

ПЕРВАЯ МИЛЯ – ТОЧКА ОТСЧЕТА

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЭССЕ

Широкополосный доступ – это технологии ADSL/ADSL2+. Этому направлению развития – "первой миле" – посвящено в последнее время достаточно много публикаций в фундаментальной [1, 2] и периодической [3–8] литературе.

В 2007 году эта проблема была рассмотрена на следующих научно-технических семинарах и конференциях:

1. Семинар-совещание "Широкополосный доступ и реализация его возможностей – актуальная задача операторов связи", организованное Министерством информационных технологий и связи РФ, Федеральным агентством связи и Федеральной службой по надзору в сфере связи.

2. Традиционные научно-технические конференции "Кабели и линии связи", проводимые ФГУП "ЛОНИИС", НОУ-УВЦ "Лентелефонстрой", секцией "Телефония" Санкт-Петербургского НТОРЭС им. А.С. Попова:

- XXIV конференция "Волоконно-оптические системы и сети широкополосного доступа" (июль, пос. Пушкинские Горы, Псковская обл.);
- XXV конференция "Системный подход к проектированию, строительству и эксплуатации линий: цифровых сетей широкополосного доступа ЕСЭ; цифровых ВЧ-линий сетей электропередач; цифровых сетей железнодорожного транспорта" (сентябрь, Анапа, Краснодарский край).

В мае 2007 года был проведен день Телеком-Форума, посвященный вопросам совершенствования законодательства в области информационных технологий и связи. В частности, рассматривался вопрос о подготовке пакета документов по обеспечению недискриминального доступа к сетям электросвязи. В основу принимается введение нового правового института – "ресурса связи". Под этим термином понимается совокупность неиспользуемых оператором связи средств

связи и линий связи, мест в линейно-кабельных сооружениях и мощностей инженерных инфраструктур [9].

Вопросу поиска "ресурса" кабельных линий местной связи, находящейся в эксплуатации, посвящена эта статья. Основные критерии методов определения "ресурса связи" следующие:

- определение максимальных возможностей использования кабельных линий местной связи с применением оборудования симметричных и асимметричных технологий DSL;
- обеспечение условий электромагнитной совместимости и информационной безопасности;
- получение максимального технико-экономического эффекта.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящей статье хотелось бы представить наше видение решения указанной проблемы с учетом структур построения сетей местной связи, их технического состояния, оборудования DSL, применяемого для создания широкополосного доступа.

Акцент делаем на "первой миле" кабельных линий местной связи.

Возникает терминологическая дискуссия: "последняя" или "первая миля". Это как считать.

Если структурно (согласно принятой классификации местных сетей) участок АТС – РШ (распределительный шкаф) называют магистральным участком, то линию от РШ до РК (распределительная коробка) называют распределительной

ОБ АВТОРЕ

Парфенов Юрий Алексеевич – д.т.н., профессор, заслуженный работник связи России, академик Петровской академии наук и искусств. Линейно-кабельными сооружениями занимается с 1946 года, автор 27 книг и более 150 научных статей и изобретений. В марте отметил 80-летие на посту начальника научно-исследовательской кабельной лаборатории ЛОНИИС, которую возглавляет с 1963 года. 19 марта выступил на ежегодной конференции СТЛКС-2008 с двухчасовым докладом о состоянии и перспективах кабельных линий в России.

абонентской линией. Этот участок стали называть жаргонным выражением "последняя миля".

Почему "последняя"? Может быть потому, что она находится на самом последнем концевом участке магистральной линии ГТС, а может быть потому, что ее эксплуатация (и измерение) происходит в последнюю очередь (или по заявке потребителя). Напомним, что паспортизация линий начинается из кросса и оканчивается в распределительной коробке (ПК).

Условия электромагнитной совместимости (отсутствие взаимных влияний между низкочастотными телефонными цепями линий местной связи) определяются величиной переходного затухания на ближнем конце (69,5 дБ на частоте 800/1000 Гц), измеренного в кроссе.

Возможность использования существующих сетей для передачи дискретной информации с малыми скоростями определяется в соответствии с ОСТ 45.81-97 "Совместимость электромагнитных цепей передачи дискретных и аналоговых сигналов местных сетей электросвязи". Эксплуатационные нормы установлены также на частоте 800 Гц. Эксплуатация их осуществляется в соответствии с ОСТ 45.82-96 "Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами".

Электрические характеристики кабельных линий нормируются исходя из требований к низкочастотным телефонным каналам, т.е. к "физическим" линиям ГТС. Фактически это низкочастотная среда передачи и, естественно, точкой отсчета в этом случае является АТС. Все измерения электрических характеристик линий проводятся из кросса, поэтому там сосредоточена вся измерительная техника.

В нашей терминологии это "первый" участок, т.е. "первая миля". Он является главным участком, обеспечивающим электромагнитную совместимость, информационную безопасность и влияющим на качество связи. Поэтому мы говорим, что "первая миля" – это точка отсчета.

Вернемся к нашим традиционным понятиям и технологиям эксплуатации линий ГТС и их измерениям. Исторически

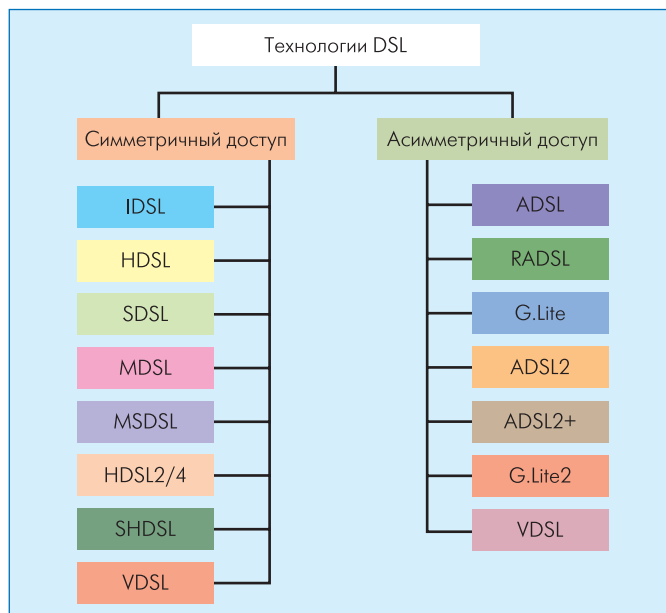


Рис.1 Классификация технологий цифрового уплотнения абонентских линий

линии ГТС – это линии из кабелей с медными жилами, обеспечивающие функционирование низкочастотной телефонной связи.

Наше воззрение на сети местной связи поменялось ровно на 180 градусов. Это уже "цифровые" сети. Система организации связи иная, а диапазон частот до 2,2 МГц.

СТРУКТУРЫ СЕТИ DSL

Рассмотрим две структуры организации "цифровых" линий [1, 2].

Технологии симметричного доступа DSL

Можно выделить восемь технологий (рис.1):

- IDSL (ISDN DSL) – нестандартизованная технология передачи данных по одной медной паре со скоростью до 128 Кбит/с. Используется метод линейного кодирования 2B1Q с эхокомпенсацией. Используются также модемы или терминальные адаптеры, что и в сетях ISDN. Технология IDSL в отличие от ISDN поддерживает режим постоянного соединения с провайдером. Может применяться для организации одновременной передачи речи и данных по одной витой паре на большие расстояния (до 40 км).
- HDSL (High-bit-rate DSL) – технология передачи потоков T1 (1544 Кбит/с) по двум витым парам (стандарт ANSI – T1.TR.28) или потоков E1 (2048 Кбит/с) по трем витым парам (стандарт ETSI – TS 101 135). В технологии используется метод линейного кодирования 2B1Q или QAM (QAM-8 – QAM-256). Системы передачи на базе технологии HDSL имеют большую длину регенерационного участка и поэтому находят широкое применение при организации и модернизации трактов E1 и T1, объединении сегментов LAN, организации выносов и т.п. Технология HDSL

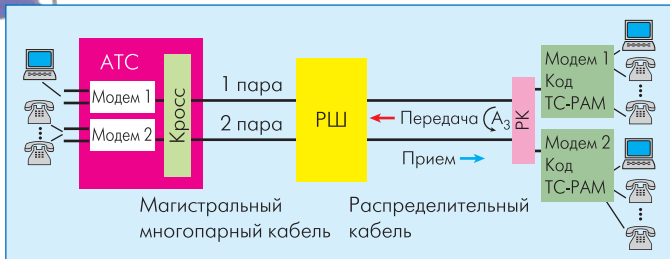


Рис.2 Структура построения сети доступа симметричных DSL, код TC-PAM

стандартизована также ITU-T (Рекомендация 0.991.1).

- SDSL (Symmetrical/single pair DSL) – вариант HDSL, рассматриваемый как самостоятельная технология, в которой для передачи используется одна витая пара. Реализуемая скорость – от 128 до 2320 Кбит/с, метод линейного кодирования 2B1Q. Оборудование SDSL используется, в частности, для связи сетей LAN по телефонным линиям.
- MDSL (Moderate speed DSL) – среднескоростной вариант SDSL (от 384 до 1168 Кбит/с). Реализуется код 2B1Q с адаптацией скорости передачи к условиям связи.
- MSDSL (Multirate Symmetrical/single pair DSL) – вариант SDSL со скоростью передачи от 144 до 2320 Кбит/с. Используется технология линейного кодирования CAP с адаптацией скорости передачи к условиям связи.
- SHDSL (Single-pair High-speed DSL) – стандартизованная UTI-технология (Рекомендация G.991.2) передачи цифровых потоков со скоростью от 192 до 2320 Кбит/с по одной витой паре. Предусмотрена возможность работы по двум витым парам со скоростью от 384 до 4640 Кбит/с. Способ модуляции TC – PAM обеспечивает спектральную совместимость при работе по одному кабелю оборудования SHDSL с системами ISDN, HDSL, ADSL. Заложены возможности работы в MCC на базе транспортных технологий ATM, IP, Frame Relay.
- HDSL2/4 – стандартизованная ANSI (TI.TRQ.06-2001) технология передачи потока T1 по одной или двум витым парам (аналог SHDSL) для скоростей передачи до 1,5 Мбит/с. Способ модуляции TC – PAM.
- VDSL (Very high speed DSL) – симметричный режим работы VDSL-систем, предусмотренный стандартом TS 101 270 организации ETSI. Скорость передачи цифровых потоков по обычной медной паре достигает 13 Мбит/с.

Основные характеристики xDSL на примере оборудования НТЦ "НАТЕКС" приведены в табл.1.

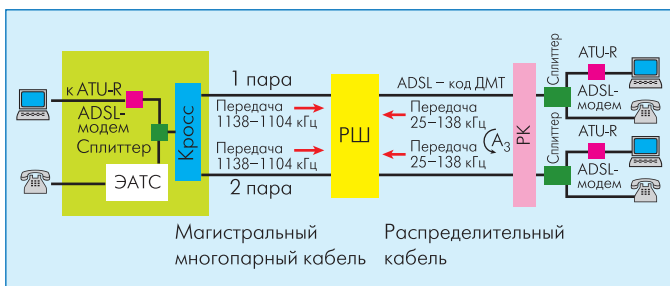


Рис.3 Структура построения сети доступа ADSL код DMT

Технологии асимметричного доступа DSL

Различают семь технологий (рис.1):

- ADSL (Asymmetrical DSL) – технология передачи цифровых потоков со скоростями (Рекомендация G.992.1 ITU-T) не менее 6,144 Мбит/с в сторону пользователя и 640 Кбит/с в обратном направлении на расстояние до 2,7 км. Использование метода кодирования DMT позволяет обеспечить одновременную высокоскоростную передачу данных и речевых сигналов по одной витой паре. Оборудование ADSL-доступа подключается к транспортным сетям по SDH- и ATM-технологиям. Помимо ITU-T стандарты для технологии ADSL были разработаны также ANSI (T1.413) и ETSI (TS 101 388).

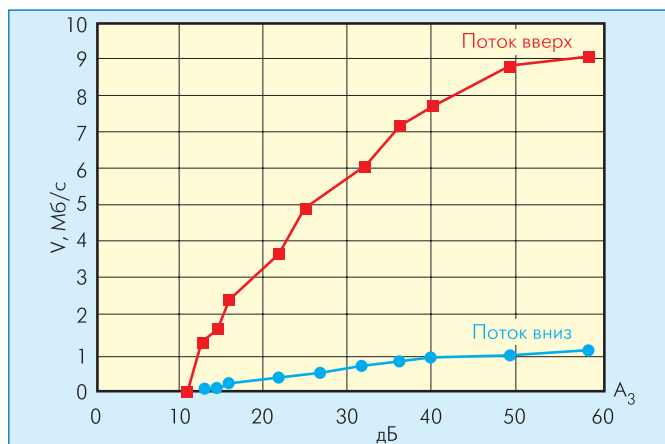


Рис.4 ADSL: скорость как функция защищенности от перехода на дальнем конце

- RADSL (Rate Adaptive DSL) – нестандартизованный в ITU-T вариант ADSL, позволяющий изменять скорость передачи в линии по желанию оператора либо по такому критерию, как качество линии. В настоящее время адаптация скорости передачи к параметрам линии реализуется во всем выпускаемом оборудовании ADSL.
- G.Lite (Universal ADSL) – технология передачи цифровых потоков по обычной медной паре со скоростями (Рекомендации G.992.2 ITU-T) не более 1,536 Мбит/с в сторону пользователя и 512 Кбит/с в обратном направлении на расстояние до 3,5 км. Используется метод передачи DMT. Служит для организации доступа в сеть Интернет по витой медной паре как альтернатива дорогостоящему ADSL-доступу.
- ADSL2 – технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростями (Рекомендация G.992.3 ITU-T) не менее 8 Мбит/с в сторону пользователя и 800 Кбит/с в обратном направлении. Планируется, что скорость передачи в оборудовании ADSL2 будет достигать 12 Мбит/с на расстоянии до 1,5 км, а при использовании технологии инверсного мультиплексирования для ATM IMA скорость потока, направленного в сторону абонента по четырем витым парам, будет достигать 40 Мбит/с.
- G.Lite2 (второе поколение G.Lite). Требования к технологии определены в Рекомендации G.992.4 ITU-T.

Таблица 1. Основные технические характеристики оборудования симметричных xDSL-технологий

Тип аппаратуры	Число каналов	Код	Информационная скорость передачи, Кбит/с	Расчетная частота, кГц	Усилительная способность, дБ
FlexGain PCM 4/5	4/5	2B1Q	336	63	44
FlexGain PCM 11/12	11/12	2B1Q	784	150	31
NTV-128 Voice	2 (тлф, факс, пд)	2B1Q	160	40	42
FlexDSL HDSL	30	2B1Q	2320	520	36
FlexDSL MDSL	nx64	CAP 8 или 128	144–2064	36–430	36
FlexDSL PAM (SHDSL)	nx64	TC~ PAM	192–2300	34–343	46

- ADSL2+. Требования к технологии определены в Рекомендации G.992.5 ITU-T, принятой в феврале 2003 года. Увеличенная полоса используемых частот (до 2,2 МГц) позволит передавать данные со скоростью до 25 Мбит/с на расстояние около 1 км.
- VDSL – технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростью до 52 Мбит/с в сторону пользователя на расстояние до 300 м. Стандартизация технологии пока не завершена. В последнее время широкое распространение получает технология EoV (Ethernet-over-VDSL).

Основные параметры асимметричных систем приведены в табл.2. Принципиальное отличие симметричных и асимметричных технологий DSL заключается в системе организации связи.

Симметричные DSL, как правило, работают на участке АТС – ПК, обеспечивая передачу информации между операторами в одноканальном режиме, и используют коды 2B1Q, CAP, TC-PAM. Приемник и передатчик размещены у абонента. В этом случае наиболее "опасным" является путь влияния между цепями на ближний конец. Поэтому возможность использования линий определяется величиной переходного затухания A_0 на частотах максимальной плотности спектра сигналов: 40, 80, 160, 320, 512 кГц в зависимости от выбранной скорости передачи и кода (рис.2).

Система организации сети асимметричных систем строится по иному принципу. Скорее, она аналогична структуре связи для междугородных линий, построенных по однокабельной системе с частотным разделением каналов. От абонента идет запрос в относительно узком диапазоне частот, т.е. передатчик расположен у ПК, а приемник – на АТС. Основная информация идет от провайдера к абоненту в широком диапазоне частот (рис.3). Поэтому при работе ADSL по нескольким цепям следует оценивать влияние по закону дальнего конца (A_3).

На сетях ADSL используется следующая терминология:

- ADSL Transceiver Unit-ATU – приемо-передатчик;
- ATU-C – станционный трансивер;
- ATU-R – удаленный модуль;
- DSLAM (DSL Access Multiplexer) – мультиплексор доступа DSL;
- BRAS (Broadband Remote Access Server) – сервер широкополосного удаленного доступа;
- CPE (Customer Premise Equipment) – оборудование конечного пользователя;
- ISP – оператор услуг Интернет или Интернет-провайдер.

ОЦЕНКА ВЗАИМНЫХ ВЛИЯНИЙ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ "ПЕРВОЙ МИЛИ"

Величина переходного затухания между цепями на ближнем конце рассчитывается по формуле:

$$A_0 \geq a_3 + \alpha \ell + 10 \lg N,$$

где a_3 – защищенность между цепями, определяющая заданную верность передачи в дБ (табл.3), α – коэффициент затухания цепей кабеля (дБ), ℓ – протяженность линии (км), N – количество пар, уплотненных оборудованием xDSL.

Таким образом, точкой отсчета является распределительная коробка, устанавливаемая в начале наиболее "тяжелого" участка. Ведь степень взаимных влияний между цепями на линии, а это участок 500–700 м, определяется именно "первой милей". Участок линии у АТС, с точки зрения оценки взаимных влияний на высоких частотах, оказывает незначительное влияние на систему DSL, установленную у абонента.

Система организации связи ADSL имеет принципиальное отличие от симметричных систем.

Как указывалось выше, приемник оборудования ADSL сигналов потока на "первой миле" расположен у потребителя. Следовательно, нас в первую очередь интересует влияние между цепями на дальнем конце. Поэтому оценку взаимных влияний между парами следует проводить по формуле:

$$A_3 = a_3 + 10 \lg N,$$

где $a_3 = 50$ дБ, N – количество пар в кабеле, уплотняемых в оборудовании ADSL.

Итак, снова "первая миля". Но измерять необходимо уже величину $A_3 = 10 \lg (U_1 \ell / U_2 \ell)$ дБ.

Следует различать переходное затухание на "дальний конец" A_d и переходное затухание на дальнем конце (A_3) (в терминологии связистов "защищенность" на дальнем конце).

Поскольку в асимметричных системах используется код ДМТ с частотным диапазоном для ADSL до 1,1 МГц, для ADSL2+ до 2,2 МГц, оценку степени влияния между цепями определяют по величине A_3 в указанных диапазонах.

Скорость передачи в цепях кабельных линий ADSL в значительной мере зависит от величины защищенности на дальнем конце A_3 . Максимальная скорость передачи достигается при обеспечении $A_3 \geq 50$ дБ (рис.4).

При использовании линии для одновременной работы симметричных и асимметричных цепей систем необходимо оценивать возможность линии по требованиям A_0 на ближнем конце на частоте 160 кГц, соответствующим коду обо-

Таблица 2. Основные характеристики асимметричных систем DSL

Параметры	HDSL	ADSL				VDSL
		ADSL	Lite ADSL	ADSL2	ADSL2+	
Количество пар	2 или 3	1	1	1	1	1
Максимальная скорость к абоненту (downstream), Мбит/с	2,048	9	1,5	12	24	52
Максимальная скорость от абонента (upstream), Мбит/с	2,048	1,5	0,386	1	1	1,5
Максимальная длина линии, км	3,7	5,5	5,5	5,5	5,5	1,3
Стандарт ИТУ	G.991.1	G.922.1	G.992.2	G.992.3	G.992.5	G.993.1
Год введения	1998	1999	1999	2002	2003	2004
Назначение	Эффективная замена первичных цифровых систем передачи E1 на соединительных линиях местных сетей	Высокоскоростной асимметричный выход в Интернет с возможностью одновременной работы по телефону; предназначен для широкого круга пользователей вместо использования голосовых модемов				Связь на короткие расстояния

рудования для 2B1Q и защищенности A_3 на дальнем конце (в распределительной коробке) в диапазоне частот до 1,1 и 2,2 МГц.

На рис.5–7 показаны частотные спектры сигналов ADSL и симметричных систем, использующих коды ДМТ, 2B1Q и TC-PAM. Совпадение частотных спектров на отдельных участках показывает необходимость решения задач по электромагнитной совместимости цепей, оборудованных различными системами DSL. Рис.8 иллюстрирует совместимость оборудования ADSL, работающего кодом ДМТ и симметричных систем, использующих коды 2B1Q, CAP и TC-PAM по скоростям передачи.

Необходимо также отметить, что вопросы электромагнитной совместимости цепей в кабельных линиях нельзя отделять от решения задач по информационной безопасности [10]. Поэтому выполнение требований, обеспечивающих максимальную скорость передачи DSL, это одновременно и создание условий информационной безопасности.

Итак, "что делать?". Действия должны быть разделены на два этапа.

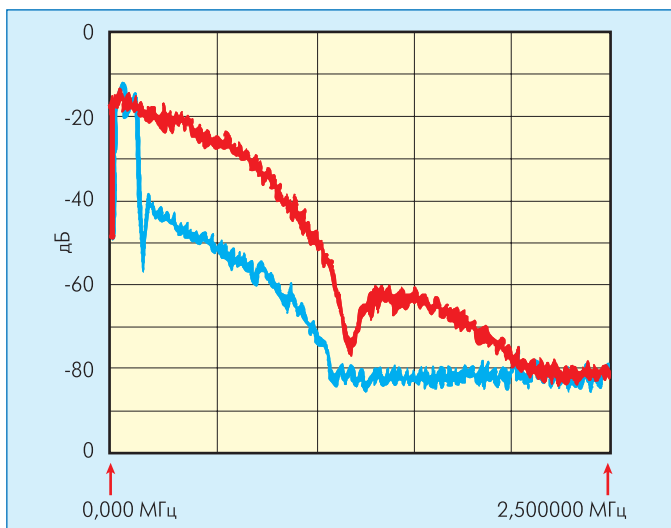


Рис.5 Линейный спектр сигналов ADSL и 2B1Q (абонентская сторона)

На первом этапе надо произвести паспортизацию электрических характеристик линий "первой мили", реанимацию поврежденных участков и отбор пар, пригодных для широкополосного доступа. Для этого можно использовать портативный измерительный комплекс автоматизации испытаний кабелей связи ПИКА-ИКС (разработчик – НПП "Норма", г. Самара). По терминологии [2] эти испытания относятся к классу "верификации" параметров пар – определения пригодности цепей для внедрения ADSL.

На втором этапе надо произвести квалиметрию – оценку качества доступа ADSL на абонентской паре с применением специальных приборов или встроенных средств в оборудовании DSL. Технические средства для этого – приборы АЛТ-2000 или AnCom A-7.

ADSL – ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ

Рассматривая вопросы внедрения широкополосного доступа на местных сетях связи, остановимся лишь на проблеме использования линий, находящихся в эксплуатации. Как отмечалось выше, проблема заключается в неоднозначной трактовке технологии выбора пар в кабельных линиях. Достаточно подробно в дискуссионном плане это отражено в работе [2], а в этой статье мы излагаем нашу точку зрения.

Кабельная линия – это "коммунальная квартира", заселенная различными симметричными и асимметричными системами DSL. Как ужиться этим системам в данной "коммунальной квартире"? "Первая миля" – это участок, где могут возникнуть конфликтные ситуации, которые могут свести к нулю все усилия "жильцов" дойти до провайдера.

Можно ли избежать этого при массовом внедрении широкополосного доступа, когда оператор (провайдер) всеми усилиями пытается удовлетворить клиента? Один из вари-

Таблица 3. Защищенность между цепями для разных кодов

Код	HDB-3	2B1Q	TC-PAM	CAP
a_3 , дБ	24,7	25,7	29,0	32,0

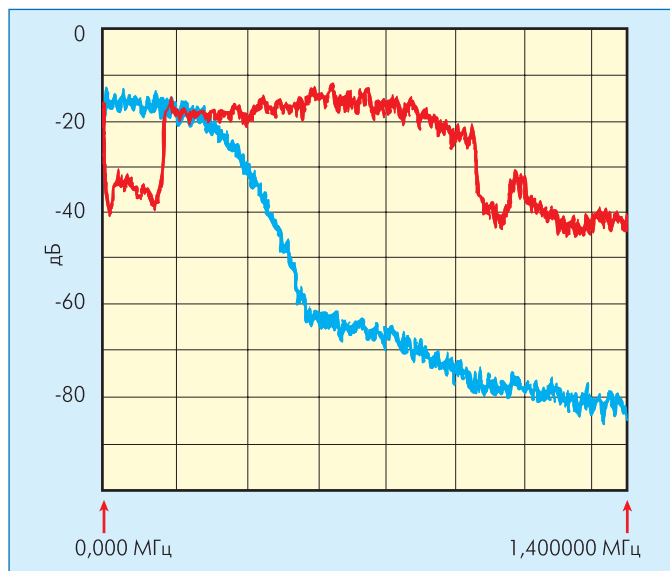


Рис.6 Линейный спектр сигналов ADSL и TC-PAM (станционная сторона)

антов – это применить "суррогатную" технологию (терминология из [2]). Надо проверить линии от клиента к АТС и, если электрические параметры на постоянном токе в норме, включить модем – и все будет в порядке с достаточно высокими скоростями передачи. Но затем возникает эффект "коммунальной квартиры": появляются "проблемные" клиенты, возникают отказы, уменьшаются скорости передачи.

Так возможно ли массовое внедрение широкополосного доступа на местных сетях электросвязи? Рассмотрим этот процесс образно, с точки зрения элементарной математики. Из школьных курсов мы помним, что физические процессы стабильны и однозначны, если они описываются периодическими функциями \sin и \cos . А вот tg – функция "разрывная".

Подойдем с этих позиций к вопросу о массовом внедрении широкополосного доступа на местных сетях и рассмотрим процесс и развитие внедрения современных цифровых широкополосных систем передачи и транспортных сетей и сетей абонентского доступа. При массовом внедрении ADSL на сетях местной связи при использовании "суррогатной"

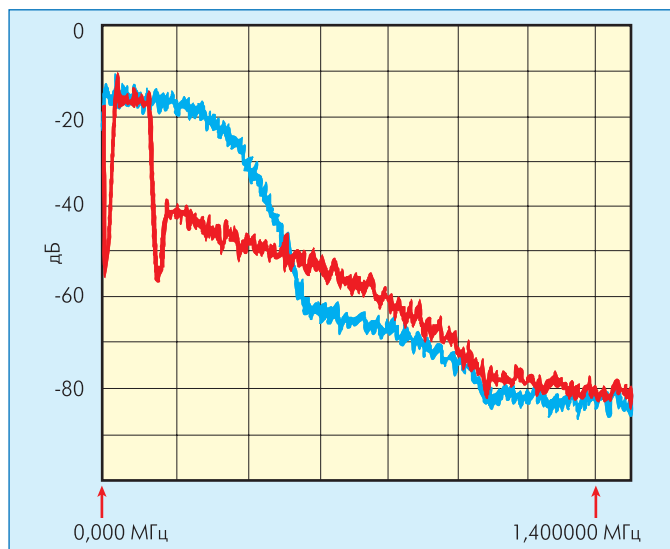


Рис.7 Линейный спектр сигналов ADSL и TC-PAM

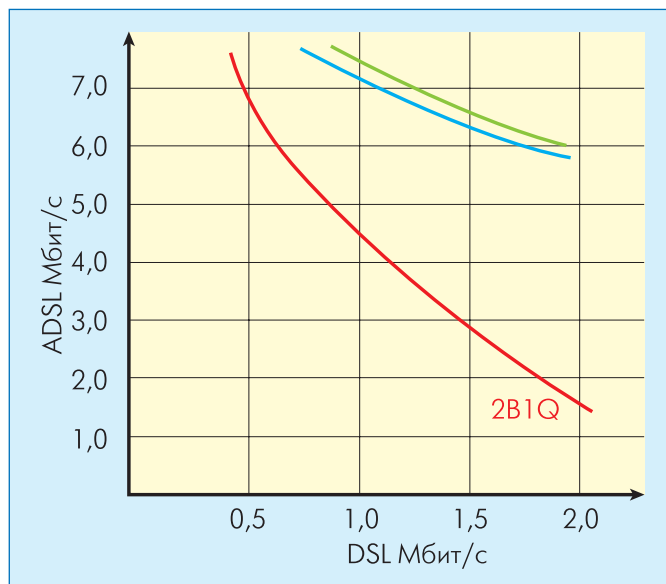


Рис.8 График соотношений скоростей работы систем ADSL и DSL

технологии может возникнуть так называемое "ADSL-цунами" – массовый отказ функционирования системы на сетях связи. Иначе говоря, входит в действие математический закон "tgADSL – функция разрыва".

В процессе эксплуатации на кабельные сети воздействуют разные внешние и внутренние факторы. Следует отметить, что двух одинаковых абонентских линий нет. Разброс электрических характеристик может достигать значительных величин. Вследствие этого гарантировать работу сети широкополосного доступа с технологией ADSL невозможно без контроля кабельной системы. Самым "слабым звеном" такой сети является "первая миля" магистральной сети местной связи. Ей в первую очередь необходимо уделять особое внимание. Поэтому "первая миля" – это точка отсчета!

ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Эко-Трендз, 2005.
2. Бакланов И.Г. Технологии ADSL/ADSL2+. Теория и практика применения. – М.: Метротек, 2007.
3. Кайзер Л.И. О нормировании параметров ЭМС оконечных и распределительных устройств кабельных линий. – Электросвязь, 2006, № 2.
4. Козвонин Н.А., Парфенов Ю.А. Автоматизация измерений линий DSL. – Электросвязь, 2006, № 2.
5. Кочеров А.В. Анализатор систем передачи и кабелей связи AnCom A-7. – Электросвязь, 2006, № 2.
6. Мирошников Д.Г. HATEKC – ставка на качество. – Первая миля, 2007, № 1.
7. Горюхов В.М. Измерения в линиях ADSL. – Техника связи, 2007, № 1.
8. Кочеров А.В. Нормирование ADSL – физический уровень. – Вестник связи, 2007, № 6.
9. Законодательство в развитии. – Вестник связи, 2007, № 6.
10. Кечиев Л.Н., Степанов П.В. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций. – М.: ИД "Технология", 2005.