСЭ-R BS.2127 [16]. Поддержка или соответствие ADM-рендереру МСЭ-R рекомендуется во всех потребительских устройствах, но не является обязательной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в телевизионной отрасли четко прослеживаются две тенденции. С одной стороны, виден неуклонный прогресс технологий, когда разработчики и производители оборудования предоставляют все более совершенные возможности для полного погружения в аудиовизуальную среду. С другой, наблюдается здоровый консерватизм вещателей и операторов, которые не имеют возможности с той же скоростью модернизировать сети и влиять на потребителей контента, побуждая их к массовой замене домашнего оборудования. Наконец, имеется инерция потребителей, основанная либо на непонимании необходимости постоянного обновления своих домашних комплексов, либо на ограниченности финансовых возможностей. Поэтому наиболее продвинутыми технически будут пользователи в новых сетях с одним провайдером, который предоставит им и современные услуги, и необходимое приемное обо-

рудование. В тех сетях, где действует несколько вещателей и операторов, основным пока является минимальный набор требований к приемному оборудованию, пригодный для представления некоторого базового контента (тот же NorDig).

Если говорить о перспективных целях, которые ставят перед собой создатели контента и производители оборудования, то часть из них сформулирована достаточно четко: переход на технологический уровень UHD-1 Phase 2 (разрешение 8K, или 3840×2160 пикселей, HDR, HFR), а в последующем – на уровень UHD-2 (разрешение 8K, или 7680×4320 пикселей, HDR, HFR) [10]. В то же время прилагаются усилия для развития и внедрения технологий сетевой доставки контента (DASH, HbbTV) с качеством UHD-1 Phase 2 и UHD-2, а также с возможностями предоставления пользователю персонализированных услуг и рекламы. Вопрос о сроках массового внедрения этих новинок пока остается открытым, так как ранее сделанные многочисленные прогнозы на эту тему уже демонстрируют заметное отставание.

Можно немного пофантазировать о будущем за пределами UHD-2. Наверное, здесь уместно вспомнить о разработках тактильного и голографического телевидения, систем виртуальной и дополненной реальности – словом, всего того, что будет способствовать иммерсивному погружению не только в звуковое, но и в световое поле. Авторы, правда, несколько беспокоит прогресс виртуальной реальности – не приведет ли он общество к виртуальной ментальности?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Красносельский, И.Н.** Сравнительный анализ моделей отключения аналогового ТВ-вещания / И.Н. Красносельский, Ю.Д. Шавдия // Электросвязь. – 2016. – № 2. – С. 75–81.
2. Technical Specification ETSI TS 101 154 v2.5.1 (2019-01). Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications. – <https://www.etsi.org>
3. European Standard ETSI EN 300 468 V1.16.1 (2019-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems. – <https://www.etsi.org>
4. EBU Tech 3372. UHD/HDR Service Parameters. Version 1.0 (20 Aug 2019). – <https://tech.ebu.ch/publications/tech3372>
5. DVB Document A001 (Jul. 2019). Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications. – <https://www.dvb.org>
6. **Szucs, P.** HDR Dynamic Mapping added to DVB's UHD toolbox / P. Szucs // DVB Scene. – September 2019. – Issue 54. – P. 12. – <https://www.dvb.org>
7. DVB Document A038 (June 2019). Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems. – <https://www.dvb.org>
8. ETSI publishes latest revision of DVB-SI. DVB News, 09 Sep 2019. – <https://www.dvb.org>
9. NorDig Unified Requirements for Integrated Receiver Decoder s for use in cable, satellite, terrestrial and managed IPTV based networks version 3.1.1. Date: 3. September 2019. – <https://nordig.org>
10. Рекомендация МСЭ-R BT.2100-2 (07/2018). Значения параметров изображений для систем телевидения большого динамического диапазона для использования в производстве программ и международном обмене ими. – <https://www.itu.int>
11. Рекомендация МСЭ-R BT.2020-2 (10/2015). Значения параметров для систем телевидения сверхвысокой четкости для производства программ и международного обмена ими. – <https://www.itu.int>
12. **McCann, K.** Video coding developments in a multi-codec world / K. McCann // DVB Scene. – March 2019. – Issue 53. – P. 6-7. – <https://www.dvb.org>
13. DVB Document A168 (Oct 2019). Digital Video Broadcasting (DVB); MPEG-DASH Profile for Transport of ISO BMFF Based DVB Services over IP Based Networks. – <https://www.dvb.org>
14. ISO/IEC 23009-1:2019. Information technology – Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH). – Part 1: Media presentation description and segment formats. – <https://www.iso.org>
15. EBU R 151 Recommended Strategy for Adoption of Next-Generation Audio (NGA) Technology. – <https://tech.ebu.ch>
16. Recommendation ITU-R BT.2127-0 (06/2019). Audio Definition Model renderer for advanced sound systems. – <https://www.itu.int>

Получено 07.11.19