

Евгений Сычевский

технический эксперт, г. Москва

Николай Фокин

к.т.н., академик Международной академии связи

Технологии канального кодирования и модуляции DVB-T и DVB-T2

Перспективы внедрения. Экспертная оценка. Часть вторая

В предыдущей части рассматривались ключевые особенности системы эфирного телевидения второго поколения, пояснялись некоторые «тонкие» моменты ее работы, а также обрисовывались варианты ее возможного практического использования, в том числе с применением интерфейса модулятора T2-MI. Во второй части затрагиваются вопросы эффективности применения системы DVB-T2 в сравнении с другими системами эфирного вещания, результаты моделирования и натурных испытаний системы, вопросы измерений.

В первой части настоящей статьи было показано, что система DVB-T2, как, кстати, и DVB-T, помимо вещания в стационарных условиях позволяет реализовать вещание и на портативные и мобильные терминалы. Но, как известно, существуют еще два стандарта — DVB-H и DVB-SH, описывающие системы, также поддерживающие эту услугу. В этих условиях, естественно, возникают вопросы об областях применения указанных четырех систем и где та ниша, в которой система DVB-T2 наиболее эффективна.

Эффективность системы DVB-T2 по сравнению с другими средствами наземного телевизионного вещания

Для ответа на эти вопросы необходимо проанализировать результаты натурных испытаний и моделирования работы указанных систем с учетом их назначения, сформулированного в преамбулах соответствующих стандартов. Эффективность при этом мы будем понимать чисто в техническом смысле как способность системы передавать определенное количество информации в битах в секунду, приходящихся на единицу полосы канала, при энергозатратах, характеризуемых минимально необходимым отношением сигнал/шум на входе приемника.

Результаты испытаний и моделирования приведены на рис. 1 и 2, приведенных в публикации [7]. Графики на рис. 1 характеризуют эффективность систем в условиях стационарного приема, для которого в ка-

честве модели канала принята модель F1 канала Райса. Графики на рис. 2 посвящены работе систем в условиях мобильного приема, наиболее адекватной моделью канала для которых принято считать модель TУ6 Рэлея. На графиках приведены примененные параметры модуляции (QAM), помехоустойчивого кодирования, относительные значения защитного (GI) интервала и режим работы системы. Точки на графиках рис. 1 относятся к натурным испытаниям конкретных систем в Великобритании и Франции.

Из графиков видно, что:

Характеристики системы DVB-T в наибольшей степени удалены от границы Шеннона, то есть она заметно проигрывает всем трем системам по частотной и энергетической эффективности.

Система DVB-T2 обеспечивает наибольшую спектральную эффективность при высоких скоростях передачи данных, когда сигнал сильный, канал не искажен и обеспечивается высокое отношение С/Ш. Она может использоваться при столь высоких скоростях передачи, когда мобильный прием совершенно невозможен.

DVB-SH наиболее подходит для мобильного ТВ при относительно низких значениях С/Ш и очень хорошей устойчивости к потере сигнала, благодаря перемежениям большой длины, применяемым при приеме в спутниковых каналах. Относительно малая спектральная эффективность DVB-SH показывает, что стандарт предназначен для мобильных приемников с низким битрейтом, что делает его совершенно

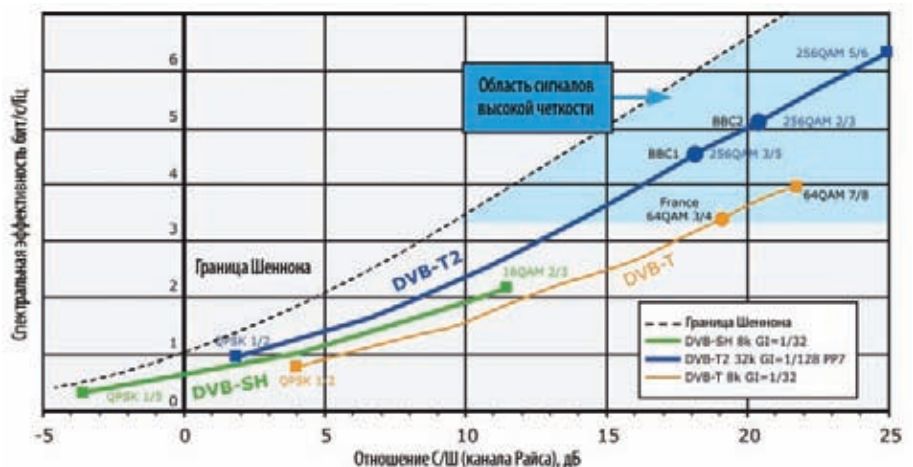


Рис. 1. Эффективность систем при фиксированном приеме (канал Райса)

неподходящим для сигналов телевидения высокой четкости (HDTV).

Интересно отметить, что, как видно по графикам рис. 2, применение DVB-T2 для мобильного приема в многоканальном режиме (5 каналов по 1 Мбит/с, QPSK, R = 1/2) с глубиной перемежения около 300 мс может дать такую же спектральную эффективность, как и DVB-SH, правда, при несколько большем (на 4 дБ) отношении С/Ш. Такое применение DVB-T2 предусматривается в рамках профиля T2-Lite, присоединенного в июле текущего года к стандарту DVB-T2 v1.3.1 в виде Приложения 1.

При мобильных применениях DVB-SH работает лучше, чем DVB-H. Улучшение С/Ш составляет около 4-5 дБ при той же спектральной эффективности. Проведенные моделирование и испытания показали, что система DVB-SH в сети мобильного ТВ, когда она используется в наземном режиме, на 30-40% экономически более эффективна, чем DVB-H. Это связано с тем, что большинство технических решений при создании DVB-SH были направлены на максимальное удовлетворение требований по мобильному приему сигналов от спутникового ретранслятора, отличающихся относительно малым уровнем, и коррекции ошибок из-за длительных перерывов (из-за затенения зданиями, мостами, деревьями и т.п.).

В качестве неоспоримого достоинства системы DVB-H надо отметить наличие механизма квантования времени, который обеспечивает наиболее экономное расходование электроэнергии на приемной стороне; это крайне важно при приеме на карманные терминалы.

Как известно [4], коммерческие требования к стандарту DVB-T2 были следующими:

- Система DVB-T2 должна обеспечить увеличение своих возможностей не менее чем на 30% по сравнению с DVB-T (реализовано путем применения 256QAM, менее плотных моделей пилот-сигналов, минимального защитного ин-

тервала, равного 1/128, расширенного диапазона частот, частотно-временного квантования).

- T2 должна предусматривать улучшение эффективности в одночастотной сети (SFN) по сравнению с DVB-T [реализовано путем применения поворота созвездия, длинных защитных интервалов для БПФ 16к или 32к].
- T2 должна быть в состоянии использовать имеющиеся антенные установки и иметь возможность использования существующей инфраструктуры передатчиков [при разнесенном приеме в варианте MIMO это невозможно].
- T2 должна иметь механизм для предоставления конкретной надежности конкретным службам, то есть должна обеспечиваться возможность задавать различные уровни помехоустойчивости различным услугам [обеспечено применением нескольких физических каналов].
- T2 должна обеспечивать различные полосы пропускания и частотную гибкость [применяются полосы от 1,7 МГц до 8 МГц и 10 МГц для профессионального использования].

Моделирование и натурные испытания (в том числе и в России) показали, что эти коммерческие требования к стандарту DVB-T2, предусматривающие, прежде всего, высокую эффективность использования спектра при высоких значениях С/Ш, но без учета проблемы длительных (в течение нескольких секунд) прерываний сигнала, были выполнены.

Завершая краткий экскурс в сравнение системы DVB-T2 с системами DVB-T/-SH/-H, можно сделать вывод, что она по всем параметрам, за исключением сложности, что, естественно, существенно превосходит DVB-T по скорости передачи информации и дальности действия в условиях фиксированного приема, может конкурировать с DVB-SH при мобильном приеме в

варианте наземного вещания. Одним из привлекательных применений системы DVB-T2 может быть объединение в рамках одной сети высокоскоростных сервисов при фиксированном приеме (например, HDTV или значительного количества программ телевидения стандартной четкости) с мобильным приемом низкоскоростных сервисов (мобильное телевидение).

Графики на рис. 1 и 2 можно использовать для оценочных расчетов системы. При этом следует иметь в виду, что минимально необходимое отношение сигнал/шум в полосе приема приведено в расчете на выполнение целевой характеристики качества системы, которая в соответствии со стандартом DVB-T2 (раздел 4.3) предусматривает обеспечение квазибесошибочной (QEF) передачи информации. Определение QEF, принятое для DVB-T2, — «менее чем одна неисправленная ошибка за час передачи при уровне качества ТВ-декодера 5 Мбит/с».

Об измерениях в системе DVB-T2

При инсталляции и эксплуатации системы крайне важно обеспечить корректность измерений ее параметров. То есть важно знать, где, что и как измерять. Учистывая это, консорциум DVB выпустил известное руководство по измерениям TR 101 290. Однако в части эфирного вещания, несмотря на выпущенное дополнение, касающееся интерфейса T2-MI [8], формально оно пока не охватывает стандарт DVB-T2, что может создавать некоторые затруднения для разработчиков.

Для их преодоления приведем следующие соображения. Прежде всего, напомним, что весь спектр измерений в цифровом эфирном телевидении приведен в перечне, который в руководстве TR 101 290 обозначен как таблица 9-1. Она включает измерения 22 параметров системы DVB-T. По каждому из них в руководстве приведены методики измерений, и на блок-схеме системы обозначены соответствующие интерфейсные точки. Было бы желательно понять, насколько и как все это можно распространить на измерения в DVB-T2. Проанализируем под этим углом зрения указанный перечень. Его можно разбить на три части:

1. Измерения по входным и выходным интерфейсам, когда систему в целом или ее передающую и приемную части можно рассматривать как некие «черные ящики», предназначенные для решения целевой задачи — передачи и приема сигналов цифрового эфирного телевидения с определенным качеством, не очень заботясь об особенностях внутреннего устройства этих черных ящиков. Этих измерений 12. Это частотные измерения, измерения мощностей сигнала, шума и спектра сигнала на радио

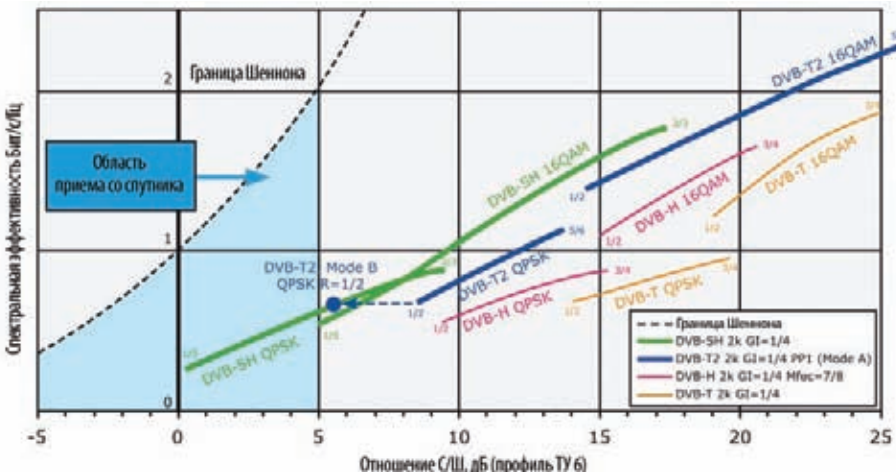


Рис. 2. Эффективность систем в мобильных условиях (профиль TU6)

и промежуточной частоте, измерения когерентной помехи, КПД, эквивалентной шумовой деградации, I/Q-измерения, измерения полной задержки сигнала, системной ошибки и др. К ним можно добавить измерения полосы захвата системы АПЧ приемника и фазовых шумов гетеродинов. Очевидно, что методики всех этих 14 измерений одинаковы для DVB-T и DVB-T2 с оговоркой, что измерительные средства должны поддерживать более широкий диапазон режимов и параметров, характерный для системы DVB-T2. Отметим, что именно эти измерения в основном необходимы при установке и эксплуатации системы в целом.

2. Ко второй группе измерений отнесем те, при производстве которых нельзя не учитывать ключевого момента применения в системе DVB-T2 более прогрессивного способа внутреннего и внешнего помехоустойчивого кодирования (LDPC/BCH-кодирование), который и обеспечивает решающие преимущества системы DVB-T2, связанные с ее эффективностью. Это измерения селективности и чувствительности приемника и измерения битовых ошибок (BER). Их всего семь. Они, как правило, необходимы при изготовлении и ремонте передатчиков и приемников. При производстве этих измерений в DVB-T2 также можно применять методики, приведенные в TR 101 290, но интерфейсные точки, указанные на входах и выходах кодеров и декодеров сверточного кодирования и Рида-Соломона, должны быть отнесены, соответственно, к входам и выходам LDPC/BCH кодеров и декодеров. Они находятся в блоках битового перемежения, кодирования и модуляции (BICM) модулятора и BICM-декодера приемника. При этом надо учитывать многоканальность обработки

сигналов, что связано с другой ключевой особенностью системы DVB-T2 — применением для передачи различного контента разных физических каналов со своими, индивидуально подобранными средствами помехозащиты.

3. Наконец, к третьей группе следует отнести измерения синхронизации в одночастотных сетях. Они необходимы при наладке и установке системы.

Механизм, обеспечивающий идентичность сигналов, излучаемых передатчиками синхронной сети, примененный в системе DVB-T2, отличается от примененного в DVB-T и специфицированного в TR 101 191. В DVB-T2 отсутствуют SFN-адаптер и пакеты инициализации суперкадра (Mega-frame Initialization Packet -MIP). В этой связи методики измерений в синхронной сети, описанные в TR 101 290, не годятся для DVB-T2. Учитывая эти обстоятельства, консорциум DVB в июле этого года опубликовал документ A14-1 [8], посвященный измерениям интерфейса T2-MI, оформленный как дополнение к TR 101 290. В документе детально описаны измерения синтаксиса пакетов T2-MI и измерения интерфейса T2-MI на транспортном уровне.

Необходимо отметить, что методики измерений части параметров, важных для функционирования синхронных сетей, таких как правильность и точность задания центральной частоты излучаемого сигнала, проверка длительности защитного интервала, измерение полной задержки сигнала в передатчике, изложены в пунктах 1.1, 1.3 и 19 таблицы 9-1 TR 101 290 и взаимоприемлемы для систем DVB-T и DVB-T2.

Остаются измерения, связанные с проверкой правильности доведения управляющей и синхронизирующей информации до передатчиков синхронной

сети. В отличие от системы DVB-T она содержится не в едином MIP-пакете, методики анализа которого приведены в пунктах 20.1...20.6 таблицы 9-1 TR 101 290, а рассредоточена по нескольким T2-MI — пакетам интерфейса модулятора системы DVB-T2. Например:

- Метки времени, используемые для синхронизации сигналов на выходах модуляторов синхронной сети (аналог меток STS в DVB-T), передаются в T2-MI — пакетах с packet_type 20₁₆ в составе каждого T2-кадра; соответственно, методика измерения состоит в выделении этого пакета и анализе правильности установки меток (они должны соответствовать моменту излучения сигнала самым удаленным передатчиком синхронной сети с учетом всех задержек сигнала в преобразователях, усилителях мощности и т.п. передатчиков), проверяется также непрерывность передачи этих пакетов в каждом кадре, точка измерения — интерфейс T2-MI.

- Данные индивидуальной адресации передаются в T2-MI — пакетах с packet_type 21₁₆, содержат тот же состав индивидуальной информации и в том же формате, что и MIP-пакеты в TR 101 191 (см. пункт 6.1). Соответственно, методика их измерения состоит в выделении этого пакета и проверке правильности синтаксиса его содержания в соответствии с п. 9.20.2 TR 101 290, точка измерения — интерфейс T2-MI.

В пакетах T2-MI передается также информация о функциях, связанных с уменьшением пик-фактора (PARP) и разнесенным приемом (MISO), что специфично только для DVB-T2.

Надо иметь в виду, что в DVB-T2 тоже применяются пакеты с аббревиатурой MIP, но ее расшифровка и содержание отличаются от DVB-T. В DVB-T2 они называются «информационные пакеты модулятора T2» (T2-Modulator Information Packet, T2-MIP). Они применяются для синхронизации передатчиков ретрансляторов, действующих в составе двухуровневых синхронных сетей, на которые полезные данные, информация о синхронизации и индивидуальная информация передаются не по линиям привязки, а по эфиру от ближайшей станции синхронной сети (рис. 3).

Такой механизм передачи синхронизирующей информации на эфирные ретрансляторы принят в связи с тем, что пакеты T2-MI предназначены исключительно для связи между T2-шлюзом и собственно модулятором и в эфире не излучаются. Формирование и вставка пакетов T2-MIP производится в T2-шлюзе, так как именно там происходит построение T2-кадра и суперкадра, а следовательно и назначается время модуляции ВЧ-сигнала пакетами транспортного потока. С учетом этого предполагается, что

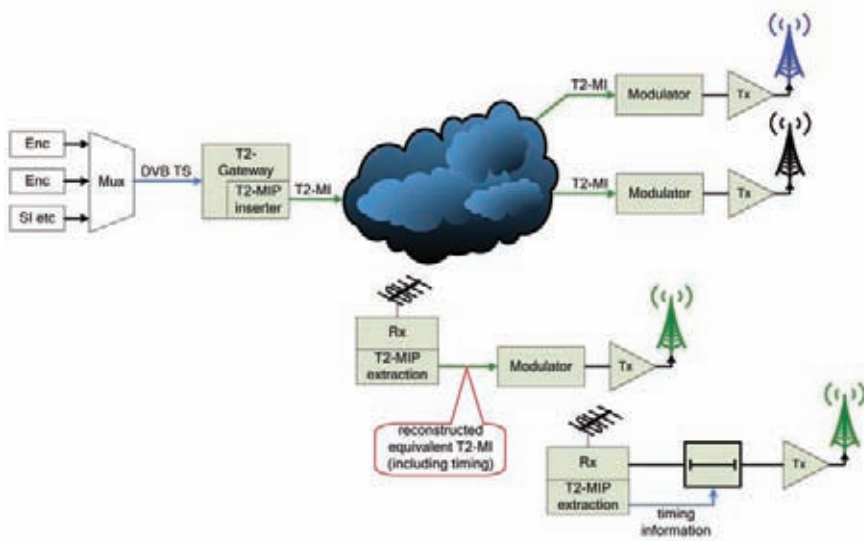


Рис. 3. Общая архитектура двухуровневой синхронной сети с передачей пакетов T2-MIP на ретрансляторы по эфиру.

приемник ретранслятора должен выделить пакеты T2-MIP и переконструировать входящий DVB-T2 сигнал так, чтобы подать эквивалент T2-MI сигнала, включая метки времени, на модулятор ретранслятора, что необходимо для обеспечения формирования одинаковых сигналов и в одно и то же время на каждой станции синхронной сети второго уровня.

Структура MIP-пакетов в DVB-T и DVB-T2 одинакова, но их содержание различно. Отличаются и PID'ы этих пакетов. Значение PID для T2-MIP должно быть равно 15₁₆. Методика измерения пакетов T2-MIP состоит в выделении этого пакета и проверке правильности синтаксиса его содержания в соответствии с п. В.2.1 TS 102 773. Точки измерений совпадают с интерфейсом T2-MI и выходом приемника ретранслятора.

Полезно пояснить, как устанавливается время излучения передатчиков ретрансляторов, работающих в сети второго уровня двухуровневой синхронной сети. Это время устанавливается в общем T2-шлюзе и прописывается в поле **t2_timestamp_mip** (88 bits) формируемого там же пакета T2-MIP. Пакет, который имеет формат пакета TS MPEG-2, через интерфейс T2-MI поступает на передатчики синхронной сети первого уровня, излучается в эфир и принимается приемниками ретрансляторов сети второго уровня. На основе этой информации о назначенном времени излучения, зная время прихода текущего суперкадра, каждый ретранслятор определяет необходимое время задержки для излучения текущего суперкадра.

Значение T2-метки, которое несет T2-MIP, может отличаться от содержащегося в пакете типа 20₁₆ интерфейса T2-MI, которое также используется для синхронизации передатчиков в сети первого уровня. Передатчики ретрансляторов сети второго уровня излучают на частоте, отличной от принятой в сети первого уровня. Таким об-

разом, синхронные сети первого и второго уровней, передавая одну и ту же полезную информацию, представляют из себя разные синхронные сети, развязанные друг от друга по частоте и времени. Понятно, что отличие по времени незначительно, но оно есть, и сигналы сети второго уровня всегда запаздывают относительно момента излучения передатчиков сети первого уровня.

Применение в DVB-T2 концепции построения модулятора, распределенного в пространстве по передатчикам синхронной сети, на основе использования так называемого интерфейса модулятора T2-MI требует обеспечения измерений его параметров по всему стеку протоколов (на всех уровнях модели взаимодействия открытых систем, OSI), прежде всего — на канальном и транспортном уровнях (рис. 4) [5].

Измерения по протоколам ASI DVB и MPEG-2 TS традиционны и освоены техническими специалистами, работающими в области DVB. Они, в основном, описаны в разделе 5 TR 101 290. Измерения по протоколу Ethernet, в том числе показателя качества обслуживания в сети, относятся к компетенции специалистов по IPTV.

Здесь лишь отметим требования к IP-сети, которые определены в спецификации TS 102 034 [6]. Обязательные:

- джиттер пакетов не должен превышать 40 мс р_{tp},
- недопустимы нарушения порядка следования пакетов;

И рекомендуемые:

- допускается потеря не более одного пакета в течение одного часа.

Требования могут быть снижены при применении помехоустойчивого кодирования (FEC). Их выполнение гарантирует стандартное качество обслуживания на сетях привязки и распределения.

Отдельно следует остановиться на измерениях, связанных с контролем качества обслуживания в зоне вещания. Главным параметром, определяющим качество обслуживания, установленное при проектировании системы, является фактическая величина отношения мощность сигнала/ мощность помех на выходе калиброванной измерительной антенны (или на входе контрольного приемника, подключенного к этой антенне), размещенной в контрольных точках (или точке) сети доставки программ конечному пользователю. Эта величина должна превышать аналогичную, заданную при проектировании системы, как на момент сдачи, так и в течение всего времени ее эксплуатации. Под мощностью помех подразумевается сумма мощностей собственных шумов приемника и всех возможных помех (пре-

жде всего, от мешающих радиостанций), действующих в точке приема. Методика измерения мощностей сигнала и помех от мешающих радиостанций изложена в п. 9.5 TR 101 290, а мощности шумов — в п. 9.6 того же документа.

Помимо отношения сигнал/помеха на качество обслуживания влияют кратковременные сбои и перерывы в подаче сигнала. Они также могут фиксироваться контрольным приемником.

Качество воспроизводимого изображения и звука в цифровой телевизионной сети зависит также от величины фактической скорости потока передаваемой телевизионной программы. Его значение может контролироваться анализатором транспортного потока, подключенного к контрольному приемнику, например, через ASI-интерфейс. Величина скорости потока должна быть стандартизована для различных типов телевизионных изображений («новости», «спорт», «пейзаж», «анимация» и др.).

Завершая раздел об измерениях, можно сделать вывод, что методологически процесс измерений в системе эфирного вещания второго поколения вполне обеспечен существующими нормативными документами и это не должно вызывать затруднений в процессе ее внедрения. ■

Использованные источники:

1. А. Бителева. DVB-T2: новый стандарт вещания для телевидения высокой четкости // Теле-Спутник № 11, 2008.
2. И. Шахнович, DVB-T2 — новый стандарт цифрового телевизионного вещания // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. № 6, 2009.
3. Frequency & Network Planning Aspects of DVB-T2, EBU Tech 3348.
4. Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 831 V1.1.1 (2010-10).
5. Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 773 V1.1.1 (2009-09).
6. Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks, ETSI TS 102 034 V1.4.1 (2009-08).
7. DiBcom, White Paper N°6 — V2 Nov. 2009.
8. Measurement guidelines for DVB systems; Amendment for T2-MI (Modulator Interface); DVB Document A14-1, июль 2011.

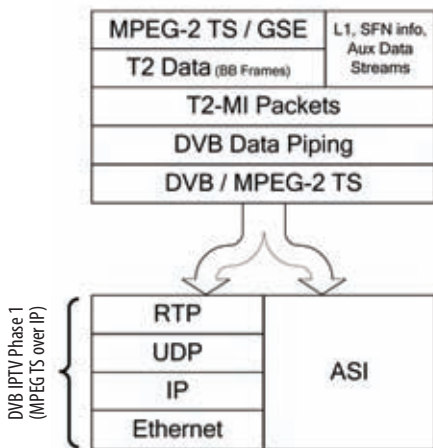


Рис. 4. Стек протоколов интерфейса T2-MI

В первой части статьи, опубликованной в ТС N11 20011, была допущена ошибка. В таблице 2 (стр 24) в каждой клетке строки «Кодовая скорость» должно стоять значение 2/3