

# Анализатор систем передачи и кабелей связи AnCom A-7

## - неочевидные возможности

Кочеров А.В., Главный метролог ООО «Аналитик-ТС»  
+7(495)775-60-11, andrey@analytic.ru

Вариант статьи опубликован в журнале «Электросвязь» №2 2006

*В статье представлены сведения о широких измерительных возможностях анализатора систем передачи и кабелей связи AnCom A-7, необходимость которых может не представляться очевидной его потенциальному пользователю. Автор стремился показать, как применение анализатора AnCom A-7 открывает новые горизонты при выполнении прикладных исследований, нормировании, создании и эксплуатации цифровых линий абонентского доступа.*

### Введение

Развитие современных сетей доступа, основанных на цифровых абонентских линиях (xDSL), в настоящее время происходит преимущественно с использованием существующей абонентской телефонной сети, параметры которой не нормированы в необходимой полосе частот.

В ряде случаев сеть модернизируется путем прокладки новых кабелей, к техническим характеристикам которых предъявляются более жесткие требования, чем ранее.

Однако, в большинстве случаев оператор связи стремится, не модернизируя абонентскую сеть, применить такое оконечное оборудование (см. табл.1), которое позволит ему предоставлять услуги на современном уровне при минимальных затратах.

Таблица 1

Одноканальная симметричная передача по одной паре SHDSL (G.991.2)		
Максимальный уровень $P_{max}$ , дБм	+13,5	
Вид модуляции	16-TCPAM	32-TCPAM
Кратность модуляции $K$	3	4
Скорость передачи $V$ , кбит/с	192...3840, $\Delta=8$	768...5696, $\Delta=8$
Минимальная защищенность $R_{min}$ , дБ	24	27
Полоса частот $f_0...f_1$ , кГц	$0...(V+8)/2K$	
Многоканальная асимметричная передача по одной паре ADSL2+ (G.992.5)		
Шаг гармоник DMT, кГц	4,3125	
Скорость модуляции, кбод	4,0000	
Направление передачи	Upstream	Downstream (non-overlapped spectrum)
Максимальный уровень $P_{max}$ , дБм	+12,5	+20,4
Полоса частот $f_0...f_1$ , кГц	25,875...138	138...2208
Максимальная кратность модуляции $K_{max}$	$\geq 9$	$\geq 12$
Максимальная скорость передачи $V_{max}$ , кбит/с	$\geq 936$	$\geq 23040$
Необходимая помехозащищенность при минимальной кратности модуляции и заданном запасе $R_{min}(K=1; SNR\ Margin=6dB)$ , дБ	15	15

Драматичность ситуации усиливается постоянным ростом максимальной скорости доступа, обеспечиваемой оконечным оборудованием, и стремлением операторов связи предложить пользователям услуги, обусловленные наличием постоянно растущего скоростного потенциала этого оборудования (VoD и пр.). При этом зачастую не учитывается ограничение скорости электрическими характеристиками медных кабелей.

Таким образом, существуют следующие потребности, порождающие соответствующие измерительные задачи:

- обеспечение высоких и стабильных характеристик кабелей связи при их производстве,
- тестирование оконечного оборудования, появление новых образцов которого происходит с калейдоскопической быстротой,
- обеспечение устойчивой работы цифровых абонентских линий, создаваемых в существующих многопарных кабелях.

Решение указанных задач предполагает наличие соответствующей нормативной базы, в основу которой представляется необходимым положить достижение цели обеспечения эксплуатационной надежности абонентских цифровых линий. Причем надежность должна быть обеспечена в процессах начального развертывания и последующего развития сетей цифрового абонентского доступа, то есть в условиях постоянного увеличения:

- коэффициента цифрового уплотнения многопарных кабелей;
- скорости цифровых линий;
- радиусов зон предоставления услуг с гарантированным качеством.

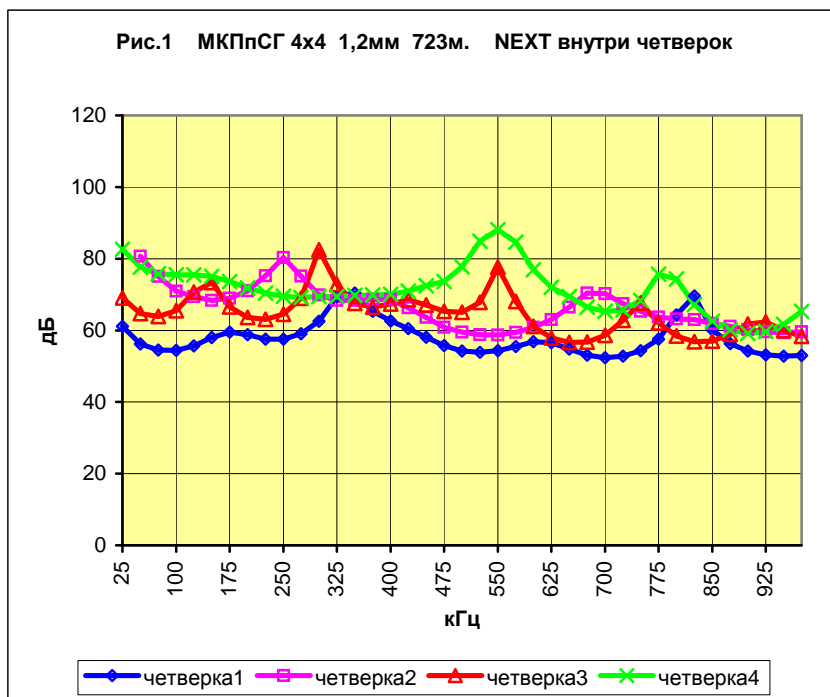
Наиболее емким показателем эксплуатационной надежности цифровой линии известного типа является ее ЗАПАС ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ на заданной скорости передачи. Тип преопередатчика и скорость определяют необходимую ширину полосы частот и требования к рабочему затуханию и защищенности (сигнал/шум) в этой полосе [1]. Стремление к обеспечению повышения защищенности обуславливает необходимость разработки соответствующих нормативов, которые должны определять пределы переходного затухания, однородности и асимметрии направляющих систем.

Рассмотрим конкретные измерительные задачи и их особенности, выявление и учет которых способен обеспечить анализатор систем передачи и кабелей связи AnCom A-7.

## Измерения на кабельных заводах

Основная задача, решению которой уделяется наибольшее внимание при производстве современных кабелей связи, заключается в увеличении переходного затухания на ближнем конце и защищенности от переходных влияний на дальнем конце кабеля.

Практика нормирования определяет требования по указанным параметрам лишь на одной-двух фиксированных частотах (например, 250 и 550 кГц). При проведении же испытаний образцов кабельной продукции частотные характеристики (ЧХ) переходного затухания могут быть существенно неравномерными – до 20 дБ и более.



При поведении контрольных измерений обычно согласуют только участвующие в измерении две пары. Остальные пары находятся в режиме холостого хода (ХХ), что и является причиной неравномерности характеристик переходного затухания, например (см. рис.1), при измерении перехода на ближнем конце:

- измерительный сигнал переходит на свободные (ненагруженные) пары,
- сигнал пробегает до конца кабеля без существенного ослабления (рабочее затухание обычно много меньше переходного) и, полностью отразившись от ХХ на дальнем конце, возвращается на ближний и переходит на подверженную влиянию пару;
- из-за разности фаз перешедшего на подверженную влиянию пару сигнала непосредственно и сигнала, перешедшего после выполнения двойного пробега, имеет место биение ЧХ.

Неприятность состоит именно в том, что конкретное положение минимумов и максимумов ЧХ затухания определяется в основном длиной конкретного образца кабеля. Практика проведения измерений лишь на конкретных частотах не позволяет увидеть цельную картину происходящего и, следовательно, может привести или к пропуску негодной (на измерительной частоте - максимум затухания) или к выбраковке годной (на измерительной частоте - минимум) продукции. Применение анализатора AnCom A-7, посредством которого получены представленные характеристики, не позволит сделать таких грубых ошибок в работе заводского ОТК.

Однако только лишь введение согласованных нагрузок на всех парах не улучшит характеристики кабеля и не обеспечит их монотонный характер. Рис.2 представляет ЧХ переходного затухания на ближнем конце кабеля со всеми согласованными парами (график) и с парами, несогласованными на дальнем конце (маска-сверху).

Возможная существенная неравномерность характеристики переходного затухания, демонстрируемая тем же Рис.2, практически обязывает производителей нормировать кабельную продукцию не на дискретных частотах, а в диапазоне частот предполагаемого использования.

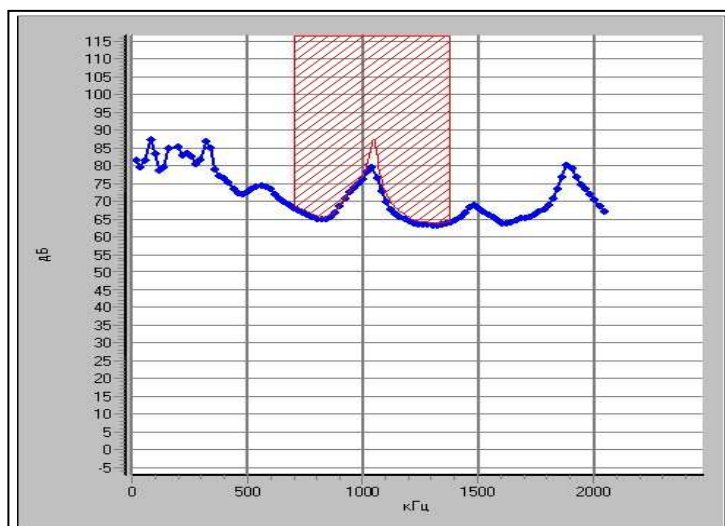


Рис.2 ГВПВЭ 2x2 0,64мм 1000м. NEXT между парами



Рис.3 МКПп 4x4 1,2мм 499 м. Затухание асимметрии

Одной из причин снижения переходного затухания является недостаточная балансировка пары, что может быть вызвано существенной продольной неоднородностью изоляции жил. Анализатор AnCom A-7, измеряя ЧХ затухания асимметрии жил пары по отношению к экрану (см. рис.3), может быть использован для контроля равномерности наложения изоляции жил при подготовке производства и контроле кабельной продукции.

## Измерения при испытаниях оконечного оборудования

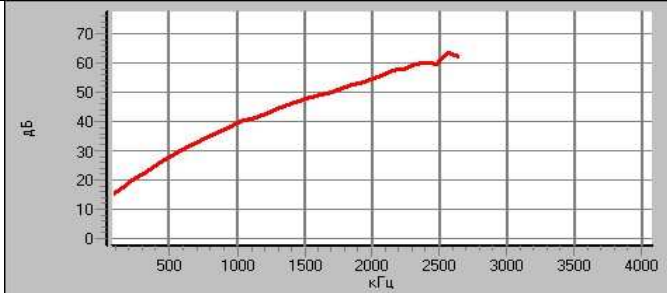
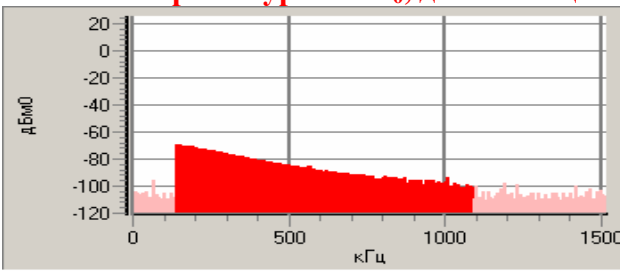
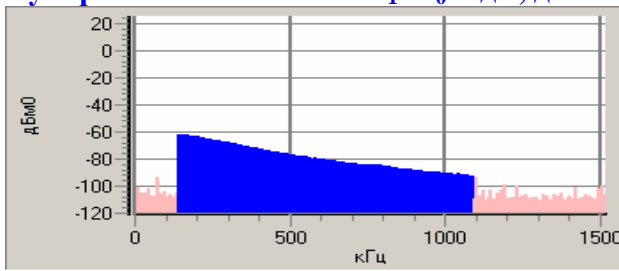
Безусловный интерес для оператора электросвязи представляет информация о фактических характеристиках помехозащищенности применяемого оконечного оборудования. Для выявления этих свойств следовало бы применять соответствующие кабельные имитаторы, способные инструментально воспроизводить характеристики кабельных линий различной емкости, типа, диаметров жил, имитировать отводы и помехи от различных источников. Такие приборы, к сожалению, весьма дороги и, вероятно, по этой причине автору не известны случаи их применения в странах СНГ.

Тем не менее, оператор электросвязи 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,
- применение магазинов затухания и RLC-моделей длинных линий недопустимо,
- спектральная плотность помех на окончаниях пары не должна превышать уровень минус 140 дБм/Гц (минус 80 дБм в полосе 1000 кГц) – модель помех AWGN-140.

Для инструментально воспроизведения переходных помех, напротив, целесообразно применение магазинов затухания и сосредоточенных RLC-моделей, но недопустимо использование передаточных характеристик переходного затухания между реальными парами.

Таблица 2

Паспорт испытательной линии ТП 0,5 мм	
Обозначение пары	АТС Гр470/плинт4/пара0 – Абонент Гр470/плинт4/пара0
Сопrotивление шлейфа=499 Ом	 <p>ЧХ рабочего затухания</p>
Длина по сопротивлению шлейфа 499 Ом/(2*90 Ом/км)=2,77 км	
Емкость=149,8 нФ	
<b>Помехи опорного уровня <math>P_0</math>, дБм/10кГц</b>	<b>Субкритические помехи <math>P_1=P_0+8</math>дБ, дБм/10кГц</b>
	
<b>Помехи формируются дополнительным анализатором AnCom A-7</b>	
Линейная скорость downstream ADSL (АТС==>Абонент) <b>9050 кбит/с</b>	Линейная скорость downstream ADSL (АТС==>Абонент) <b>7120 кбит/с</b>

Для последующего воспроизведения условий испытаний после монтажа схемы следует провести ее паспортизацию, что может быть осуществлено посредством анализаторов AnCom A-7 (см. табл.2). Анализатор AnCom A-7 способен формировать и сигнал помехи необходимого уровня и спектрального состава. Он же, будучи высокоомно подключенным к выходу тестируемого оборудования, способен определить спектр и уровень выходных сигналов.

Целью проведения испытаний может быть измерение скоростных характеристик окончного оборудования в зависимости от длины кабеля и помеховой обстановки на его окончаниях. Так, например, можно определить величины фактических запасов помехозащищенности при условно типовом подключении абонента с применением кабеля ТП 0,5 мм 3 км (см. табл.3):

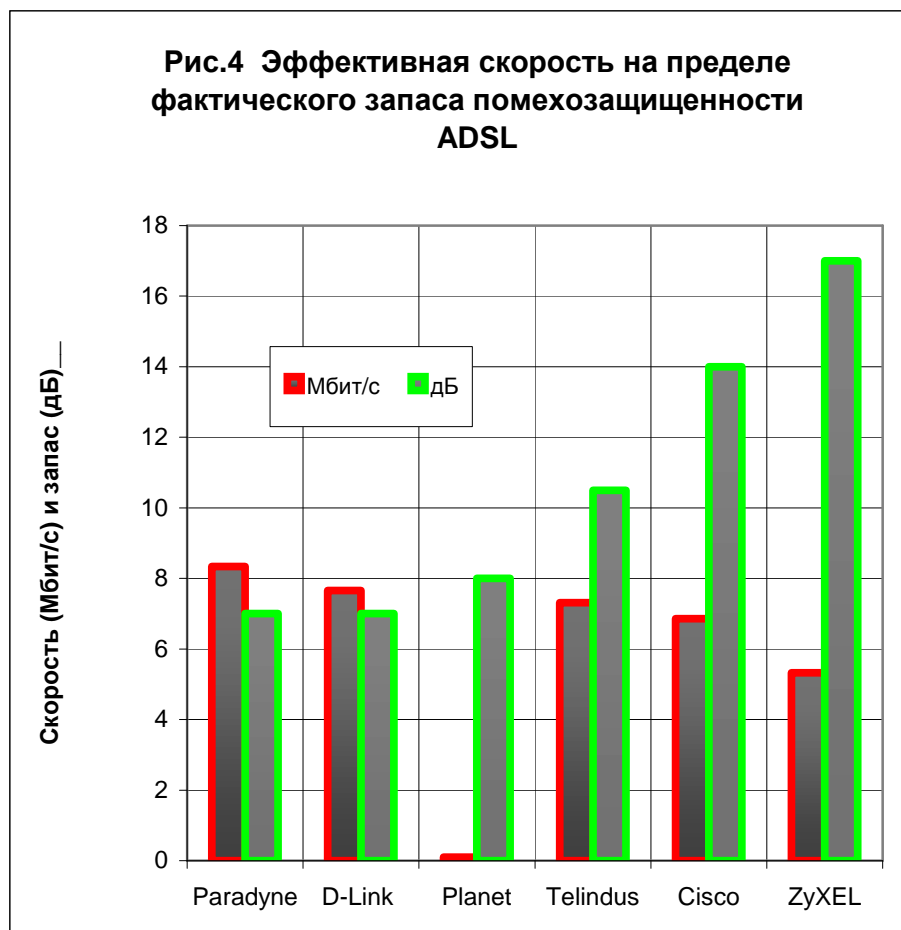
- у ряда испытанных устройств обнаружено существенное несоответствие фактического запаса помехозащищенности заданному на DSLAM значению (SNR Margin=6 dB);
- при увеличении запаса помехозащищенности линейная скорость снижается в соответствии с графиком, приведенном на Рис.4;
- величина фактического запаса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

Таблица 3

Испытания абонентских окончных устройств ADSL на линии ТП 0,5 мм 3 км при заданном значении запаса помехозащищенности SNR Margin=6 dB							
Модель окончного оборудования на стороне абонента	Измеренный выходной уровень, дБм		После установления соединения в условиях действия помех опорного уровня $P_0$		При субкритическом уровне помех $P_1$		Измеренный фактический запас помехозащищенности, дБ
	Up-stream	Down-stream	Показания окончного оборудования		Измеренная эффективная скорость передачи, кбит/с		
			Запас помехозащищенности, дБ	Линейная скорость, кбит/с			
Paradyne 6212-A2-302 ADSL2+ CPE Bridge/Router Firmware 2.1.03	+12,0	+19,1	6,0	9696	8340	8340	7,0
D-Link DSL-504T ADSL Router Firmware V2.00B01T01.EU.200506	+11,5	+18,1	6,0	8928	7690	7660	7,0
Planet ADE-4300A ADSL 2/2+ VPN Firewall Router Firmware 4.10.06	+11,8	+18,0	Нет данных	9248	7510	0	8,0
Telindus 1221 ADSL Router Firmware 10	+12,0	+18,9	9,0	8672	7470	7310	10,5
Cisco 800 Series	+12,8	+19,8	12,0	8064	6980	6860	14,0
ZyXEL Prestige 660H-61 Firmware V3.40 (PE.8)	+11,2	+17,3	16,0	6144	5330	5330	17,0
<p>Методика испытаний:</p> <p>(1) после успешной установки соединения в условиях действия помех опорного уровня <math>P_0</math> измеряются уровни линейных сигналов и определяется эффективная скорость передачи,</p> <p>(2) уровень помех увеличивается до тех пор, пока ADSL-приемопередатчиками не будет инициирован Retrain; этот уровень помех считается критическим;</p> <p>(3) измерение эффективной скорости производится на субкритическом уровне <math>P_1</math>, величина которого на 1 дБ ниже критического (работа устойчива, без запроса Retrain);</p> <p>(4) фактический запас помехозащищенности определяется разностью уровней <math>P_1-P_0</math>.</p>							

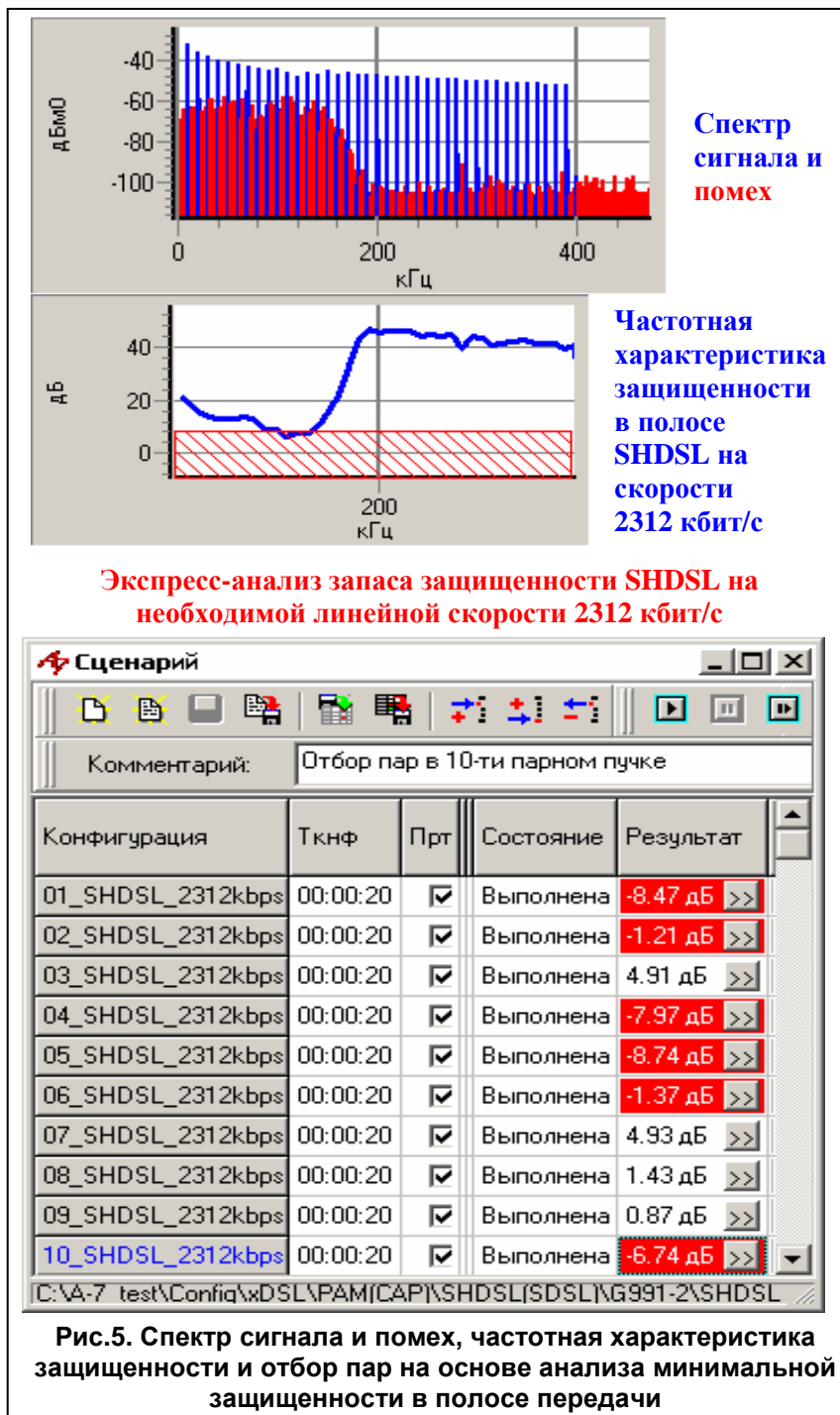
При испытаниях выявлено некорректное поведение одного из устройств, состоящее в том, что при увеличении уровня помех эффективная скорость падает до нуля, но при этом не инициируется процедура переустановки соединения Retrain - понижение скорости с восстановлением заданного запаса помехозащищенности.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



## Измерения при установке цифровых абонентских линий

К настоящему времени xDSL-протоколы преодолели в своем развитии этап становления и оформлены в виде рекомендаций ITU-T, стандартов ANSI и ETSI. В тексте каждого подобного документа содержатся сведения о тестовых схемах, методах и условиях испытаний, что позволяет



обеспечить совместимость вновь разрабатываемых систем цифровизации медного кабеля с ранее созданными. Таким образом, характеристики любого стандартного xDSL-оборудования в настоящее время нормированы (и испытания скоростных характеристик - табл.3 - реального оконечного оборудования подтверждают этот факт) и поэтому должны:

- обеспечивать работу при заданных условиях передачи (определяется типом и длиной кабеля),
- выдерживать заданные в стандартах воздействия (шумы от различных источников) и
- не создавать помех выше заданных пределов (по уровню и спектру формируемых сигналов).

Нормирование оконечного xDSL-оборудования позволяет установить необходимый для его нормальной работы на заявленной паре запас помехозащищенности в полосе частот, соответствующей необходимой скорости (см. рис.5).

Рабочее затухание, определяющее форму спектра полезного сигнала на входе приемника, обычно возрастает с увеличением частоты.

Спектр помех, являясь результатом взаимодействия и суммирования нескольких

сигналов и прежде всего переходных помех от цифровых систем на соседних парах, может иметь вовсе немонотонный характер. Следовательно, и разность спектров принимаемого полезного сигнала и помех – частотная характеристика помехозащищенности – может быть крайне неравномерной, что снижает информативность результатов измерения и нормирования рабочего затухания и помехозащищенности на фиксированной частоте.

Частотная характеристика защищенности передачи отражает и влияние затухания, и влияние шумов и переходных помех от любых источников. Поэтому возможность анализа защищенности в каждой точке используемой полосы, обеспечиваемая анализатором AnCom A-7, позволяет быстро (что важнее всего при выборе пары) оценить скоростной потенциал линии связи для многоканальных систем передачи (ADSL) или запас помехозащищенности для одноканальных систем (SHDSL).

## Измерения при поиске неисправностей кабеля

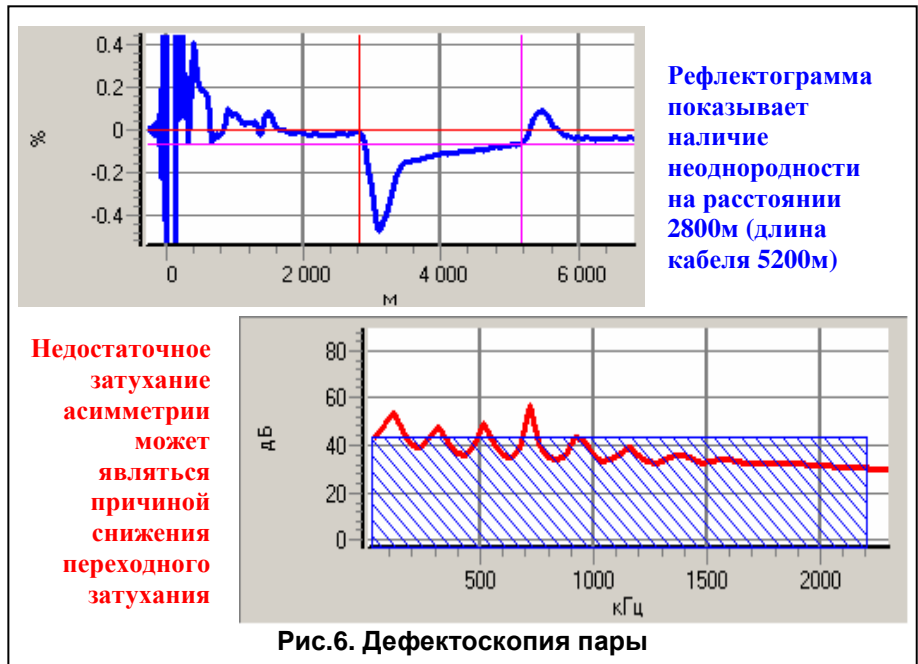
Экспресс-анализ кабеля позволяет для известного типа линии выбрать наилучшую пару. Выбор производится по количественному критерию – запасу помехозащищенности, но не позволяет указать причины недостаточного запаса пары или кабеля в целом. Применение анализатора AnCom A-7 способствует выяснению этих причин.

Кабель как «первовещество» для цифровизации необходимо проверить по сопротивлению и емкости и определить дефекты, используя рефлектометр (см. рис.б):

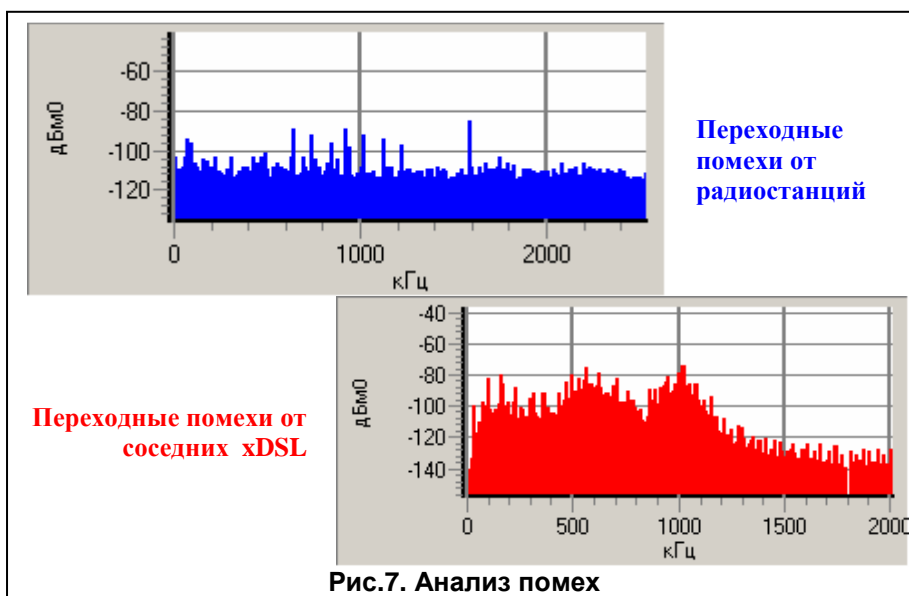
- заявленные пары не должны быть «разбитыми»;
- пары не должны содержать отводов и ранее возможно установленных катушек Пупина;
- необходимо устранить замкания и различия волнового сопротивления кабельных участков.

Далее следует осуществить контроль балансировки пары, причем не по постоянному току и не на одной частоте (даже если эта частота «полутактовая») – баланс должен быть обеспечен в диапазоне частот применения пары, что способствует снижению переходных помех.

То есть пара в конце концов должна характеризоваться только длиной (неизбежное зло), диаметром токопроводящих жил и диэлектрической проницаемостью изоляции жил - параметрами совокупно определяющими частотные характеристики рабочего затухания и полного сопротивления. Еще одним показателем вменяемости измеряемой пары является соответствие паспортной длины кабеля ее оценке, выполненной по сопротивлению шлейфа, по емкости, по затуханию и по рефлектограмме.



## Измерение условий ЭМС и обеспечение эксплуатационной надежности цифровых линий



Помехи на концах кабеля способны испортить все дело – см. рис.7. При первых инсталляциях xDSL-оборудования борьба идет с низкочастотными помехами от промышленной сети и аналоговой телефонии и помехами от радиостанций в диапазоне ДВ (100...400 кГц) и СВ (400...2000 кГц).

В процессе начальной установки и последующего развития сетей цифрового абонентского доступа, следует исходить из того, что:

- цифровизация любой



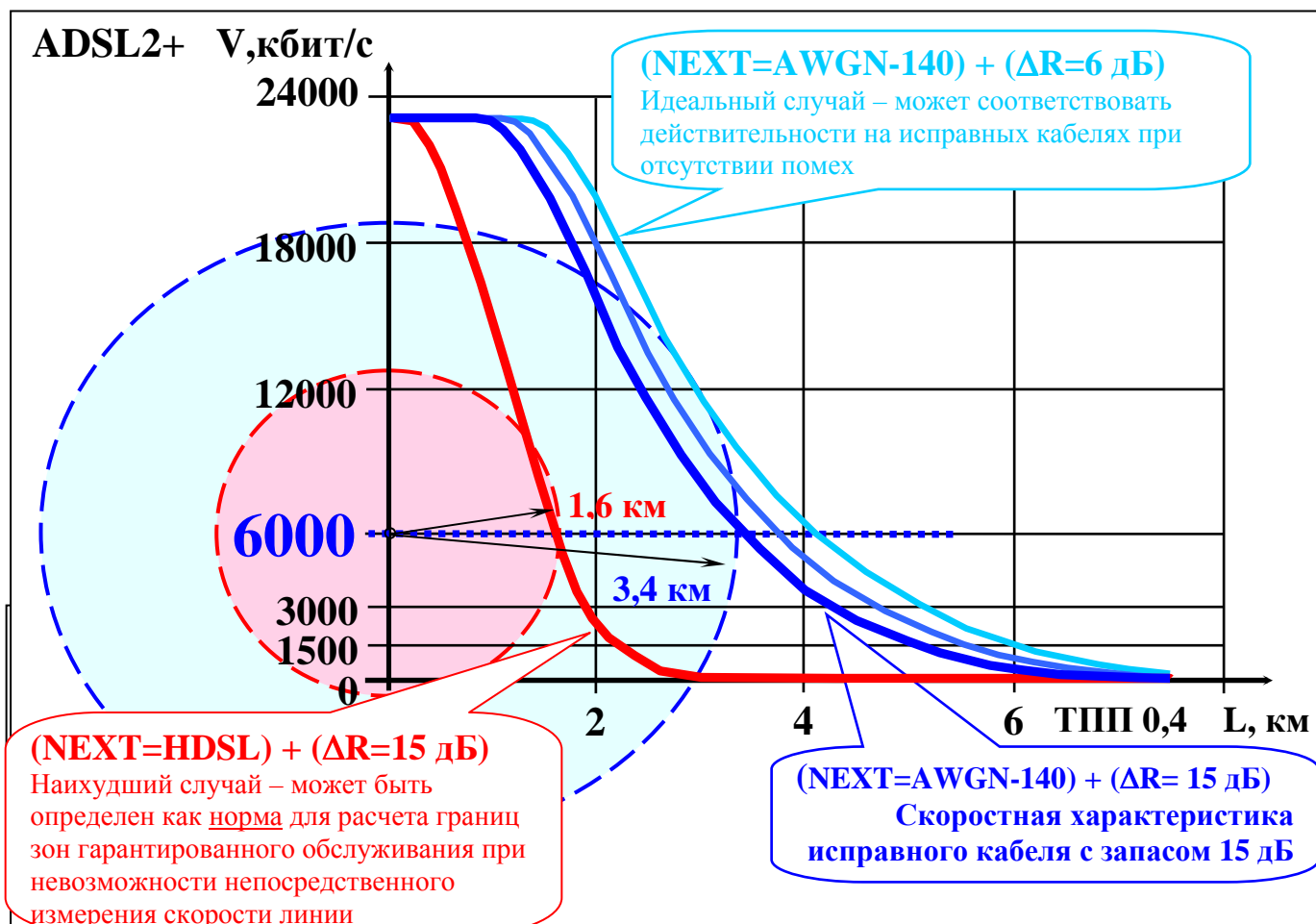
последующей пары многопарного кабеля не должна приводить к критическому снижению запаса помехозащищенности уже эксплуатируемых линий;

- выбор нормативного значения запаса помехозащищенности xDSL должен учитывать не только возможную деградацию характеристик кабеля из-за климатических воздействий, естественного старения и т.д., но так же процесс последующего введения в кабель дополнительных цифровых линий.

Анализ измеренных частотных характеристик пары, заявленной для установки цифровой линии, позволяет определить запас помехозащищенности  $\Delta R$ , причем этот запас:

- вбирает в себя данные о типе приемопередатчиков (ширина используемой полосы частот, уровни сигналов, возможные кратности модуляции, необходимая скорость),
- учитывает характеристики кабельной линии (протекание частотных характеристик передачи, наличие потерь на неоднородностях) и
- содержит сведения о спектре помех от всех действующих источников.

Любой другой упрощенный подход - оценка запаса по длине линии, затуханию или сопротивлению шлейфа - предполагает введение в модель априорной информации, а его надежность обеспечивается только внесением дополнительного запаса, зависящего от изученности статистических закономерностей сочетания искажений частотных характеристик и спектров помех. Как будет показано ниже, реальная скорость линии может быть в разы выше такой оценки. Выполнение измерений столь грубыми методами практически лишено смысла, поскольку те же результаты можно получить, используя лишь паспортные данные кабеля.



**Рис.8. Скоростные характеристики ADSL2+ и границы зон обслуживания**

Именно поэтому запас помехозащищенности может быть использован как параметр, определяющий эксплуатационную надежность цифровой линии, и в настоящее время можно рекомендовать следующие значения минимальных запасов  $\Delta R_{\min}$  (SNR Margin) проектируемых цифровых линий абонентского доступа:

- 15 дБ при уплотнении пары в пучке, в котором еще нет цифровых линий;

- 10 дБ при уплотнении пары в пучке, уже имеющем хотя бы одну цифровую линию;
- 6 дБ при уплотнении однопарных кабелей, или «цифровых» (кабели с переходным затуханием не менее 62 дБ в диапазоне частот цифровой линии) малопарных кабелей.

На рис.8 показаны скоростные характеристики исправного и незагруженного цифровыми линиями кабеля для трех значений запаса помехозащищенности - 6, 10, и 15 дБ. Следует обратить внимание на то, что задание запаса  $\Delta R$  равного 15 дБ (казалось бы, весьма значительной величины) не приводит к необходимости чрезмерного ограничения скорости соединения. Обычно по умолчанию параметр SNR Margin=6 dB, тогда при длине линии ADSL2+ равной 2 км увеличение запаса с 6 до 15 дБ понизит скорость лишь с 20000 до 16000 кбит/с (минус 20%).

В отсутствие возможности проведения измерения фактической величины запаса помехозащищенности следует нормировать радиусы зон  $L$ , км гарантированного обслуживания на необходимой скорости  $V$ , кбит/с, исходя из наихудшего из возможных случаев - действие максимальных помех (модель ETSI B – переход от HDSL) при установке в кабеле первой цифровой линии (запас  $\Delta R=15$  дБ). Избрание такого подхода гарантирует спокойствие оператора (установленные линии будут работать устойчиво), но приведет к существенному ограничению радиуса зон обслуживания или скорости соединения, чему можно привести следующие примеры, иллюстрируемые рис.8.

**Пример 1.** Ограничение радиуса зон обслуживания ADSL2+ на заданной скорости. Радиусы зон для скорости 6000 кбит/с составят 1,6 км и 3,4 км соответственно для наихудшего и оптимального случаев. Тогда площади этих зон (и, следовательно, возможные количества абонентов) будут соотноситься уже как 22 к 100.

**Пример 2.** Ограничение скорости ADSL2+ в целях обеспечения гарантированного качества обслуживания. При длине линии 2 км скорости для наихудшего и оптимального случаев составят 2500 и 16000 кбит/с. То есть скорость соединения должна быть снижена в 6,4 раза (минус 84%).

Приведенные примеры показывают, что нормирование по наихудшему случаю и экономия на проведении измерений применительно к ADSL2+ может обернуться:

- сокращением потенциальной клиентской базы на 78% или
- более чем 6-ти кратным занижением скорости.

Ответ на вопрос о возможности цифрового уплотнения заявленной пары на требуемой скорости  $V$  должен быть получен сопоставлением величины измеренного запаса с нормативом  $\Delta R > \Delta R_{\min}$ . Наличие нормированного запаса помехозащищенности линии на требуемой скорости обеспечит устойчивость ее работы при последующем введении в многопарный кабель дополнительных цифровых линий.

Перечисленные и аналогичные измерительные задачи, возникающие при производстве и цифровом уплотнении кабелей связи, систем передачи, каналов тональной частоты и других линий, трактов и каналов связи, решаются применением анализатора систем передачи и кабелей связи AnCom A-7. Представленные в статье результаты получены при проведении измерений с использованием продукции и оборудования следующих фирм: ЛОНИИС, НТЦ «Натекс», Одесский НИИ связи, ОАО «Одескабель», ЗАО «Самарская кабельная компания», ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод», ООО «ЭЛИКС-КАБЕЛЬ», «CompTek», «COMSTAR united telesystems», ИЦ УТР МГТС.

## Литература

- [1] Кочеров А.В. Ограничение скоростного потенциала асимметричной цифровой абонентской линии электрическими характеристиками медных кабелей. Электросвязь. 11/2004