

В статье приведены сведения об ограничении скорости цифровых линий условиями их ЭМС. Представлены особенности характеристик кабельной продукции и оконечного оборудования. Даны основные положения нормирования цифровых линий, обеспечивающего проектирование и развитие сетей широкополосного абонентского доступа на основе технологий ADSL.

## Постановка задачи

**Сети широкополосного абонентского доступа на основе ADSL** (Asymmetric digital subscriber line) - их развитие позволяет оператору связи предоставлять абоненту современные услуги. Развитие сетей именно на основе ADSL обеспечивает решение задачи с наивысшей эффективностью, так как происходит преимущественно с использованием существующей абонентской телефонной сети.

**Абонентская телефонная сеть** – ее параметры никогда ранее не нормировались в полосе частот, необходимой для приемопередатчиков ADSL. Это обстоятельство проявляется уже при установке первых цифровых линий и приобретает определяющее значение при повышении необходимой скорости доступа или уплотнении кабельной сети новыми цифровыми линиями, вызванным ростом клиентской базы.

**Новые цифровые кабели** – их применение позволяет повысить эксплуатационную надежность сети, благодаря тому, что характеристики цифровых кабелей, как продукции кабельных заводов, нормируются в необходимой полосе частот.

**Оконечное оборудование цифровых линий** – на прогресс свойств оборудования возлагаются основные надежды операторов, которые в большинстве случаев стремятся, не модернизируя абонентскую сеть, применить такое оконечное оборудование, которое позволило бы предоставлять услуги на современном уровне при минимальных затратах. Драматичность ситуации усиливается постоянным ростом максимальной скорости доступа, обеспечиваемой оконечным оборудованием, и стремлением операторов связи предложить пользователям услуги, обусловленные повышением скорости.

### Асимметричные цифровые линии ADSL (ITU-T G.992.x).

#### Параметры передачи и скорость нисходящего потока

Канальный интервал DMT $\Delta F$ , кГц	4,3125			
Скорость модуляции $M$ , кбод	4,0			
Максимальный уровень сигнала $P_{\max}$ , дБм	+20,4			
Тип линии	ADSL	ADSL2	ADSL2+	ADSL4 (ADSL2++)
Рекомендация ИТУ-Т	G.992.1	G.992.3	G.992.5	G.992.x
Год принятия рекомендации ИТУ-Т	1999	2002	2003	200x
Типовая нижняя граница полосы частот $F_0$ , кГц	138	138	138...276	138...276
Верхняя граница полосы частот $F_1$ , кГц	1104	1104	2208	3752...4416
Максимальная кратность модуляции $K_{\max}$	$\geq 8$	$\geq 12$	$\geq 12$	$\geq 12$
Максимальная скорость передачи $V_{\max}$ , кбит/с	$\geq 8000$	$\geq 12000$	$\geq 24000$	$\geq 48000$
Запас помехозащищенности SNRmargin, дБ	$\Delta R = 3...18$ , типовое значение $\Delta R = 6$			
Кратность модуляции в зависимости от фактической канальной защищенности $R_i$	$K_i = \frac{R_i - \Delta R - \Delta R_0}{3}$ , $\Delta R_0 = 10dB$			
Скорость передачи, кбит/с	$V = M \sum_{i_0}^{i_1} K_i$ , $i_0 = \frac{F_0}{\Delta F}$ , $i_1 = \frac{F_1}{\Delta F}$			

Указанные обстоятельства порождают **проблему обеспечения эксплуатационной надежности сети широкополосного абонентского доступа на основе ADSL.**

Эксплуатационная надежность цифровой линии может быть квалифицирована или запасом помехозащищенности на заданной скорости передачи, или скоростью передачи при заданном запасе помехозащищенности.

Запас помехозащищенности SNR Margin является одним из фундаментальных параметров настройки современных цифровых линий и это понятие применительно к ADSL может быть выражено следующим образом.

В ADSL передаваемый цифровой поток распределяется по множеству частотных подканалов (Discrete MultiTone - DMT), ширина каждого равна  $\Delta F = 4,3125$  кГц. В ходе установления соединения осуществляется измерение защищенности (соотношение Сигнал/Шум – Signal-to-Noise Ration - SNR) в каждом  $i$ -м подканале. Значения измеренной защищенности  $R_i$  и заданный запас помехозащищенности  $\Delta R$  используются для расчета канальной кратности модуляции  $K_i$ . Модуляция в ADSL производится с тактовой частотой равной 4 кбод. Кратность модуляции равна количеству бит цифрового потока, объединяемых для переноса за один такт. Таким образом, скорость передачи  $V$  определится произведением тактовой частоты на сумму канальных кратностей модуляции.

Вероятность возникновения одиночной ошибки на приеме после установления соединения не нормируется. Но, если после установления соединения увеличить уровень шума в используемой полосе частот  $F_0...F_1$  на величину заданного запаса помехозащищенности  $\Delta R$  (то есть израсходовать запас помехозащищенности), то вероятность одиночной ошибки в принимаемом потоке не должна превышать значения  $10^{-7}$ . При таком снижении защищенности приемопередатчики могут произвести переустановку соединения (Retrain), понизив скорость и восстановив величину заданного запаса помехозащищенности  $\Delta R$ .

Таким образом, приемопередатчики ADSL адаптивны по своей природе, то есть способны обеспечить заданный запас помехозащищенности SNR Margin в каждом частотном подканале путем задания скорости передачи в зависимости от фактической защищенности. Поэтому линии ADSL целесообразно нормировать именно по скорости. Это тем более удобно, что скорость цифровой линии является весьма информативным показателем, а фактически - товаром.

**Оператор строит сеть, но «продает» пользователю линию**, поэтому, нормируя параметры каждой линии как товара, следует заботиться о качестве сети, на построение которой будет затрачено несколько лет. Следовательно, нормируя линию по скорости, следует иметь в виду условия ЭМС линий сети доступа, которые сложатся к моменту условного завершения развития сети. То есть линии, которые, в конце концов, образуют сеть, необходимо нормировать с запасом «на вырост».

Если сеть доступа представить совокупностью взаимовлияющих цифровых линий, аналитически исследовать компоненты цифровой линии (кабель и оконечное оборудование), обобщить результаты, проверить их экспериментально, то можно, наконец, сформулировать принципы нормирования, инсталляции и контроля линий, что обеспечит возможность планомерного развития сетей доступа.

Описанные обстоятельства позволяют сформулировать следующие **конкретные задачи нормирования ADSL:**

- изучение функционирования цифровых линий (характеристики помехозащищенности линий во многом определяют эксплуатационную надежность сети доступа);
- разработка требований к продукции кабельных заводов (проверка кабеля производится при сертификации образцов и на приемосдаточных испытаниях каждой единицы продукции);
- разработка требований к оконечному оборудованию цифровых линий, появление новых образцов которого происходит с калейдоскопической быстротой (проверка оборудования должна производиться при его сертификации соответствующими государственными, корпоративными или независимыми структурами);
- разработка типовых рекомендаций по построению сетей доступа, учитывающих и определяющих предельное значение коэффициента цифрового уплотнения многопарных кабелей, необходимые для обеспечения современных услуг значения линейных скоростей

передачи цифровых линий, радиусы зон предоставления типовых услуг с гарантированным качеством;

- разработка процедур установки цифровых линий, методов измерений, требований к кабельным линиям и условиям подключения оконечного оборудования (соблюдение требований контролируется оператором связи при установке цифровых линий; в зависимости от принятой технологии контрольные измерения могут выполняться лишь для части линий).

## Контроль при производстве цифрового кабеля связи

Основная задача, решению которой уделяется наибольшее внимание при производстве кабелей связи, предназначенных для использования совместно с современным цифровым оборудованием, заключается в увеличении и гарантировании переходного затухания на ближнем конце (NEXT) и защищенности от переходных влияний на дальнем конце (ELFEXT) кабеля.

На практике контроль готовой продукции осуществляется путем измерений указанных параметров лишь на одной-двух фиксированных частотах (например, 250, 550, 1024 кГц), хотя реальные частотные

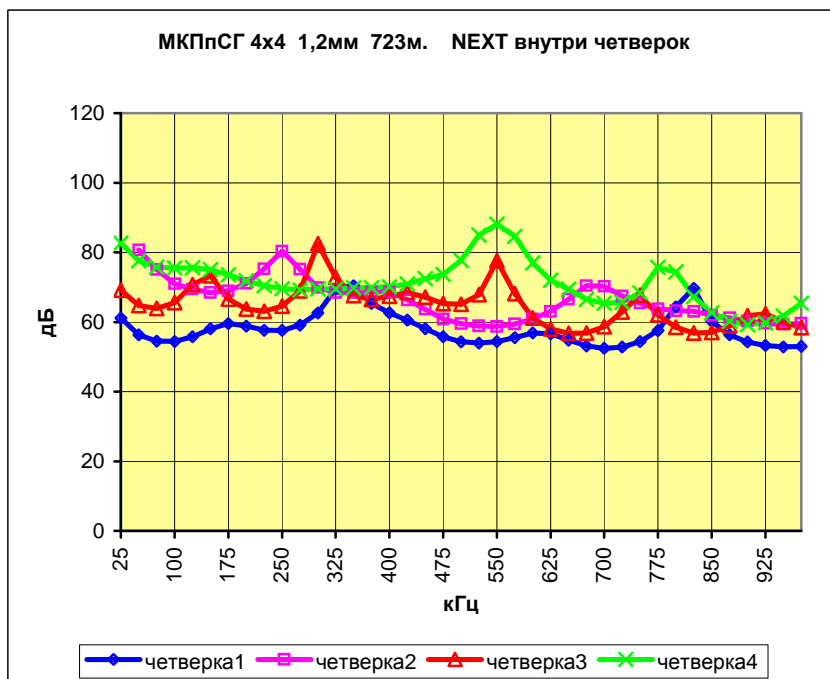
характеристики переходного затухания образцов кабельной продукции могут иметь существенно неравномерный характер. Так приведенные на графике частотные характеристики переходного затухания различных комбинаций пар свидетельствуют, что неравномерность АЧХ между двумя парами превосходит 20 дБ, расположение экстремумов АЧХ непредсказуемо, а суммарный разброс совокупности АЧХ превышает 35 дБ.

Возможная существенная неравномерность характеристики переходного затухания, практически обязывает производителей нормировать кабельную продукцию не на дискретных частотах, а в диапазоне частот предполагаемого использования.

Совокупность результатов измерений, проведенных на кабельных заводах, и их анализ позволяет утверждать, что причинами снижения переходного затухания часто является следствием неравномерности повива или наложения жильной изоляции, что проявляется в уменьшении затухания асимметрии. Контроль кабелей на основе нормирования АЧХ затухания асимметрии может быть применен как заводским ОТК, так и оператором связи для выбраковки пар при построении сетей доступа. Следует заметить, что для сети доступа пара с пониженной симметрией «вредна дважды»:

- во-первых, при подключении к такой паре цифрового оборудования на окончаниях соседних пар создаются переходные помехи повышенного уровня, а
- во-вторых, пара с пониженной симметрией более подвержена влиянию помех из соседних пар.

Цифровым может быть назван кабель, нормированный в диапазоне частот предполагаемого использования по рабочему и переходному затуханию, защищенности на дальнем конце и затуханию асимметрии. **Из характеристик кабеля для ADSL определяющее значение имеют рабочее затухание и защищенность от переходных помех на дальнем конце.**



## Испытания оконечного оборудования цифровых линий

Безусловный интерес для оператора электросвязи представляет информация о фактических скоростных характеристиках, показателях помехозащищенности, особенностях настройки и функционирования применяемого оконечного оборудования. Для выявления этих свойств желательно применять соответствующие кабельные имитаторы, способные инструментально воспроизводить характеристики кабельных линий различной парной емкости, типа, диаметров жил, имитировать неоднородности и помехи от различных источников. Такие приборы, к сожалению, весьма дороги и, вероятно, по этой причине автору не известны случаи их применения в отечественной практике.

Тем не менее, оператор связи сравнительно просто может организовать соответствующий имитационный стенд на петлях реального кабеля с выполнением условий:

- сигнал не должен возвращаться по тому же кабелю, по которому был отправлен (при нарушении этого условия возникает сложная картина переходных помех, что лишает испытательный стенд свойства воспроизводимости условий испытаний);
- применение магазинов затухания и RLC-моделей длинных линий недопустимо (сосредоточенные модели кабелей могут приблизительно имитировать частотную характеристику затухания, однако не могут воспроизвести чистую задержку, определяемую длиной кабеля);
- спектральная плотность помех на окончаниях пар должна быть ниже минус 140 дБм/Гц – модель помех AWGN-140;
- инструментальное воспроизведение переходных помех может производиться с применением генераторов шума; спектр шума может дополнительно окрашиваться посредством использования RLC-четырёхполюсников, а контроль затухания и защищенности должен производиться с применением анализатора условий ЭМС цифровых линий.

Представленные ниже результаты были получены на стенде Исследовательского центра Московской ГТС с применением анализаторов AnCom A-7 компании «Аналитик-ТС». Испытаниям были подвергнуты оконечные ADSL-устройства, предоставленные заинтересованными компаниями. Названия образцов и DSLAM'а умышленно скрыты во избежание недоразумений. Никаких предварительных настроек образцов не производилось (вынул из коробки – поставил на стенд).

В ходе испытаний ADSL-устройств были выявлены существенные различия в скорости установленного соединения и эффективной скорости передачи, несмотря на то, что установки DSLAM'а были идентичны для всех испытанных устройств. Этот факт свидетельствует хотя бы о том, что между оконечными устройствами различных производителей не в полной мере выполняются все протокольные соглашения.

В ходе испытаний была исследована природа такого феномена и определены величины фактических запасов помехозащищенности при условно типовом подключении абонента с применением кабеля ТП 0,5 мм и длине линии равной 3 км:

- у ряда испытанных устройств (4...6) обнаружено существенное несоответствие фактического запаса помехозащищенности заданному на DSLAM значению (SNR Margin = 6 dB);
- при увеличении запаса помехозащищенности линейная скорость снижается в соответствии с приведенным графиком;
- величина фактического запаса помехозащищенности не более чем на 1...2 дБ превышает запас, представляемый испытанными устройствами после установления соединения.

Все испытанные устройства кроме mod3 продемонстрировали незначительное (0,0...2,1%) снижение эффективной скорости передачи при увеличении уровня шума от опорного (в момент установления соединения) до критического (по достижении которого происходит Retrain).

При испытаниях было выявлено некорректное поведение устройства mod3, состоящее в том, что при увеличении уровня помех эффективная скорость падает до нуля, но при этом не инициируется процедура переустановки соединения Retrain - понижение скорости с восстановлением заданного запаса помехозащищенности.

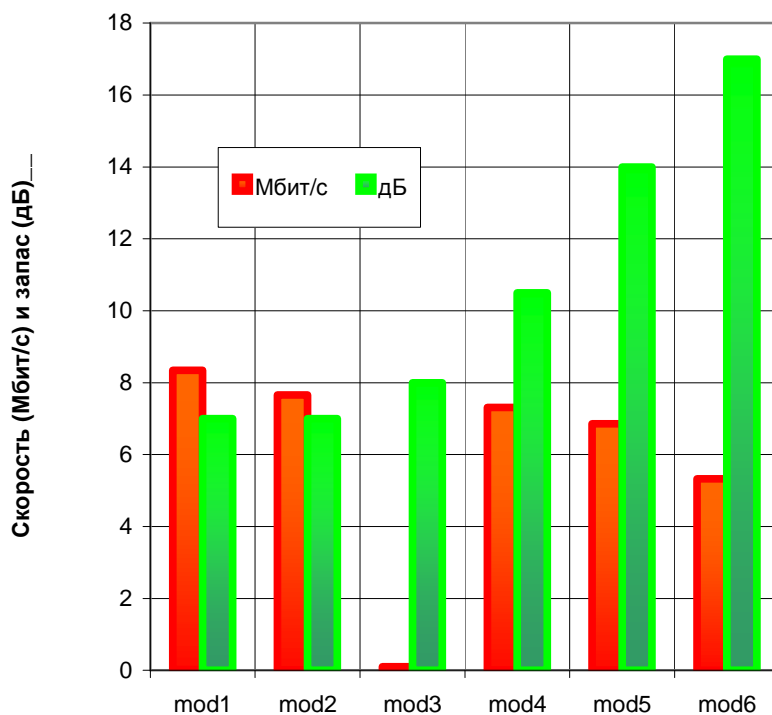
**Испытания абонентских оконечных устройств ADSL на линии ТП 0,5мм 3км при заданном значении запаса помехозащищенности SNR Margin = 6 дБ**

Условное обозначение абонентского оконечного устройства	Измеренный выходной уровень, дБм		После установления соединения в условиях действия помех опорного уровня $P_0$		При критическом уровне помех $P_1$		Измеренный запас помехозащищенности, дБ
	Upstream	Downstream	Показания модема		Эффективная скорость передачи, кбит/с		
			SNR Margin, dB	Линейная скорость, кбит/с			
mod1	+12,0	+19,1	6,0	9696	8340	8340	7,0
mod2	+11,5	+18,1	6,0	8928	7690	7660	7,0
mod3	+11,8	+18,0	Нет данных	9248	7510	0	8,0
mod4	+12,0	+18,9	9,0	8672	7470	7310	10,5
mod5	+12,8	+19,8	12,0	8064	6980	6860	14,0
mod6	+11,2	+17,3	16,0	6144	5330	5330	17,0

Такое поведение устройства mod3 может привести к возникновению ситуации зависания, развивающейся по следующему сценарию:

- цифровая линия была установлена и сдана в эксплуатацию,
- впоследствии в тот же кабель были введены дополнительные линии,
- из-за подъема переходных помех до субкритического уровня запас помехозащищенности ранее установленной линии был «израсходован», что привело к снижению эффективной скорости вплоть до нуля,
- однако уровень помех еще недостаточен для выполнения Retrain, что при стабильной помеховой обстановке может привести к консервации нулевой скорости передачи.

**Эффективная скорость на пределе фактического запаса помехозащищенности ADSL**



Приведенные данные не претендуют на общность, а лишь демонстрируют некоторые «подводные камни» технологии ADSL. Отраслевые требования (Правила применения оборудования проводных и оптических систем передачи абонентского доступа; утверждены приказом №112 Минсвязи РФ от 24.08.2006) и программы сертификационных испытаний приемопередатчиков xDSL обычно ограничиваются контролем параметров линейных стыков (уровень сигнала, согласованность, асимметрия) и не предусматривают испытаний на помехозащищенность и помехоустойчивость. То есть **факт наличия сертификата не избавляет оператора связи и его клиентов от неисследованных неожиданностей поведения оконечного оборудования.**

Другие неприятности для оператора следуют из следующего заблуждения: «Скоростной потенциал оконечного оборудования увеличивается со сменой поколений аппаратуры, поэтому, если использование приемопередатчиков предыдущих поколений не позволяло предоставлять современные услуги, то вновь предлагаемое оборудование сделает такой прогресс возможным».

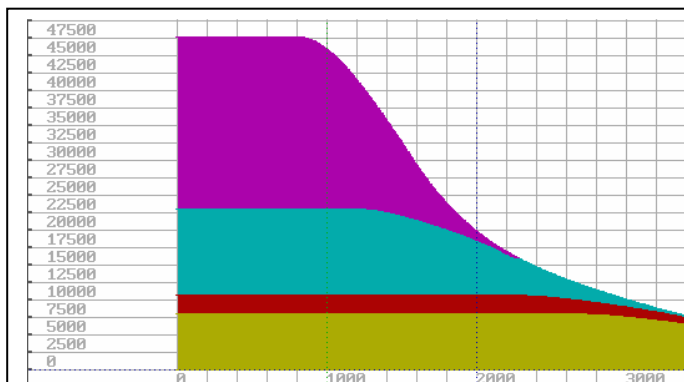
Действительно, если обращать внимание только на максимально достижимые скорости именно оборудования, пренебрегая постоянными помехами и взаимовлияниями цифровых линий, то такое впечатление действительно может быть создано.

Но, если учесть помехи и взаимовлияния, используя нормируемые условия ЭМС цифровых линий (см. ниже), то могут быть получены соответствующие нормативные скоростные характеристики ADSL различных поколений.

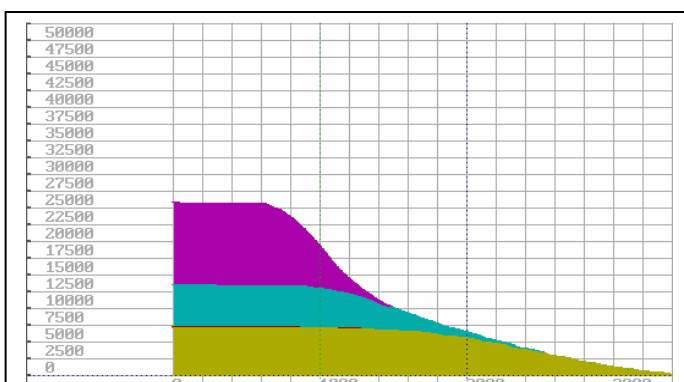
На рисунках представлены семейства максимальных и нормативных скоростных характеристик нисходящих потоков, реализуемых на кабеле типа ТП-0,4, при уровне выходного сигнала равном +20,4 дБм (максимально допустимое значение) и запасе помехозащищенности равном 6 дБ.

Сопоставление скоростных характеристик показывает, что при учете нормируемых условий ЭМС:

- скорость линий ADSL существенно ниже скоростного потенциала оконечного оборудования, определенного в отсутствие помех,
- преимущество приемопередатчиков последующих поколений ADSL эффективно на линиях протяженностью до 1000 м,
- на линиях длиннее 2000 м скорости приемопередатчиков ADSL практически равны.



Скоростной потенциал приемопередатчиков  $V_{max}(L)$ , кбит/с в зависимости от длины линии  $L$ , м для **ADSL**, **ADSL2**, **ADSL2+**, **ADSL4**. Кабель ТП-0,4; помехи отсутствуют



Нормы скорости  $V_n(L)$ , кбит/с в зависимости от длины линии  $L$ , м для **ADSL**, **ADSL2**, **ADSL2+**, **ADSL4**. Кабель ТП-0,4; учтены нормируемые помехи - ITU-T L.19 и ETSI B

## Рекомендации по построению сетей доступа. Нормы условий ЭМС цифровых линий

Оператор, проектируя и развивая сеть широкополосного абонентского доступа с применением цифровых линий ADSL (ADSL, ADSL2, ADSL2+, ADSL4), должен ставить задачу обеспечения эксплуатационной надежности сети доступа в целом, а не работоспособности каждой линии в отдельности.

Поэтому при инсталляции каждой конкретной линии следует стремиться не к достижению максимально возможной скорости, а к соответствию скорости устанавливаемой линии норме. Больше того, процедура установки каждой линии должна быть строго регламентирована и основана на нормировании параметров ЭМС цифровых линий, производимого в соответствии с современными нормативными документами и с учетом моделей помехозащищенности цифровых линий. Для этого могут быть применены рекомендации ITU-T G.99x.x, L.19, национальные стандарты и справочники.

Было бы непростительно приступать к строительству сети широкополосного доступа, не произведя паспортизацию имеющихся кабелей. Причем решение этой задачи может быть получено с применением традиционных норм, методов (российские ОСТ'ы 45.36-97, 45.62-97, 45.81-97, 45.82-96 45.83-96) и существующих средств измерений. При этом **основным контролируемым параметром продолжает оставаться сопротивление изоляции.**

Экономическое обоснование создания сети доступа должно проводиться с учетом доходов от расширения радиуса зон предоставления типовых услуг и расходов на выполнение работ на кабеле, обеспечивающих повышение скорости доступа. На начальном этапе построения сети можно предложить следующую модель.

Определение норм по скорости производится так, чтобы при существующих условиях ЭМС линий на стационарной и абонентской сторонах не менее 80% заявленных к установке линий соответствовали бы норме по скорости после пробного включения.

Оставшиеся 20% линий, которые не соответствуют норме по скорости, должны быть детально исследованы. Целью исследования должно быть получение информации для квалифицированного принятия решения:

- по выбраковке несоответствующих норме скорости пар,
- при поиске и устранении источников недопустимых помех,
- о необходимости выполнения ремонта кабеля.



Во избежание излишних затрат на проведение исследований на начальном этапе построения сети доступа представляется возможным воспользоваться системой норм, приведенной в рекомендации ITU-T L.19 «Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб таких как POTS, ISDN и xDSL». Это тем более оправдано потому, что рекомендация L.19 учитывает опыт создания сетей доступа во Франции, Индии и Бразилии.

Влияние переходных помех ITU-T L.19 11/2003 Таблица 6		
Частота, кГц	Минимальное переходное затухание на ближнем конце NEXT, дБ	Минимальная защищенность от переходных помех на дальнем конце ELFEXT, дБ
<150	56	54
300	52	48
>1000	44	38

Симметрия пары относительно экрана ITU-T L.19 11/2003 Таблица 7	
Частота, кГц	Минимальное затухание асимметрии, дБ
25	40.0
1104	40.0
2208	38.5
4416	37.0

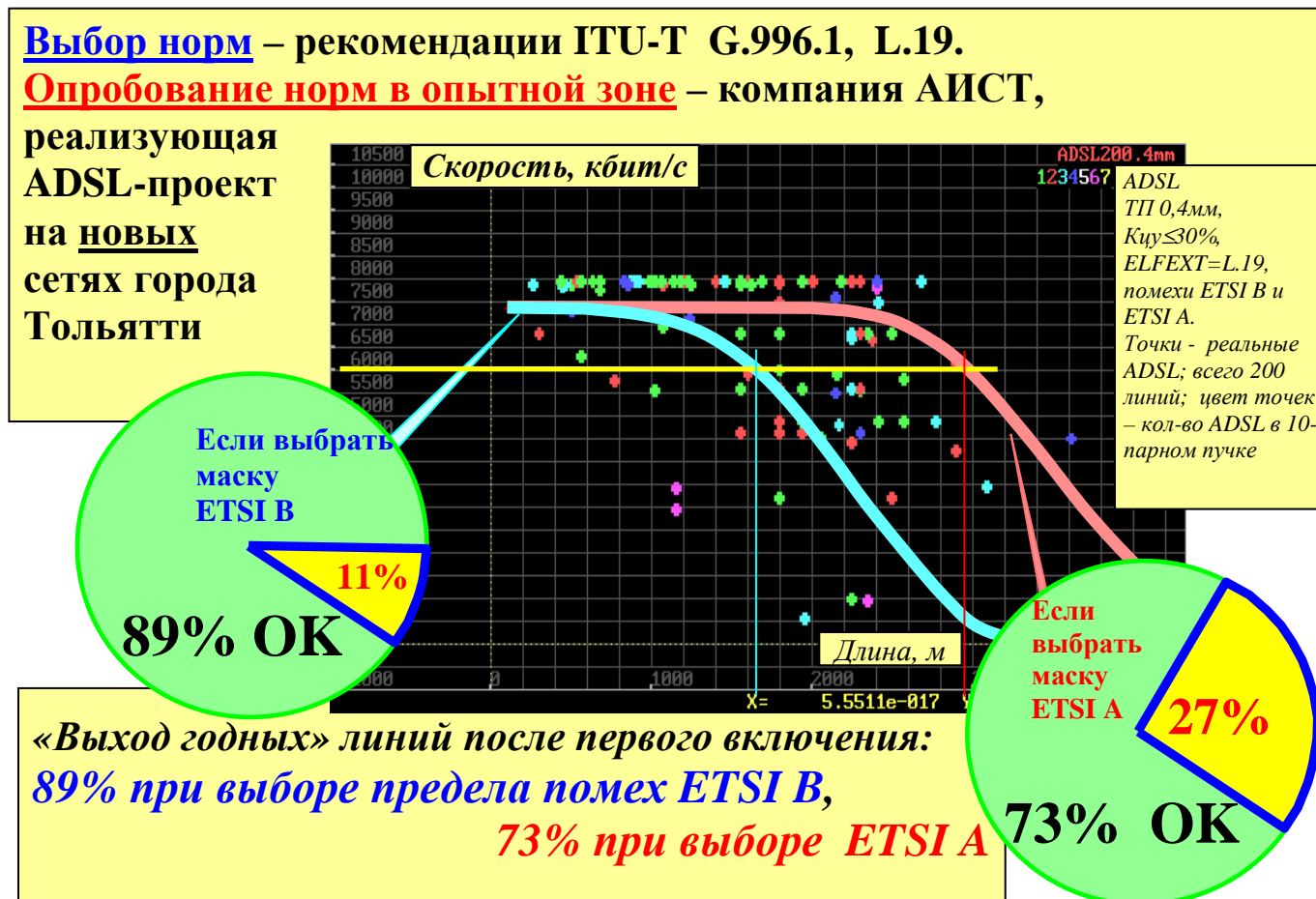
Модуль полного сопротивления ITU-T L.19 11/2003, Таблица 7. Учтены данные справочника А.С.Брискер Городские телефонные кабели, М.РиС,1991. Табл.10.22		
Частота, кГц	Минимум, Ом	Максимум, Ом
20	134.5	254.8
50	96.8	183.5
100	85.7	162.4
150	83.0	157.2
200	81.8	155.0
250	81.1	153.6
300	80.5	152.5
400	79.6	150.9
500	79.0	149.8
600	78.5	148.8
700	78.0	147.9
800	77.7	147.3
900	77.4	146.8
1000	77.2	146.3
1200	76.8	145.5
1500	76.3	144.6
2000	75.5	143.2
2500	75.4	142.9

Определив предельные частотные характеристики, остается задать норму допустимых помех. Не обременяя себя изысканиями, можно выбрать одну из предлагаемых ETSI (European Telecommunications Standards Institute) масок. Но, осуществляя такой выбор, следует произвести настройку системы норм на проектное значение доли «выхода годных» линий не менее 80%.

Спектральные модели помех ETSI ITU-T G.996.1			
Модель ETSI А		Модель ETSI В	
кГц	дБм/Гц	кГц	дБм/Гц
1	-100	1	-80
79.5	-100	10	-100
795	-140	300	-100
1500	-140	711	-115
		1500	-115



Приведенный рисунок иллюстрирует выбор в качестве предельной нормы одной из моделей помех А или В, стандартизованных ETSI и приведенных в рекомендации ITU-T G.996.1. Две кривые представляют собой нормы скоростных характеристик кабеля для ADSL, определенные для условий помех ETSI А (красная) и ETSI В (голубая). Каждая точка отображает значение фактической скорости реально установленной линии. Точки, лежащие над кривой, соответствуют нормальным линиям; точки ниже кривой соответствуют линиям с нарушением нормы по скорости.



Выбор в качестве нормы предельно допустимых помех модели ETSI А обречет на выбраковку 27% линий, хотя и обеспечит радиус зоны гарантированного обслуживания на скорости не менее 6000 кбит/с равный 2950 м.

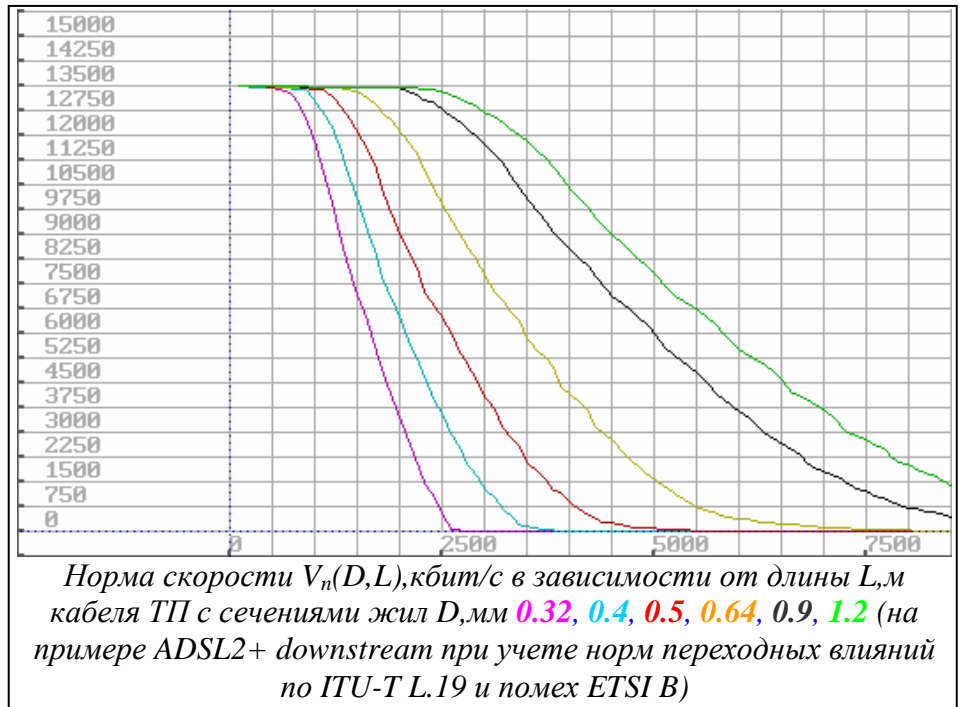
Нормирование же помех в соответствии с ETSI В поднимет выход годных, снизив брак до 11%, но и сократит радиус зоны обслуживания до 1650 м.

Считая, что количество потенциальных абонентов пропорционально площади зоны, ужесточение требований к шумам способно в  $(2950/1650)^2=3,2$  раза (+220%) расширить клиентскую базу, потеряв из них лишь 27%. Следует заметить, что эта потеря не безвозвратная, так как несоответствующие норме линии можно довести до нормального состояния путем выполнения работ на кабеле.

Приводя соображения в пользу выбора более жесткой модели помех (ETSI А), на начальном этапе представляется необходимым, тем не менее, выбрать более мягкую модель ETSI В.

Выбор норм следует дополнить следующим условием: **коэффициент цифрового уплотнения кабеля не должен превышать 30% (до 3-х пар в «десятке»)**. В обоснование этой нормы сложно привести какие-либо аргументы кроме тех, что, с одной стороны, в настоящее время в местных сетях продвинутых российских операторов средний показатель концентрации цифровых линий в многопарных кабелях составляет около 10%, а, с другой стороны, увеличение этого нормативного показателя снизит норму скорости.

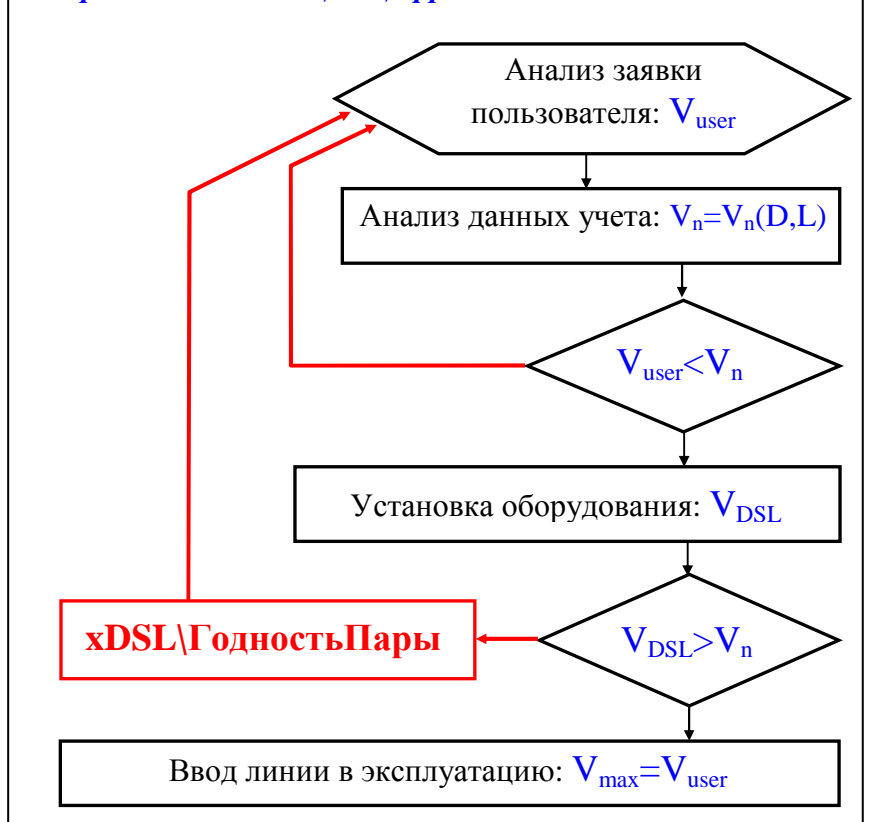
Наконец, учтя то, что большинство симметричных абонентских кабелей имеют сплошную полиэтиленовую изоляцию жил, жилы медные, а диаметры сечения обычно составляют ряд 0.32, 0.4, 0.5, 0.64, 0.9, 1.2 мм, можно нормировать скоростные характеристики кабелей, идентифицируя кабель лишь диаметром сечения.



Контролируемое расходование скоростного потенциала многопарного кабеля должно быть обеспечено выполнением процедуры инсталляции каждой цифровой линии, выполняемой в соответствии с алгоритмом инсталляции:

- по заявке пользователя определяется необходимая скорость цифровой линии  $V_{user}$ ,
- по учетным данным (сечение и длина кабеля) определяется норматив скорости  $V_n = V_n(D,L)$ ,
- если  $V_{user} < V_n$ , то устанавливается оборудование цифровой линии и измеряется скорость  $V_{DSL}$ ,
- если  $V_{DSL} > V_n$ , то цифровая линия вводится в эксплуатацию с ограничением скорости  $V_{max} = V_{user}$ ,
- если норматив не выполнен, то линия бракуется или производятся измерения.

#### Алгоритм инсталляции цифровой линии



## Требования к анализаторам условий ЭМС цифровых линий

Напомним, что задачей измерений в соответствии с алгоритмом инсталляции цифровых линий является **обеспечение квалифицированного принятия решения**:

- по выбраковке несоответствующих норме скорости пар,
- при поиске и устранении источников недопустимых помех,
- о необходимости выполнения ремонта кабеля.

Наиболее удобной точкой для проведения измерений, конечно, является станционная сторона. Поэтому при формулировании требований к измерительной технологии следует стремиться к тому, чтобы значительная доля причин несоответствия нормам была бы выявлена при выполнении измерений именно на станционной стороне с применением анализатора условий ЭМС, обеспечивающего **проведение основных измерений одним прибором**:

- анализатор спектра - спектры и уровни продольных и поперечных помех,
- мультиметр - сопротивление шлейфа и емкость пары,
- рефлектометр - локализация кабельных дефектов и оценка АЧХ рабочего затухания,
- частотные характеристики затухания - переходное, асимметрия жил, несогласованность,
- погонные параметры – коэффициент затухания, погонные емкость и сопротивление шлейфа,
- скоростной потенциал линий семейства ADSL - ADSL, ADSL2, ADSL2+, ADSL4.

Следует обратить внимание на следующие обстоятельства, ограничивающие эффективность измерений ADSL именно со станционной стороны:

- для асимметричных линий скорость нисходящего потока, принимаемого на абонентской стороне, многократно превышает скорость восходящего, принимаемого на станции;
- скоростная асимметрия обусловлена принятым распределением частотного ресурса - передача нисходящего потока осуществляется в более широкой полосе частот, чем передача восходящего потока; соотношение полос составляет 8...30, поэтому надежность ADSL во многом определяется характеристиками нисходящего потока;
- скорость нисходящего потока зависит от затухания сигнала и спектра помех; спектр помех складывается из переходных помех от параллельных цифровых линий и сторонних помех (индустриальных, например), которые, в свою очередь, в сильной степени зависят от экранирующих свойств кабеля и симметрии пары;
- снижение переходного затухания тем вероятнее, чем дальше от зоны технического обслуживания находится кабельный участок (магистральный участок обычно находится под более пристальным вниманием персонала, чем распределительный);
- таким образом, можно ожидать, что ограничение скорости будет определяться деградацией характеристик распределительного участка, абонентской коробки и абонентской проводки; то есть вероятность обнаружения причин снижения скорости возрастает при приближении к абонентскому окончанию;
- наконец, сама по себе методика оценки скорости приема на абонентской стороне линии, путем измерения помех на станционной стороне, некорректна по определению.

Поэтому возможность оценки скорости со станционной стороны должна рассматриваться как вспомогательная и **использование единственного анализатора целесообразно при его подключении на абонентской стороне**.

Корректные результаты могут быть получены при использовании двух анализаторов, размещаемых на двух концах линии и способных измерить ее параметры в обоих направлениях передачи (затухание, защищенность, скоростной потенциал). Для этого должны быть обеспечены **возможности управления удаленным анализатором и получения результатов измерений от удаленного**.

Анализатор должен иметь **режим «разовых» измерений и режим мониторинга**, так как только выполнением мониторинга помех, скорости или микроперерывов связи может быть выявлена природа случайных событий – наведение кратковременных помех или пропадание контакта.

Весьма удобным свойством прибора будет его способность, идентифицируя пару по сечению жил, **автоматически определить нормативы и осуществить нормирование измеряемой пары**. Это свойство предполагает наличие в анализаторе встроенных моделей оконечного оборудования и кабелей, а факт годности пары определяется одновременным соответствием нормам совокупности параметров пары. Так при проведении измерений одним прибором может быть реализован следующий алгоритм контроля параметров пары.

Алгоритм контроля параметров пары одним прибором		
Измеряемый параметр пары	Функция анализатора	Источник нормы
Физическая длина	Рефлектометр. $L = vT / 2$ $T$ - измеренная задержка отражения от удаленного конца; $v = c / \sqrt{\epsilon_{eff}} \approx 200$ м/мкс - скорость распространения; $c = 300$ м/мкс - скорость распространения в вакууме. Влияние изменения эффективной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{eff}$ изоляции жил ослаблено квадратным корнем, что позволяет считать скорость постоянной	Учетные данные оператора $L_n \pm 10\%$
Погонная емкость	Измеритель емкости. $C = C(1.02kHz) / L$ $C(1.02kHz)$ - емкость, измеренная на частоте 1,02 кГц (XX)	ОСТ 45.82-96; справочник А.С.Брискер Городские телефонные кабели, М.РиС,1991
Погонное сопротивление шлейфа	Измеритель сопротивления. $R = R_0 / L$ $R_0$ - измеренное сопротивление шлейфа (КЗ)	
Погонное затухание	Рефлектометр. $\alpha(300kHz) = A(300kHz) / L$ Сопоставлением форм посланного импульса и импульса, отраженного от XX, может быть получена АЧХ кабеля $A(f)$ . По значению коэффициента затухания $\alpha(300kHz)$ определяется диаметр сечения жил $D = D(\alpha(300kHz))$	$C_n = 45^{+30\%}_{-10\%}$ нФ/км $R_n = R_n(D) \pm 10\%$ $\alpha_n = \alpha_n(D) \pm 10\%$
Скоростной потенциал ADSL	Рефлектометр. $V = \frac{M}{\Delta F} \sum_{i_0}^{i_1} K_i$ - скоростной потенциал линии $K_i = \frac{R_i - \Delta R - 10}{3}$ - кратность модуляции в i-м подканале $R_i = S(f_i) - N(f_i)$ - частотная характеристика защищенности $S(f_i) = S_0(f_i) - A(f_i)$ - спектр сигнала на входе приемника $S_0(f_i)$ - номинальная спектральная плотность сигнала $N(f_i)$ - измеренный спектр шума на входе приемника	ITU-T G.992.x; ITU-T L.19; ITU-T G.996.1; справочник А.С.Брискер Городские телефонные кабели, М.РиС,1991 $V_n = V_n(D, L)$

**Дополнительные возможности** украсят любой анализатор:

- генератор шума для измерения запаса помехозащищенности оконечных устройств,
- возможность гибкого конфигурирования (настройка полосы частот анализа, уровня измерительных сигналов, состава измеряемых параметров, масок, норм),
- выполнение измерений в автоматическом режиме (Одной кнопкой) с предоставлением результатов в формате Норма/Ненорма,
- протоколирование результатов, накопление протоколов и передача их для долговременного хранения в компьютер.

Сценарий							Вых.-Есз
XX_Оперативно.scn							
На удаленном окончании обеспечить XX							
Однократное исполнение							
<b>Новый Открыть Сохранить + - Старт</b>							
Конфигурация	Ткфг	Ост	П	УдП	Результ	УдРезульт	
1_СпктрПомПа...	00:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-20.01 дБ		
2_жЕмкость_1кГ...	00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	---		
3_жDSLрефлкт2к...	00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ненорма		
4_СогласовПар...	00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Норма		
5_АсимметрПа...	00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.59 дБ		
Итог							
		ВЫПОЛНЕН			-20.01 дБ		
5_АсимметрПары.cfg							
Состояние: выполнена							

## Паспорт цифровой абонентской линии

Любая работа вдвойне эффективна, если ее результаты могут быть использованы и впоследствии. Если верить этому утверждению, то данные инсталляции и измерений линии следует документировать. Предлагаемая форма паспорта, предполагает, что программная реализация формирования базы паспортов может быть произвольной.

Оператор связи				Основание			
Обозначение пары	Станция			Дата и время			
	Абонент			Ф.И.О., отв.лица			
Учетные данные	Трасса			Тип каб.	Емкость, пар	Диам., мм	Длина, м
	1. Станционный участок (абонентский комплект - станционная сторона кросса)			T1=	Емк1=	D1=	L1=
	2. Магистральный участок (main cable: кросс - последний распределительный шкаф)			T2=	Емк2=	D2=	L2=
	3. Распределительный участок (distribution cable: распред.шкаф - распред.коробка)			T3=	Емк3=	D3=	L3=
4. Абонентская проводка (распределительная коробка - абонентская розетка)			T4=	Емк4=	D4=	L4=	
Эквивалентная линия	Тип кабеля			$T = \begin{cases} T2, & L2 > L3 \\ T3, & L3 > L2 \end{cases}$			
	Диаметр сечения токопроводящих жил, мм			$D = \begin{cases} D2, & L2 > L3 \\ D3, & L3 > L2 \end{cases}$			
	Длина, м			$L = L1 + L2 + L3 + L4$			
Цифровая линия	Исходные данные	Назначение цифровой линии		<input type="checkbox"/> Internet <input type="checkbox"/> VoD <input type="checkbox"/> IPTV <input type="checkbox"/> PSTN <input type="checkbox"/> _____			
		Тип оконечного оборудования		<input type="checkbox"/> SHDSL <input type="checkbox"/> SHDSL.bis	<input type="checkbox"/> ADSL up <input type="checkbox"/> ADSL2 up <input type="checkbox"/> ADSL2+ up <input type="checkbox"/> ADSL4 up	<input type="checkbox"/> ADSL down <input type="checkbox"/> ADSL2 down <input type="checkbox"/> ADSL2+ down <input type="checkbox"/> ADSL4 down	
		Наименование оконечного оборудования	Станция Абонент				
		Минимально необходим. скор. Vmin, кбит/с					
		Норма скорости Vn(D,L), кбит/с					
		Условие соответствия		Vmin < Vn(D,L)			
		Отметка соответствия					
Годность пары	Измерено	Скоростной потенциал V, кбит/с					
		Соотношение V/Vn(D,L)×100%, %					
		Условие соответствия		V / Vn(D,L)×100% > 100%			
		Отметка соответствия					
	Пара	Скорость распространения сигнала, м/мкс			Условие соответствия		Отм. соотв.
		Диаметр жил, мм			Диаметр=D		
		Длина линии, м			L × 0,90 ≤ Длина ≤ L × 1,10		
	Погонные параметры	Соотношение (Параметр-Норма)/Норма × 100%		Условие соответствия		Отм. соотв.	
		Погонное затухание, %		-10 ≤ (A-An)/An × 100% ≤ 10			
		Погонное сопротивление, %		-10 ≤ (R-Rn)/Rn × 100% ≤ 10			
		Погонная емкость, %		-10 ≤ (C-Cn)/Cn × 100% ≤ 35			
	Параметры ЭМС	Запас по ЧХ min(НормаСверху-Измерено, Измерено-НормаСнизу)		Условие соответствия		Отм. соотв.	
		ЧХ импеданса, Ом		≥ 0			
		ЧХ затухания асимметрии, дБ		≥ 0			
Спектр переходных помех, дБ		≥ 0					
Спектр поперечных помех, дБ		≥ 0					
Спектр продольных помех, дБ		≥ 0					
По мониторингу случайных событий (интервал 900 с)		Условие соответствия		Отм. соотв.			
Поперечные помехи: Макс.Шум,%		≤ 0					
Продольные помехи: Макс.Шум,%		≤ 0					
Счет перерывов: Мин.Сигн.,шт.		≤ 0					
Замечания	Дата	Ф.И.О., подпись ответствен. лица		Текст замечания			

## Итоги и перспективы

В настоящее время развитие сетей широкополосного абонентского доступа в нашей стране только начинается. Даже сотни тысяч установленных ADSL в продвинутых мегаполисах не показательны хотя бы потому, что реальные скорости доступа составляют лишь сотни килобит в секунду, а охват абонентов - около 10%.

И это в то время, когда, например, в некоторых странах Западной Европы охват абонентов сетями ADSL-доступа приближается к 100%, а услуги Triple Play и IPTV, эффективно обеспечиваемые на скоростях от 6000 кбит/с, доступны и востребованы абонентами.

Сети доступа не могут получить должного развития без внимательного отношения к вопросам их эксплуатационной надежности. Предлагаемый экономичный подход позволяет сделать это без привлечения существенных инвестиций на начальном этапе, однако его реализация, обеспечивая наведение элементарного порядка и учета, позволит использовать существующую «медную» сеть доступа для решения современных задач.

Технические подробности и детальные описания возможных к применению в поставленной задаче средств и методов представлены на официальной странице компании «Аналитик-ТС» [www.analytic.ru](http://www.analytic.ru) и могут быть использованы операторами связи при разработке нормативных документов уровня стандарта предприятия.

Так, например, специалистами гендирекции ОАО «ЮТК» разработана и утверждена «Временная инструкция по тестированию пар медножильных кабелей на сети абонентского доступа для предоставления широкополосного доступа по технологии xDSL». В инструкции (рис. 9) сведены и обобщены теоретические и экономические аспекты процесса развертывания сети цифрового доступа. Материалы инструкции отработаны на исходных данных, полученных филиалами и структурными подразделениями ОАО «ЮТК», при развертывании и эксплуатации сетей широкополосного абонентского доступа.

К сожалению, в России опыт ЮТК по созданию норм широкополосного доступа уровня стандарта предприятия, едва ли не уникален. Вызывает недоумение сочетание изобилия упоминаний об эффективности сетей широкополосного доступа и отсутствия необходимых нормативных документов. Это тем более странно, что наши белорусские коллеги уже год применяют соответствующие национальные стандарты. Автор предлагает материал данной статьи как скромный вклад в разработку российских стандартов широкополосного доступа уровня предприятия или отрасли и выражает благодарность коллегам, чей опыт обеспечил получение использованных в статье результатов:

*Бирюков А.В.* МГТС, Москва  
*Дудко С.А.* Гипросвязь, Минск  
*Жаренко Д.Б.* ЮТК, Краснодар  
*Кайзер Л.И.* ЛОНИИС, С-Петербург  
*Кислицын П.Н.* Анапский районный узел связи, Анапа  
*Комник В.А.* Электрокабель, Кольчугино  
*Копылов Д.Ю.* АИСТ, Тольятти  
*Ляховецкий Л.М.* ОНИИС, Одесса  
*Некрасов А.Н.* Самарская кабельная компания, Самара  
*Парфенов Ю.А.* ЛОНИИС, С-Петербург  
*Рысин Л.Г.* Эликс-Кабель, Реутов  
*Седов Сергей* СотрТек, Москва  
*Снегов А.Д.* МТУСИ, Москва  
*Тарасов Н.И.* ОНИИС, Одесса  
*Топорков Ф.В.* Одескабель, Одесса  
*Чернова Ольга* НАТЕКС, Москва  
*Щербаков А.Ю.* КОМСТАР-Объединенные ТелеСистемы, Москва

