

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ КАНАЛОВ PLP В СИСТЕМЕ DVB-T2

ENENSYS Technologies, Франция: <http://www.enensys.com>

---

При использовании стандарта DVB-T2 уже достигнут невероятный успех в области предоставления услуг цифрового наземного телевидения. Этот стандарт выбран в качестве стандарта цифрового наземного телевидения более чем в 28 странах во всем мире. Первое развертывание было произведено в Великобритании в декабре 2009 г. В 2010 и 2011 годах предоставление услуг DVB-T2 началось в Швеции, Финляндии и Италии. До конца 2011 г. планируются новые развертывания и испытания в Европе, Африке и Юго-Восточной Азии. DVB-T2 — самая передовая система цифрового наземного телевидения в мире, обеспечивающая более высокие эффективность, устойчивость к ошибкам и гибкость. Она значительно увеличивает пропускную способность канала для удовлетворения требований к полосам пропускания телевидения высокой четкости и трехмерного телевидения и предоставляет гибкие возможности благодаря ряду бизнес-моделей, в которых используется технология M-PLP (Multiple Physical Layer Pipes — несколько каналов физического уровня), обеспечивающая разную устойчивость к ошибкам для разных услуг.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В стандарте DVB-T2 применяется самая современная технология, позволяющая очень эффективно использовать наземный спектр. Этот стандарт обеспечивает более высокую скорость передачи данных и более помехоустойчивый сигнал по сравнению со стандартами цифрового наземного телевидения первого поколения. В DVB-T2 использовано множество инноваций, в частности новые методы прямого исправления ошибок и схемы модуляции высокого порядка. Все эти инновации способствуют повышению эффективности и предоставляют операторам гибкие возможности, позволяющие использовать широкий набор новых бизнес-моделей. Механизм M-PLP (Multiple Physical Layer Pipes) допускает применение разных схем модуляции и обеспечение разных уровней устойчивости к ошибкам для разных потоков услуг в мультиплексированном сигнале DVB-T2. M-PLP позволяет операторам передавать, например, в одно и то же время потоки услуг ТВ высокой четкости для приема антенной, установленной на крыше, и потоки услуг ТВ стандартной четкости для приема портативными устройствами в помещениях. M-PLP также отлично подходит для упрощения вставки услуг регионального ТВ в национальных диапазонах частот с использованием мультиплексирования.



В первой части данной статьи приведен обзор стандарта DVB-T2, чтобы познакомить читателя с основными концепциями этого стандарта. Затем описывается порядок перехода от сети DVB-T на сеть DVB-T2, и объясняются основные различия между этими сетями. Далее подробно рассматривается технология PLP и раскрывается ее высокий потенциал для цифровых наземных сетей. С учетом гибкости стандарта DVB-T2 и использования функции Multiple PLP в статье предлагается неполный список бизнес-моделей, которые могут быть реализованы при предоставлении телевизионных услуг на основе этого стандарта с применением M-PLP.

## ОБЗОР СТАНДАРТА DVB-T2

Европейский консорциум DVB разработал спецификацию DVB-T2 в качестве расширения существующего стандарта DVB-T для более эффективного использования спектральных ресурсов путем интеграции новейших технологий обработки сигналов. Мультиплексоры DVB-T2 могут обеспечивать общую пропускную способность 50 Мбит/с, тогда как общая пропускная способность при использовании стандарта DVB-T составляет 32 Мбит/с.

Подобно DVB-T, стандарт DVB-T2 основан на модуляции OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) для передачи сигнала, но поддерживает более широкий набор параметров передачи. Он допускает повышенную размерность FFT (16K и 32K), которая может расширяться для доставки большего объема данных. В стандарте DVB-T2 определены новые части защитного интервала (GIF — Guard Interval Fractions) для повышения степени использования пропускной способности и обеспечения более высокой устойчивости к импульсным помехам. Также определены новые шаблоны пилот-сигналов для обеспечения большей гибкости с целью уменьшения их издержек. Стандарт DVB-T ограничен созвездием 64 QAM, а стандарт DVB-T2 может поддерживать также созвездие 256 QAM, что увеличивает пропускную способность спектра примерно на 30 %.

	<b>DVB-T<sup>®</sup></b>	<b>DVB-T2<sup>®</sup></b>
Размерность FFT	2K	32K
Защитный интервал	1/32	1/128
Модуляция	64 QAM	256 QAM
FEC	2/3 CC + RS (8%)	2/3 LDPC + BCH (0.3%)
Рассредоточенные пилот-сигналы	8%	1%
Непрерывные пилот-сигналы	2,6%	0,35%
Заголовок P1/P2	0%	0,7%
Полоса пропускания	Стандартная	Расширенная
Пропускная способность	<b>24,1 Мбит/с</b>	<b>40,2 Мбит/с</b>

**Пропускная способность DVB-T2 = DVB-T + 66%**  
**5-6 каналов HDTV в MPEG-4 (или 15-20 SDTV)**

Табл. 1. Сравнение пропускной способности сети Великобритании при использовании стандартов DVB-T и DVB-T2

В схеме прямого исправления ошибок (FEC — Forward Error Correction), используемой на физическом уровне передачи, применяются алгоритмы LDPC и BCH для обеспечения более высокой устойчивости к ошибкам при приеме в плохих условиях. Кроме того, в стандарте DVB-T2 предусмотрено использование нескольких перемежителей на уровне битов, ячеек, времени и частот, что обеспечивает повышенную устойчивость к импульсным помехам.

В стандарте DVB-T2 также уделено внимание передающему оборудованию. В частности, в режиме 32k при создании больших пиковых уровней мощности сводится к минимуму эффективность усилителя (или даже возможно его повреждение). Для ограничения этих пиков мощности без потери информации в спецификации данного стандарта включена специальная функция, называемая «уменьшение отношения пиковой мощности к средней (PAPR — Peak Average Power Ratio)».

## Структура сигнала T2

В стандарте DVB-T2 определена новая структура кадра сигнала DVB-T2. Кадр физического уровня состоит из суперкадров, кадров T2, кадра FEF и символов. Суперкадры могут содержать до 255 кадров T2 (рекомендуется 2). Кадры для расширения в будущем (FEF — Future Extension Frame) будут содержать кадры, определенные в будущем стандарте DVB, возможно, NGH. Максимальная длительность кадра T2 — 250 мс. Вся система должна быть настроена так, чтобы длительность кадра T2 в ней была как можно ближе к этому значению, тогда она будет работать с более высокой эффективностью. Кадр T2 состоит из трех частей: одной преамбулы P1 (представляющей собой устойчивый к ошибкам символ для идентификации сигнала DVB-T2), одной преамбулы P2 (в которой передается сигнализация, описывающая содержимое и структуру кадра T2) и символов данных (содержащих потоки услуг DVB-T2 в символах OFDM).

Логическая структура кадра содержит ВВ-кадры, кадры перемежения и TI-блоки. В системе DVB-T2 ВВ-кадры являются базовой единицей логической структуры кадра сигнала DVB-T2: распределение и планирование осуществляются в целом числе ВВ-кадров. В одном FEC-кадре содержится один ВВ-кадр, добавляющий информацию для прямого исправления ошибок с помощью кодов BCH и LDPC.

## Одночастотная сеть

Стандарт DVB-T2 допускает работу одночастотных сетей (SFN — Single Frequency Network) в определенной географической области, где два или более передатчиков, передающих одни и те же данные, работают на одной частоте. В таких случаях сигналы от каждого передатчика в SFN должны быть точно синхронизированы по времени. Это достигается с использованием информации о синхронизации в потоке T2MI, добавляемом шлюзом T2. В стандарте DVB-T2 также предусмотрен режим MISO (Multiple Input Single Output — много входов, один выход) на основе схемы кодирования Аламути. Основное преимущество MISO-SFN в том, что минимальная входная мощность приемника ухудшается в меньшей степени, чем в SISO-SFN, где она ухудшается на несколько дБ (из-за эффектов замирания, приводящих к спектральному затуханию).

## Каналы физического уровня (PLP)

Концепция PLP унаследована от стандарта DVB-S2. Она позволяет обеспечивать разную устойчивость к ошибкам для разных услуг. В каждом канале PLP могут использоваться свои модуляция, скорость кода FEC и перемежение. Для всех каналов PLP используется одна частота, поэтому все они считаются одним каналом DVB-T2.



Рис. 1. Концепция PLP

Мультиплексированный сигнал DVB-T2 может содержать один канал PLP (режим А) или несколько каналов PLP (режим В системы T2). Система T2 может осуществлять вещательную передачу потоков 255 каналов PLP на мультиплексор.

Существует три типа каналов PLP. В общем канале PLP (типа 0) передается информация, извлеченная из другого канала PLP данных, например справочник программ или другая общая информация.

PLP типа 1 содержит одну серию последовательных макроблоков на кадр T2, а PLP типа 2 — несколько серий последовательных макроблоков для передачи фактических данных.

PLP данных типа 1 может использоваться для услуг, требующих хорошего энергосбережения.

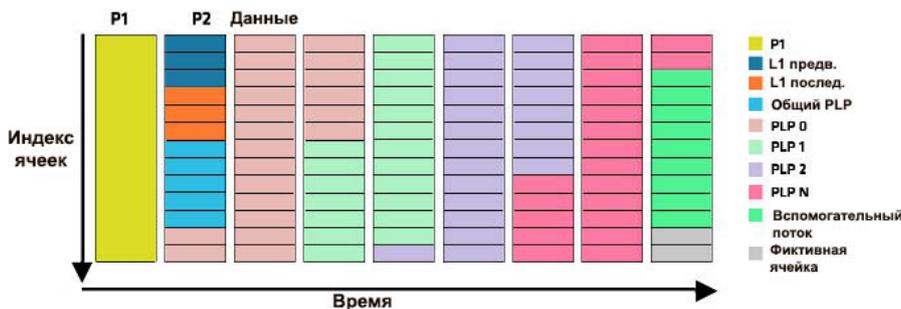


Рис. 2. PLP типа 1 с одной серией последовательных макроблоков на кадр T2

Поток PLP данных типа 2 передается в нескольких подсериях последовательных макроблоков на кадр T2, благодаря чему увеличивается разнесение во времени и, следовательно, обеспечивается более высокая устойчивость к ошибкам для услуг мобильной связи. Число подсерий последовательных макроблоков должно быть как можно больше.

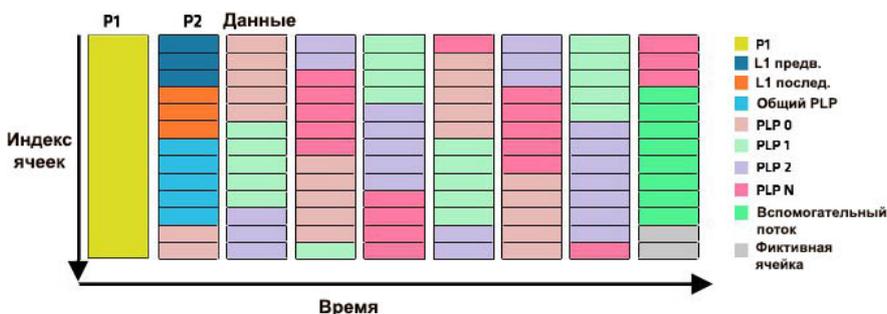


Рис. 3. PLP типа 2 с несколькими подсериями последовательных макроблоков на кадр T2

В режиме M-PLP демодулятор должен одновременно принимать поток общего канала PLP и поток одного канала PLP данных, чтобы создавать транспортный поток MPEG-2, поскольку он принимается на входе формирователя PLP. Демодулятор может быть настроен на требуемый канал PLP благодаря информации, извлекаемой из таблиц SI или результатов сканирования. Поскольку предполагается, что в конкретный момент времени демодулятор считывает данные только одного канала PLP, на стороне приемника не существует ограничений на число поддерживаемых каналов PLP.

Некоторые параметры являются общими для всех каналов PLP (например, центральная частота, SFN/MISO, полоса пропускания, защитный интервал, размерность FFT и шаблон рассредоточенных пилот-сигналов), а другие соответствуют конкретному PLP (например, созвездие, скорость кода, FEC, скорость передачи транспортного потока и глубина временного перемежения).

В обычной системе DVB-T по каждому каналу DVB-T может передаваться только один поток MPTS. В системе DVB-T2 каждый канал PLP должен содержать соответствующий транспортный поток. Таким образом, упрощенную систему T2 можно рассматривать как систему с несколькими потоками MPTS, совместно использующими один канал и не мультиплексируемыми на головном узле.

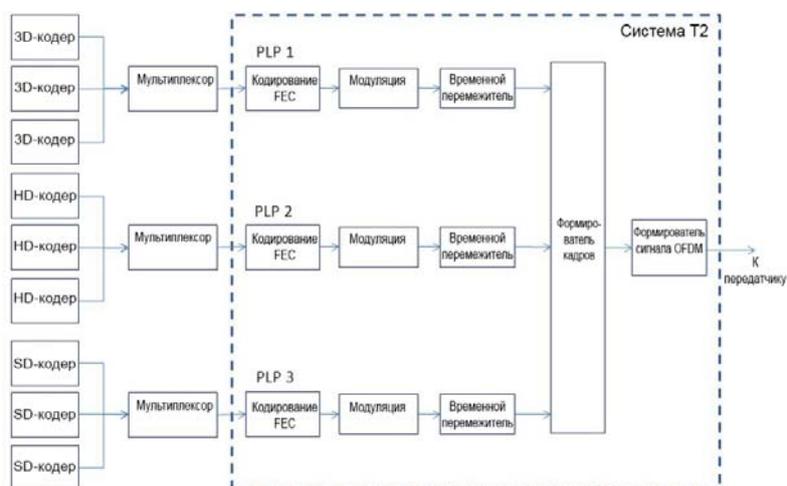


Рис. 4. Структурная схема системы T2 M-PLP

#### ПЕРЕХОД НА СЕТЬ DVB-T2

В соответствии с коммерческими требованиями DVB-T2 предусмотрено использование имеющихся приемных антенн и существующей инфраструктуры передатчиков. В окончательном стандарте это требование выполнено, но предписывается обновление оборудования (модуляторов и демодуляторов) или установка новых устройств (шлюзов T2). Развертывание услуг DVB-T2 также влияет на порядок тестирования и мониторинга, так как в стандарте DVB-T2 определены новые параметры модуляции, протоколы и услуги.

#### От DVB-T к DVB-T2

При переходе на архитектуру DVB-T2 требуется установить на головном узле шлюз T2, обновить модуляторы DVB-T для работы в режиме DVB-T2, а также заменить абонентские приставки или iTV на новые клиентские устройства DVB-T2. В режимах Single PLP и M-PLP архитектура одинакова.

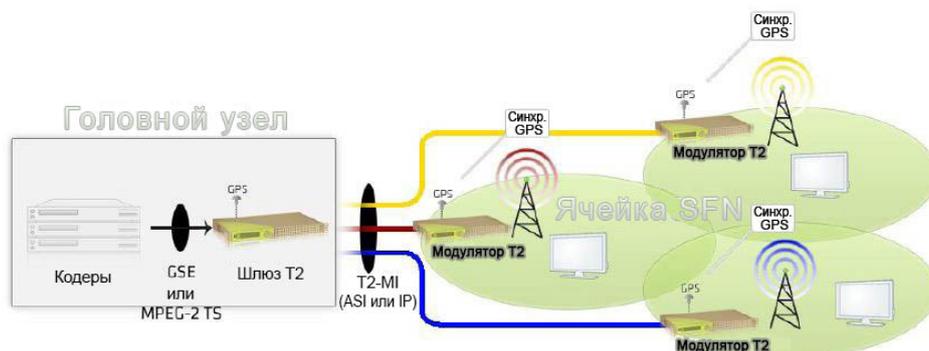


Рис. 5. Общая архитектура сети

## Основные сетевые элементы DVB-T2

**Шлюз T2** служит для инкапсуляции входящего транспортного потока MPEG-2 в кадры основной полосы частот (BB — BaseBand), ввода информации о синхронизации для передачи по сети SFN, управления конфигурацией модуляторов, планирования передачи в режиме M-PLP, а также распределения TFS.

**Модуляторы T2** получают конфигурацию от шлюза T2, выполняют кодирование каналов, добавляя информацию для прямого исправления ошибок, формируют кадры T2 и модулируют сигнал перед его передачей в эфир. Для передачи сигнала DVB-T2 можно использовать усилитель DVB-T после обновления его модулятора для работы в режиме DVB-T2.

В стандарте DVB-T2 определен новый протокольный интерфейс T2-MI (интерфейс модулятора T2) для взаимодействия между шлюзом T2 и модуляторами. Пакеты T2-MI содержат данные, инкапсулированные в BB-кадры, предоставляют информацию о синхронизации при передаче по сети SFN и включают всю сигнальную информацию для передачи. Все функции PLP, TFS и SFN планируются от шлюза T2 и описываются в определенных пакетах T2-MI.

## ВОЗМОЖНЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ СИСТЕМЫ DVB-T2 С ТЕХНОЛОГИЕЙ MULTI-PLP

Концепция PLP допускает использование широкого набора бизнес-моделей. Операторы могут легко дифференцировать услуги на основе PLP, различая предложения в зависимости от уровня устойчивости к ошибкам.

Сценарий с классами QoS. Один из возможных сценариев — использование разных схем модуляции для поддержки широкого набора классов QoS для каждого PLP. Такой сценарий позволяет, например, организовать канал PLP высокоскоростной передачи данных для приема трехмерного контента или контента высокой четкости антенной, установленной на крыше, второй канал PLP, выделенный для приема контента стандартной четкости в помещениях, и третий канал PLP с высокой устойчивостью к ошибкам для приема мобильного ТВ или радиоприема.

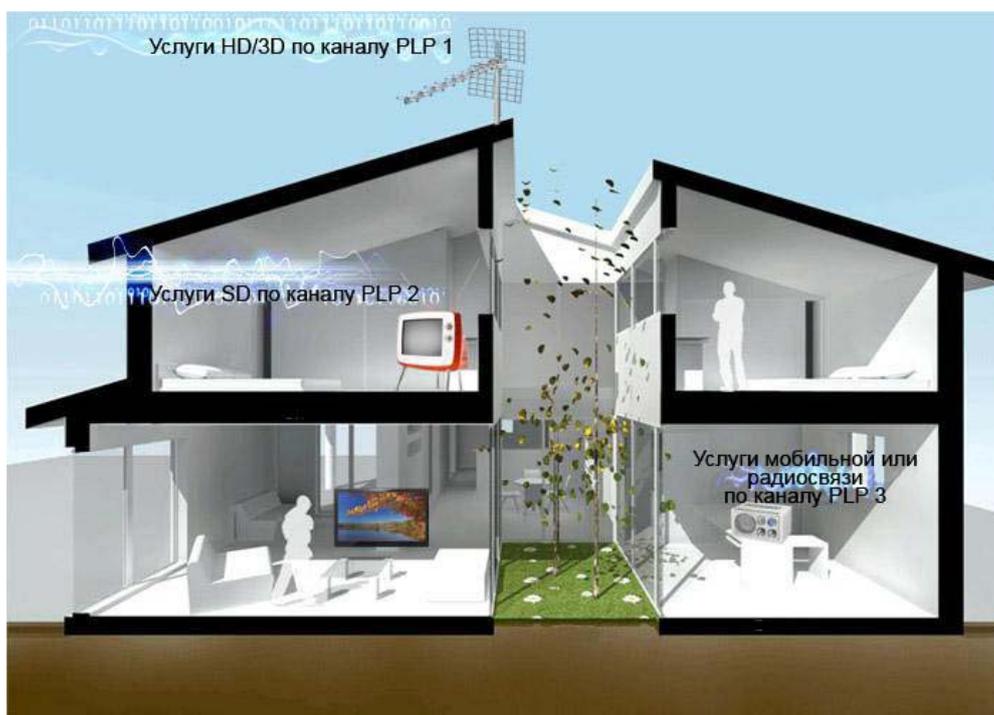


Рис. 6. Сценарий с классами QoS

В этом сценарии можно обеспечить, например, представленную ниже конфигурацию.

Общие параметры: канал 8 МГц, размерность FFT 8K, шаблон пилот-сигнала PP1 и защитный интервал 1/4						
PLP	Контент	Приём	Модуляция	Скорость передачи данных	Битрейт	C/N
1	HD/3D	Антенна, установленная на крыше	256 QAM	3/4	18,6 Мбит/с	23 дБ
2	SD	Внутренняя антенна	16 QAM	3/5	4 Мбит/с	11 дБ
3	Мобильное ТВ или радиосвязь	Мобильный прием	QPSK	1/2	0,5 Мбит/с	3 дБ

В этом примере показаны различия на 12 дБ в значении C/N между первыми двумя каналами PLP, чтобы обеспечить покрытие внутри помещений, и дополнительное усиление 8 дБ для третьего канала PLP, чтобы обеспечить возможность мобильного приема. Временной перемежителем, вводимый при использовании подсерий последовательных макроблоков, обеспечивает также дополнительную устойчивость к ошибкам для мобильного приема услуг.

Это просто пример. Возможно использование различных конфигураций, но в данном сценарии показаны разные показатели устойчивости к ошибкам и скорости передачи, которые можно достичь при применении конфигурации M-PLP в одном канале DVB-T2.

**T2-Lite.** Профиль T2-Lite — это подмножество стандарта DVB-T2. Для повышения эффективности мобильной связи были добавлены две дополнительные скорости кода. Спецификация T2-Lite основана на технологии M-PLP, где потоки услуг T2-Lite могут передаваться в определенном канале PLP, кроме канала PLP с услугами стационарной связи. Максимальная скорость передачи данных для канала PLP T2-Lite не должна превышать 4 Мбит/с.

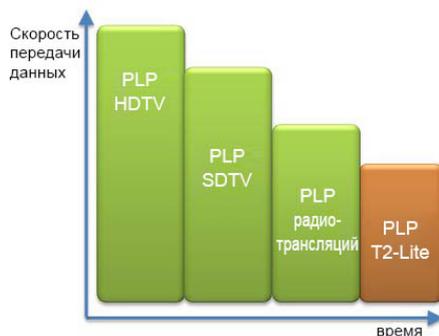


Рис. 7. Структура кадра PLP T2-Lite

**Совместное использование частот несколькими поставщиками контента.** В некоторых странах поставщикам контента выделена только часть определенного частотного ресурса. В сети DVB-T поставщики контента должны повторно мультиплексировать весь контент для создания одного потока MPTS. В этом случае они не имеют полного контроля над передаваемым потоком MPTS.

Используя возможности PLP, выделением определенной части полосы пропускания каждому поставщику контента можно управлять на уровне PLP, чтобы гарантировать такое выделение. Этот метод позволяет сделать операторов независимыми друг от друга при использовании ими своих мультиплексоров и выборе собственных параметров модуляции.



Рис. 8. Сценарий совместного использования частот

## ВСТАВКА УСЛУГ РЕГИОНАЛЬНОГО ТВ

Регионализация предназначена для предоставления в определенном регионе (которым может быть город, округ или страна) регионального или местного контента в дополнение к национальным или обычным телевизионным услугам. В настоящее время из 1500 телеканалов, транслируемых по цифровой наземной сети, 50 % являются местными. Предложение региональных программ в услугах цифровой наземной сети теперь считается обязательным.

Следовательно, в каждом регионе должен передаваться собственный мультиплексированный поток DVB-T2, состоящий из национального и регионального/местного контента. Регионализацией можно управлять с помощью архитектур разных типов (национальной, региональной, местной), которые изменяются в зависимости от того, где вставляется региональный или местный контент.

Другой ключевой момент, который следует принять во внимание, — необходимость гарантировать синхронизацию в одночастотной сети.

### Централизованная национальная архитектура

В модели национальной архитектуры национальный телевизионный контент объединяется с региональным. Каждый регион предоставляет контент центральному головному узлу. Каждый региональный мультиплексированный поток DVB-T2 создается из мультиплексированного потока национального контента и региональных ТВ-услуг или регионального мультиплексированного потока, как описано ниже.

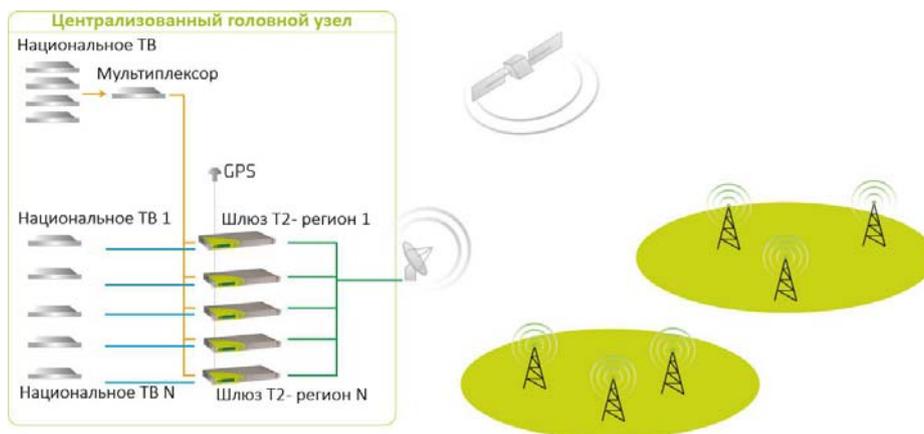


Рис. 9. Сценарий с централизованной национальной архитектурой

В данном случае шлюзы T2 создают разные региональные мультиплексированные потоки DVB-T2, используя технологию M-PLP. Каждый такой шлюз имеет один канал PLP, выделенный для национального телевизионного контента, и один или несколько каналов PLP данных, выделенных для регионального контента. Национальный телевизионный контент принимается от национального мультиплексора. Региональный телевизионный контент непосредственно принимается от региональных кодеров или региональных мультиплексоров. Затем все региональные мультиплексированные потоки DVB-T2 направляются в разные регионы из централизованного головного узла. Хотя такая архитектура довольно проста, она имеет существенный недостаток, заключающийся в необходимости дублировать национальный контент в сети распределения столько раз, сколько существует регионов-адресатов.

## Региональная архитектура

В модели региональной архитектуры регионализация выполняется в рамках региональных головных узлов. Каждый региональный головной узел принимает национальный контент от центрального головного узла, локально вставляет региональный или местный телевизионный контент и направляет новый региональный мультиплексированный поток DVB-T2 всем передатчикам соответствующего региона. В такой архитектуре региональный шлюз T2 выводит поток T2-MI, содержащий мультиплексированный поток национального телевидения в одном канале PLP и региональный телевизионный контент в других каналах PLP.

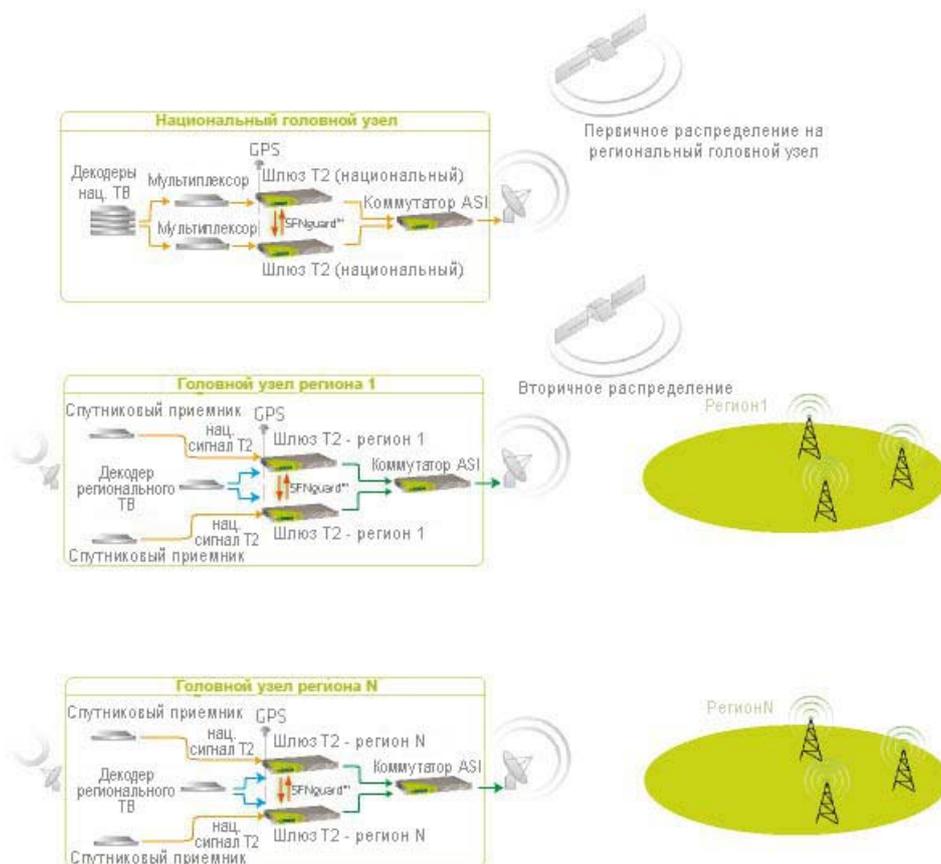


Рис. 10. Сценарий с региональной архитектурой

Основные ограничения такой архитектуры состоят в наличии двух каналов распределения (от центрального головного узла к региональному головному узлу и от регионального головного узла к узлам передатчиков) и дублировании национального контента в линии вторичного распределения для каждого региона.

## Местная архитектура

В модели местной архитектуры национальный шлюз T2 формирует национальный контент в определенном канале PLP и создает другие каналы PLP для контента, который будет заменяться региональным контентом. Региональный контент создается централизованно на региональном или местном уровне с помощью выделенного регионального шлюза T2. На каждом узле передатчика определенный локальный блок вставки T2 принимает из сети распределения национальный сигнал T2-MI от национального шлюза T2 и региональный сигнал T2-MI от регионального шлюза T2. Поле данных кадров основной полосы частот (ВВ-кадров) каждого пакета T2-MI с соответствующим полем `plp_id` (например, `plp-id` регионального канала PLP) заменяется региональным сигналом T2-MI из национального сигнала T2-MI. Использование такого детерминированного метода замены PLP обеспечивает защиту SFN.

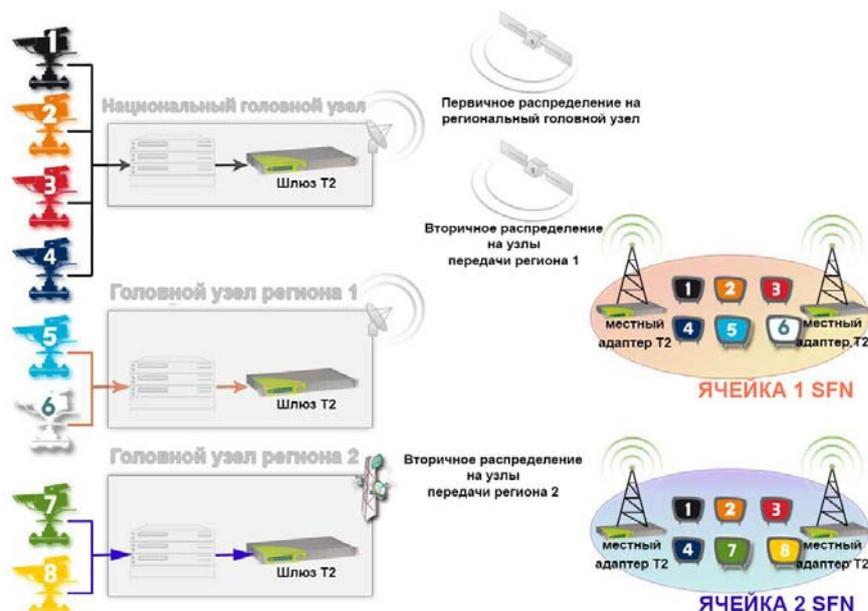


Рис. 11. Сценарий с местной архитектурой

Ниже перечислены преимущества, обеспечиваемые этой архитектурой.

- Уменьшение полосы частот: снижение эксплуатационных расходов на доставку контента в узлы передатчиков без дублирования доставки национального контента.
- Поддержка SFN.
- Решение на основе стандартов: использование технологии M-PLP.
- Возможность статистического мультиплексирования потоков региональных или местных телевизионных услуг.
- Поддержка локальной вставки ТВ-потоков.
- Поддержка централизованной архитектуры при доступности региональных контентов в центральной точке.
- Поддержка распределенной архитектуры при необходимости размещения какого-нибудь регионального головного узла в другом месте.

- Поддержка гетерогенных сетей распределения при доступности в некоторых регионах сети распределения СВЧ-связи или IP-сети распределения.
- Масштабируемая архитектура для поддержки беспрепятственного расширения сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандарт DVB-T2 наземной сети второго поколения расширяет возможности стандарта DVB-T и обеспечивает более высокую устойчивость к ошибкам, гибкость и эффективность полосы пропускания, покрытия сети и мощности передачи.

Несколько вещателей уже используют широкие возможности стандарта DVB-T2 для ввода в действие новых привлекательных услуг, и в настоящее время в 28 странах уже внедрена или развернута сеть на базе стандарта DVB-T2. Проводимые в Германии и Сингапуре испытания уже демонстрируют преимущества применения технологии M-PLP. Кроме того, первая коммерческая сеть M-PLP уже находится на этапе развертывания в Африке.

Технология M-PLP обеспечивает максимальную гибкость без каких-либо недостатков и издержек. Сетевое оборудование доступно и развернуто. В сети не существует никаких дополнительных сложностей по сравнению с развертыванием варианта с одним каналом PLP. Наборы микросхем DVB-T2 уже соответствуют технологии M-PLP и приемники конечных пользователей теперь доступны без дополнительных расходов на поддержку этой технологии. Благодаря постоянно осуществляемым развертываниям можно предположить, что все новые приемники на рынке будут поддерживать M-PLP в качестве стандартной функции.

Функция M-PLP стандарта DVB-T2 позволяет использовать широкий набор новых бизнес-моделей (например, разные классы QoS, регионализация, совместное использование полосы пропускания), которые вещатели могут применять для получения прибыли от имеющегося у них спектра.

Как и при любом развертывании систем цифрового наземного телевидения, предоставление региональных услуг — основное условие для достижения успеха. При использовании технологии Multiple PLP стандарт DVB-T2 предлагает различные варианты вставки местных каналов в общенациональную систему гораздо более эффективным и гибким способом, чем любой другой стандарт цифрового ТВ. Национальная, региональная и местная архитектуры, представленные в данной статье, имеют свои преимущества и недостатки, которые зависят от нескольких факторов, в частности от географического расположения страны, топологии и стоимости сети распределения, типа обслуживания и т. д. Если перед выбором надлежащего варианта вещателям требуется оценить плюсы и минусы каждой архитектуры в зависимости от их собственных ограничений, стандарт DVB-T2 предоставляет им гораздо более экономически эффективные возможности, чем любой другой стандарт цифрового ТВ.

## Литература

1. ETSI EN 302 755 V1.3.1. «Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)» [«Кодирование и модуляция каналов структуры кадра системы цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2)»].
2. DVB BlueBook A136. «Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)» [«Модульный интерфейс (T2-MI) для системы цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2)»].