

DSL на 100 %

А.В. КОЧЕРОВ, главный метролог ООО “Аналитик-ТС”, кандидат технических наук,
Ю.А. ГАВРИЛЮК, начальник цеха ТПиР Одесского филиала ОАО “Укртелеком”,
Н.И. ТАРАСОВ, инженер-программист, кандидат технических наук, **Д.В. ХВОСТОВ**,
 генеральный директор ЗАО “СИМПЭК”

УДК 621.317.33/.35

В марте 2009 г. стараниями ЗАО “Экспо-Телеком” был проведен третий семинар-совещание “Развитие широкополосного доступа на сетях электросвязи России — ШПД-2009”. Существенное внимание на нем было уделено системам PON, ETTN, PoE. Однако обяза-

тельным условием развития доступа на основе этих технологий является создание специализированной кабельной инфраструктуры и проведение существенного объема монтажных работ, что, конечно, недешево и хлопотно.

Операторы связи демонстрируют тенденцию к освоению Triple Play, рассматривая эту сущность не столько как новую телекоммуникационную технологию, сколько как способ предоставления дополнительных услуг, например, распространения ТВ-программ посредством сетей ШПД. А сети ШПД, уже созданные и основанные на технологии ADSL, могут быть развиты переходом на ADSL2+ и VDSL2.

Расширение сетей доступа, рост скорости и развитие спектра услуг при сохранении наиболее доступного способа построения сети по технологиям DSL неизбежно приводят к необходимости выработки технической политики, направленной на обеспечение эксплуатационной надежности сетей ШПД DSL при заполнении парной емкости кабелей связи на 100 %.

Нормы и теория

Техническая политика реализуется разработкой и принятием соответствующих нормативных документов. Примером является проект ГОСТ Р “Многопарные кабели с медными жилами для цепей широкополосного доступа”, разработанный ЛОНИИС [1]. Стандарт учитывает технические характеристики современного оконечного оборудования (премпередачки DSL), топологию отечественных

абонентских кабельных сетей, возможности кабельных заводов России.

Продвинутые предприятия кабельной промышленности (КП) выпускают кабели связи по частным ТУ, переходные влияния в которых нормируются самыми разнообразными способами, что находит отражение в материалах, представляемых на заводских сайтах. Тем не менее, приводимые сведения позволяют оценить защищенность от переходных помех на дальнем конце на характерной для ADSL измерительной частоте равной 300 кГц в пределах:

$$ELFEXT_{КП}(300 \text{ кГц}, 1 \text{ км}) > 50...70 \text{ дБ.}$$

Новый ГОСТ Р может позволить предприятиям кабельной промышленности выпускать конкурентоспособную продукцию по ясным техническим спецификациям, а проектным организациям и операторам связи осуществлять проектирование сетей доступа и планировать скоростной ресурс сетей, построенных с применением ШПД-кабелей, исходя из предложенной в проекте ГОСТ Р нормы защищенности от переходных помех на дальнем конце равной 40 дБ для частоты 2 МГц, что после приведения к частоте 300 кГц составит:

$$ELFEXT_{ГОСТ}(300 \text{ кГц}, 1 \text{ км}) > 40 - 20 \times \lg(300 \text{ кГц}/2 \text{ МГц}) = 56 \text{ дБ.}$$

Находящиеся в эксплуатации кабельные сети были построены с использованием телефонных кабелей, требования к электрическим характеристикам которых соответствуют ранее действовавшим нормам, представленным в ОСТ 45.36-97 “Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные” [2] и в ГОСТ Р 51311-99 [3]. Согласно ОСТ 45.36-97 переходное затухание на частоте 1 кГц должно быть более 69,5 дБ, что приведением к 300 кГц даст норму:

$$NEXT_{ОСТ}(300 \text{ кГц}) > 69,5 - 15 \times \lg(300 \text{ кГц}/1 \text{ кГц}) = 32 \text{ дБ.}$$

Можно считать, что и норма для защищенности от переходных помех на дальнем конце в этом случае тоже составит:

$$ELFEXT_{ОСТ}(300 \text{ кГц}, 1 \text{ км}) > 32 \text{ дБ.}$$

Системные исследования условий электромагнитной совместимости цифровых линий DSL, организуемых на отечественных кабельных сетях без выполнения их модернизации, к сожалению, так и не были произведены. Тем не менее, данные проведенного авторами анкетирования специалистов отрасли показали, что на находящиеся в эксплуатации телефонных кабелях защищенность от переходных помех может снижаться до 20 дБ, т. е.:

$$ELFEXT_{сеть}(300 \text{ кГц}, 1 \text{ км}) > 20 \text{ дБ.}$$

Располагая моделью цифровых линий, нетрудно получить скоростные характеристики современных линий xDSL. Не обременяя читателя необходимостью анализа семейств таких характеристик, ограничимся представлением только идеализированного случая (рис. 1). Здесь диаметр жил и максимальная длина линии соответствуют фактическому состоянию отечественных абонентских сетей (0,4 мм и 6 км), а идеализировано именно качество линий, охарактеризованное нормой защищенности — не хуже 50 дБ, что практически соответствует Рекомендации МСЭ-Т L.19 [4]:

ELFEXT_{L.19}(300 кГц, 1 км) > 48 дБ.

Тем не менее, даже в столь абстрактных условиях при размещении DSLAM непосредственно на станции скорость доступа не может быть обеспечена выше 6 — 9 Мбит/с (загрузка пар на 100 %, линия средней длины 2,6 км). То есть оператор практически лишен маневра, так как скорость ограничена рабочим затуханием и практически не зависит от выбора типа линии — ADSL/ADSL2+/VDSL2.

Установка DSLAM, например, вместо распределительного шкафа (РШ) сокращает среднюю длину медножильной линии до 300 м, что позволяет получить скорость доступа, определяемую применяемой технологией DSL.

Итог 1. Результаты детальных расчетов скорости при установке DSLAM вместо РШ при различном качестве кабеля представлены в табл. 1 и демонстрируют следующие возможности сети применительно к ADSL/ADSL2+/VDSL2 соответственно:

8/23/82 Мбит/с — на кабелях, соответствующих высшим достижениям КП;

8/22/63 Мбит/с — на кабелях, соответствующих проекту ГОСТ Р;

8/18/44 Мбит/с — на кабелях, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т L.19;

6/12/23 Мбит/с — на минимально “ухоженных” кабельных сетях;

4/5/8 Мбит/с — на кабелях, формально соответствующих ОСТ 45.36-97;

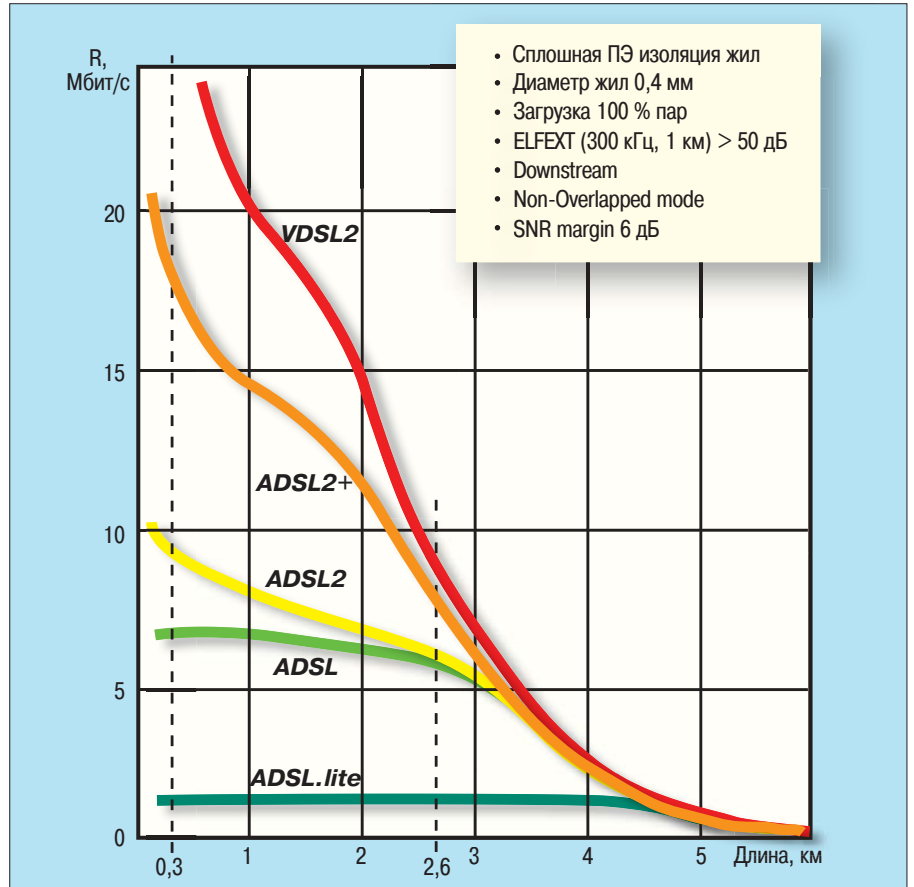


Рис. 1. Нормы скоростных характеристик линий ШПД DSL при полной загрузке кабеля

1/1/1 Мбит/с — на кабелях с разбитыми парами или замкших.

Переходные неприятности на практике

Указанные в табл. 1 соотношения относятся к стационарному режиму и не учитывают динамики установления соединения в процессе активации линий, т. е. при изменении процента загрузки многопарного кабеля с 0 до 100 %. Динамика загрузки кабеля крайне сложно моделируется, и ее характеристики существенно проще получить в опытной зоне.

Предсказуемое течение процесса загрузки кабеля цифровыми линиями наблюдается на “ухоженных” сетях (*ELFEXT(300 кГц, 1 км) > 40...50 дБ*). На практике значительное число комбинаций пар телефонных кабелей, в лучшем случае удовлетворяя требованиям ОСТ 45.36-97, характеризуется недостаточной защищенностью. Дополнительным негативным об-

стоятельством является разброс значений фактической защищенности, который составляет около 20 дБ (рис. 2) и в границах которого можно рассматривать протекание частотной характеристики (ЧХ) переходного влияния как случайный процесс.

Рассмотрим эпизод в процессе наполнения кабеля цифровыми линиями. Пусть в результате ранее произведенных инсталляций достигнуто равновесие в том смысле, что скоростные притязания окончательного оборудования каждой i-ой линии ADSL/ADSL2+ ограничены фактическими помехами, создаваемыми соседними линиями. Попытка установления соединения (HandShake) по вновь включаемой линии ADSL/ADSL2+ начинается с подачи опросных сигналов, которые снижают защищенность соседних, ранее успешно функционирующих линий. Рассматривая процесс инсталляции как случайный, т. е. выполняемый без отбора пар (а какой может быть отбор,

Таблица 1

Скоростные характеристики DSL на короткой линии

Длина = 300 м. Жила = 0,4 мм. Пучковая скрутка. Заполнение пар = 100 %

Тип линии	Диап. част., кГц	SNR margin, дБ	Гарантируемая скорость Downstream в зависимости от ELFEXT(300 кГц, 1 км) в “дБ”, Мбит/с					
			20	30	40	50	60	70
ADSL.lite Ann.A	26... 550	18 6	0,1 0,8	0,6 1,5	1,5 1,5	1,5 1,5	1,5 1,5	1,5 1,5
ADSL Ann.A	26... 1104	18 6	0,1 1,1	0,6 4,1	4 6	6 8	8 8	8 8
ADSL2+ Ann.A	26... 2208	18 6	0,1 1,1	0,6 5,3	4 12	10 18	17 22	21 23
VDSL2 Ann.B/998	26... 12000	18 6	0,1 1,1	1,5 8,5	7 23	20 44	39 63	59 82

Характеристики кабельной сети	Необходим ремонт!	ОСТ 45.36-97	Минимально “ухоженная” сеть	МСЭ-Т L.19	Проект ГОСТ Р	“Рекордные” кабели
	“Неухоженная” сеть			“Ухоженная” сеть		

если исходно заявлено уплотнение на 100 %), следует иметь в виду, что в силу случайного характера ЧХ ELFEXT защищенность работающих линий может существенно понизиться — на 20 дБ.

Стандартный линейный профиль имеет запас по помехозащищенности SNR margin равный 6 дБ, которого в данном случае оказывается недостаточно. Именно по этой причине на сетях, характеризующихся нормой защищенности $ELFEXT(300 \text{ кГц}, 1 \text{ км}) > 30 \text{ дБ}$ следует поднимать запас помехозащищенности с 6 до 18 дБ.

Через две секунды фиксируется авария по ошибкам и начинается новая процедура установления соединения по i-ой линии. Поскольку процедуры установления соединений по разным парам идут одновременно и асинхронно, то измерение спектральной плотности помех в подканалах (бинах), необходимое для вычисления скорости передачи, осуществляется на различных этапах HandShake, а не для установившихся режимов передачи. В результате количество неудачных попыток установления соединений, а значит и время установления (восстановления) со-

единений по данным парам может резко увеличиться.

Результаты экспериментов показали, что при инсталляции 30 линий ADSL/ADSL2+ в 100-парном кабеле ТП спектр помех в задействованных парах приближается к модели “AWGN-110”, но для 10 % пар — к катастрофической “AWGN-80” (см. табл. 2). При одновременной активации всех 30 линий общее время установления работоспособного состояния составляет порядка 15 мин., а последующая активация каждой новой линии может приводить к возникновению аварийных перезапусков в нескольких ранее установленных соединениях.

Итог 2. Экспериментально показано, что на кабелях с ненормированными переходными влияниями инсталляция линий с запасом помехозащищенности 6 дБ приводит к увеличению частоты переустановки соединения, каковой процесс может спровоцировать цепочку переустановок, что существенно снижает надежность сети доступа. В этом случае целесообразно увеличить запас помехозащищенности до 12 — 18 дБ.

Продольные особенности

Опыт развертывания сетей ШПД ADSL/ADSL2+ показывает, что на работоспособность сети, помимо переходных влияний между парами, существенное влияние оказывают продольные помехи, возникающие в цепях заземления оборудования сетевого узла или пользователя.

Механизм образования и измерения продольных помех изложен в рекомендации МСЭ-Т К.24 [6]. Продольная помеха формируется за счет токов, протекающих по цепям заземления оборудования сетевого узла, и преобразуется в поперечную помеху вследствие асимметрии пар, а также из-за асимметрии линейных портов оборудования. Магистральные проводники, соединяющие стойки DSLAM и другого оборудования с конструктивом кросса, общей точкой заземления и собственно конструкцией заземления, обычно имеют достаточно большую длину, особенно при размещении оборудования на верхних этажах зданий. В результате импеданс цепи заземления на верхней границе (см. табл. 1) диапазона частот ADSL уже существенен (около 3 Ом/м), становится значительным

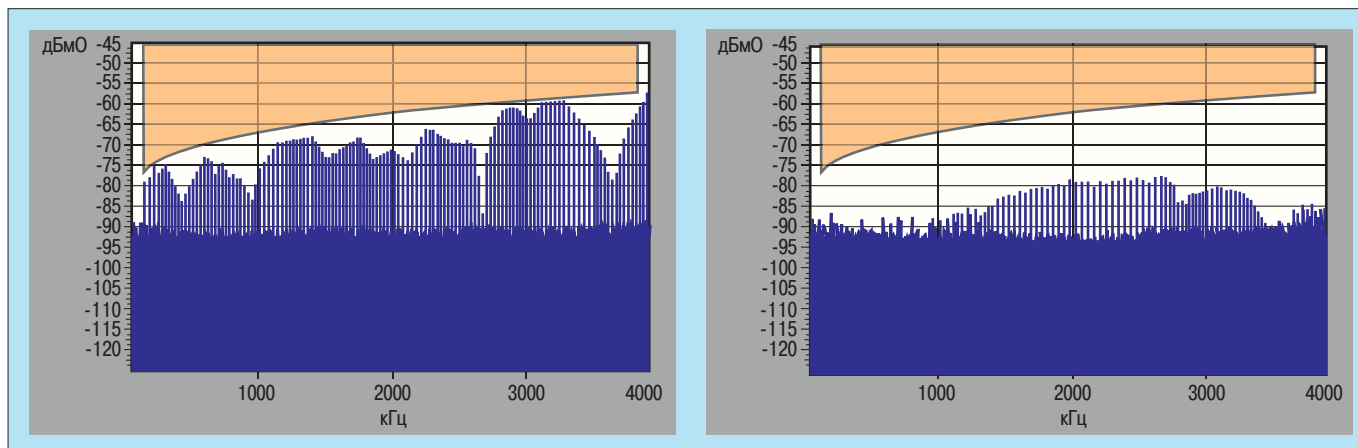


Рис. 2. Примеры спектров переходных помех на пределе выполнения нормы (слева) и при выполнении нормы с запасом не менее 20 дБ (справа)

для ADSL2+ (6 Ом/м) и практически разрывает цепь в диапазоне VDSL2 (30 Ом/м). То есть заземление не выполняет своей роли по шунтированию помех.

Норма затухания асимметрии каждого линейного порта DSLAM, а также каждой пары кабеля, составляет 40 дБ [4]. Соответственно, часть линейного сигнала каждой DSL-линии протекает по цепи заземления, “коллективизирующей” помехи. Эта составляющая отсутствует на окончании пары, когда пара еще не подключена к оборудованию, так как продольная цепь разорвана.

На одной из телефонных станций были проведены измерения в условиях, когда одновременно были активированы около 400 ADSL-линий из 1200 подключенных. Измерения, выполненные после выявления и устранения источников помех от сети электроснабжения, показали, что продольный ток помехи преобразуется в поперечную помеху со спектром, соответствующим модели “AWGN-120”, если величины затухания асимметрии пары и линейного порта соответствуют норме 40 дБ. Такая помеха воздействует на все кабели данного сетевого узла независимо от загрузки каждого кабеля.

В описанном случае защищенность приемника ADSL Ann.A Upstream (26...138 кГц) составит (см. табл. 2, модели кабеля и ADSL по [5, 9]):

$$SNR_{US} = “ADSL-40” - “AWGN-120” - IL = -40 + 120 - 29 = 51 \text{ дБ.}$$

Здесь $IL = (11 \text{ дБ/км}) \times (2,6 \text{ км}) = 29 \text{ дБ}$ — внесенное затухание, рассчитанное по коэффициенту затухания для кабеля ТП-0,4 на верхней границе диапазона частот Upstream и при длине линии равной 2,6 км.

Величины защищенности в 51 дБ достаточно для устойчивой работы приемника Upstream с показателем загрузки DMT-каналов (51дБ – 16дБ)/(3дБ/бит) = 12 бит/бин, что существенно перекрывает требования рекомендаций МСЭ-T G.992.1 (не менее 6 бит/бин) и G.992.3/G.992.5 (не менее 9 бит/бин).

Однако напомним, что представленные данные были получены после поиска и устранения источников помех и неисправностей, а исходное состояние можно было бы определить как неустойчивое и охарактеризовать разбросом скорости Upstream в пределах 200 — 800 кбит/с. Обратный расчет даст защищенность в наихудшем случае:

$$SNR_{US} = (200 \text{ кбит/с}) / (138 \text{ кГц} - 26 \text{ кГц}) \times (3 \text{ дБ/бит}) + 16 \text{ дБ} = 21 \text{ дБ.}$$

Тогда эквивалентная спектральная модель помех на станционном окончании пары “неухоженной” сети может быть определена как “AWGN-90”, так как:

$$“ADSL-40” - SNR_{US} - IL = -40 - 21 - 29 = -90 \text{ дБм/Гц.}$$

Итог 3. Практически определены спектральные модели помех для “ухоженной” “AWGN-120” и “неухоженной” “AWGN-90” сетей,

что позволяет квалифицированно выполнять контроль спектров помех на окончаниях пар.

Импульсные неприятности

Дополнительное влияние оказывают составляющие продольных помех, возникающие при работе аналоговых АТС. Эти помехи содержат импульсную составляющую, которая может превышать значения среднего уровня помех на 30 дБ и более [8]. Влияние импульсных помех на работоспособность ADSL/ADSL2+ определяется необходимостью выполнения требований помехозащищенности сигнала (SNR) в каждом передаваемом кадре сигнала. Измерительные приборы, как правило, определяют усредненные значения уровней сигналов и помех (обычно за 1 с). Воздействие значительной одиночной импульсной помехи (длительностью, как правило, менее 1 мс) приводит к искажению нескольких символов линейного сигнала ADSL (длительность символа равна 250 мкс) и, соответственно, к фиксации одной секунды, пораженной ошибками. Наличие двух секунд, пораженных ошибками, воспринимается приемопередатчиками как авария, после чего следуют разрыв соединения и процедура перезапуска (Retrain).

Для выявления импульсных помех необходимо использовать приборы, имеющие специальные режимы измерения. Обычными измерениями спектральной мощ-

Таблица 2

Спектральные модели помех

Спектральная модель	Определение	Примечания
AWGN	Additive White Gaussian Noise — Аддитивный белый гауссовский шум . Характеризуется равномерной спектральной плотностью, нормально распределенным значением амплитуды	Используется для расчета и моделирования систем связи
ADSL-40	Модель сигнала ADSL со спектральной плотностью минус 40 дБм/Гц	Данные заимствованы из справочника [5]
AWGN-S	Модель помех со спектральной плотностью минус S дБм/Гц. При контроле спектра помех по шаблону ширина элементарной полосы обычно составляет 10 кГц	$10\lg(10 \text{ кГц}/1 \text{ Гц}) = 40 \text{ дБ}$. Пересчет по формуле: $S, \text{ дБм}/10 \text{ кГц} = S, \text{ дБм}/\text{Гц} + 40 \text{ дБ}$
AWGN-140	Модель помех со спектральной плотностью минус 140 дБм/Гц. Шум с такой спектральной плотностью соответствует собственным помехам приемника DSL	Стремление снизить шум на окончании пары ниже минус 140 дБм/Гц не имеет практического смысла

ности шума импульсные помехи не выявляются, поскольку влияние одиночного импульса малой длительности на среднее значение измеряемого сигнала несущественно (как правило, менее 0,1 дБ). Контрольные измерения показывают, что импульсные помехи чаще проявляют себя на абонентской стороне линий и на линиях большой длины, однако могут наблюдаться и на станционной стороне чисто цифровых АТС.

Существенную опасность представляют также составляющие продольных помех, наводимых от сети электроснабжения оборудования. В ГОСТ 13109-97 [9] требования по уровню помех в диапазоне частот ADSL фактически ограничиваются следующей нормой: “на вводе в здание амплитуда импульса в течение 90 % времени не должна превышать 6 кВ”. Контрольные измерения показывают, что составляющая продольной помехи в полосе ADSL зависит от режимов работы сети электроснабжения и нестабильность уровня помех может достигать 30 дБ.

Итог 4. Основные методы борьбы с помехами от сети электроснабжения сводятся к ограничению и фильтрации помех на вводе в здание, на вводе в помещение сетевого узла, а также к периодическому контролю режимов ра-

боты цепей электропитания и заземления оборудования. Помимо выполнения “разовых измерений” показан мониторинг всплесков помех в полосе частот DSL.

Итого

Сформулируем рекомендации, направленные на обеспечение должной эксплуатационной надежности сети ШПД ADSL/ADSL2+/VDSL2 в условиях стремления к предоставлению услуг для 100 % абонентов сети:

- применять кабели, специализированные для сетей ШПД xDSL и не уступающие требованиям [1];

- размещать DSLAM как можно ближе к абонентам;

- проектировать сети на основе скоростных характеристик, соответствующих нормативным требованиям к линейно-кабельным сооружениям [7];

- планировать загрузку линий с ограничением по скорости в соответствии с реально тарифицируемым трафиком (сложившаяся практика такова, что линейная скорость не подвергается ограничению на DSLAM после инсталляции линии, что создает неоправданно высокую загрузку кабеля уровнем мощности линейных сигналов);

- планировать режим линий с повышением запаса помехозащитности с 6 дБ (установка по

умолчанию) до 12 — 18 дБ (повышение запаса снижает скорость — см. табл. 1, но обеспечит устойчивость);

- использовать частотный менеджмент — конфигурирование частотных планов наиболее взаимовлияющих пар, при котором эти частотные планы не пересекаются (п. 8.5.1 Рекомендации МСЭ-Т G.992.3);

- применять функцию автоматического снижения мощности Power cut-back (п. 8.5.1, 8.5.2, 8.6.4 Рекомендации МСЭ-Т G.992.3);

- расширить список свойств и условий совместимости модемов и DSLAM, проверяемых при сертификации оконечного оборудования [10], следующими параметрами — затухание асимметрии линейных портов, эффективность управления запасом помехозащитности, ограничения линейной скорости, частотного менеджмента и функции Power cut-back;

- выполнять массовую инсталляцию цифровых линий сетей ШПД xDSL без выполнения квалифицированных измерительных работ (положительный результат обеспечивается за счет планирования и ограничения линейной скорости), ограничиваясь контролем сопротивления изоляции и шлейфа, емкостной и омической асимметрии в соответствии с традиционными нормами [2];

производить квалифицированные измерения при возникновении затруднений в ходе инсталляции или в процессе эксплуатации сети.

Дополнительный бонус

Перенос DSLAM ближе к абоненту снижает влияние рабочего затухания и помимо существенного выигрыша по скорости позволяет совершенно обоснованно использовать для квалифицированных измерений единственный измерительный прибор. Такой подход уже давно получил название SELT (Single Ended Loop Testing), но попытки перенести его на российскую почву не приносили существенного эффекта, так как до недавнего времени длина линии существенно превышала диагностические возможности метода.

Укорочение линии обеспечивает приемлемую точность метода SELT, сочетаемую с простотой организации измерительных работ и малыми затратами времени. Так, например, измерительная технология «xDSL/ГодностьПары» позволяет автоматически за 2 мин. локализовать неоднородности и квалифицировать соответствие:

значений электрической длины по емкости, сопротивлению, затуханию, задержке и скорости передачи физической (учетной) длине кабеля;

помех на окончании пары спектральным шаблонам;

затухания асимметрии и отражения нормам частотных характеристик.

Сопоставление скоростных характеристик DSL показывает (рис. 1), что если «архаичные» технологии — ADSL.lite/ADSL — имели весьма протяженный (2 — 4 км) участок с постоянной скоростью передачи, то современные системы — ADSL2+/VDSL2 — демонстрируют снижение скорости практически с первых десятков метров дистанции.

Близкая к обратно пропорциональной зависимость скорости ADSL2+/VDSL2 от длины обосновывает возможность рассмотрения скорости передачи в качестве такого же электрического параметра

линии как сопротивление или емкость. Именно на необходимость детального учета скоростных характеристик DSL и возможность их столь же детального контроля хочется обратить особое внимание читателя, который ставит своей задачей обеспечение эксплуатационной надежности сетей доступа при стремящейся к 100 % загрузке кабеля.

Литература

1. Проект ГОСТ Р. Многопарные кабели с медными жилами для цепей широкополосного доступа. Общие технические требования. <http://www.gost.ru/wps/portal/pages.Notif.StandartAbout>.
2. ОСТ 45.36-97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные. Госкомсвязи России. Москва.
3. ГОСТ Р 51311-99. Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке. Технические условия.
4. МСЭ-T L.19. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL. МСЭ-T 11/2003.
5. Балашов, В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. — М.: Экотрендз, 2009.
6. МСЭ-T K.24. Method for measuring radio-frequency induced noise on telecommunications pairs. МСЭ-T 11/1988.
7. Кочеров, А.В. Эксплуатационная надежность сетей ШПД-xDSL. Нормирование и инструментальный контроль//Техника связи. — 2008. — № 3. — с. 20 — 31.
8. Кочеров, А.В. ADSL2+ и VDSL2. Нормирование и управление эксплуатационной надежностью сети ШПД//Вестник связи. — 2008. — № 4. — с. 12 — 21.
9. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
10. Правила применения оборудования проводных и оптических систем передачи абонентского доступа. Утверждены приказом № 112 Минсвязи РФ от 24.08.2006.

С юбилеем!

5 июня исполнилось 70 лет со дня рождения заслуженного работника связи Российской Федерации, профессора Игоря Алексеевича Захарова.

И.А. Захаров работает в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ) более 40 лет. Он проявил себя как талантливый организатор учебной и научной работы крупнейшего вуза связи страны, известный специалист в области автоматизации и информатизации предприятий связи, организации и планирования сети предприятий почтовой связи, автоматизации различных технологических процессов на почтовых предприятиях.

В течение многих лет профессор Захаров работает проректором МТУСИ по международным связям. За это время значительно расширились и окрепли международные связи университета. При его участии на базе вуза организован ряд учебных центров совместно с ведущими телекоммуникационными компаниями мира. Задача центров — обучение российских специалистов работе на оборудовании соответствующих компаний, а также подготовка студентов, стажеров и аспирантов МТУСИ с использованием не только самой совершенной телекоммуникационной техники, но и новейших учебных технологий.

И.А. Захаров — автор более 90 опубликованных научных работ. Он возглавляет секцию по международным связям учебно-методического объединения по специальностям связи, руководит советом по международным связям МТУСИ.

И.А. Захаров имеет правительственные награды, награжден нагрудным значком «За отличные успехи в работе» в области высшего образования СССР.

Коллектив МТУСИ поздравляет Игоря Алексеевича с юбилеем, желает крепкого здоровья и новых творческих успехов.