

Особенности развертывания асимметричных цифровых абонентских линий в Украине

Тарасов Н.И., Ведущий научный сотрудник Одесского НИИС, к.т.н.

+38(048)732-14-84, tarasov@oniis.odessa.ua

Кочеров А.В., Главный метролог ООО «Аналитик-ТС», Москва

+7(495)775-60-11, andrey@analytic.ru www.analytic.ru

Вариант статьи опубликован в журнале «Сети и телекоммуникации», Киев №7, 2007

Определены условия успешного построения, развития и контроля параметров сетей широкополосного абонентского доступа на основе цифровых линий ADSL/ADSL2+. Описаны особенности структуры местных телефонных сетей и применяемых кабелей. Даны отличия от европейских сетей.

Высокоскоростная технология широкополосного доступа ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричные цифровые абонентские линии) начала применяться на сетях связи в середине девяностых годов XX века. В настоящее время приемопередатчики ADSL детально представлены Сектором стандартизации Международного союза электросвязи (ITU-T) в рекомендациях серии G.992.x (Табл.1).

Таблица 1. Прогресс асимметричных цифровых линий

Тип линии	ADSL	ADSL2	ADSL2+	ADSL4 (ADSL2++)
Рекомендация ITU-T	G.992.1	G.992.3	G.992.5	G.992.6 ?
Год принятия рекомендации ITU-T	1999 ¹	2002	2003	2007 ?
Верхняя граница полосы частот, кГц	1104	1104	2208	3752...4416
Максимальная кратность модуляции	≥8	≥12	≥12	≥12
Максимальная скорость передачи. нисходящего потока, кбит/с	≥8000	≥12000	≥24000	≥48000

Опыт внедрения цифровых линий семейства ADSL на местных сетях связи Украины показывает, что, если при планировании зон обслуживания сетей широкополосного доступа формально использовать рекомендации ITU-T G.99x.x, то это часто приводит к возникновению проблемных ситуаций. В частности, даже при малой загрузке кабеля ADSL-линиями (не более одной пары в пучке), скорость передачи у части из них оказывается ниже номинальной. А некоторые линии вообще неработоспособны. И это притом, что модель помех близка к тепловому шуму (AWGN-140, подробнее модели помех будет рассмотрены далее).

По мере дальнейшего увеличения загруженности кабеля число проблемных ситуаций как на вновь подключаемых цифровых линиях, так и на ранее установленных, несомненно, будет нарастать. Такая перспектива противоречит требованиям рекомендации ITU-T L.19, Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL. 11/2003 (Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL). Этот документ учитывает опыт создания сетей доступа во Франции, Индии и Бразилии и определяет требования по переходному затуханию, асимметрии, импедансу, спектру помех.

Рекомендация L.19 декларирует необходимость использования 100 % абонентских линий для организации xDSL-доступа при сохранении должного качества функционирования ранее развернутых решений.

¹ Применение первых ADSL на сетях связи относится к середине 90-годов XX века

Отличия сетей

Существенное влияние на ограничение внедрения ADSL оказывают разные принципы построения местных сетей в Украине по сравнению с европейскими странами (табл.2). Также при сопоставлении оказывается, что у нас отличается электромагнитная обстановка и другие параметры у кабелей и оборудования.

Исторически так сложилось, что в отечественных телефонных сетях, построенных на аналоговых АТС (ААТС), существенно более протяженные абонентские линии. Их максимальная длина определяется нормой по затуханию, которая в Украине была принята (и остается) не более 6 дБ на частоте 1 кГц (КНД 45-076-98).

В Европе же этот параметр не должен превышать 4,5 дБ. Соответствие с данными требованиями уже давно содержится в российских стандартах (ОСТ 45.36-97), правда на меньшей частоте равной 0,8 кГц.

Развертывание цифровых сетей в Украине, как правило, осуществляется путем замены аналоговых АТС (ААТС) на цифровые (ЦАТС) и прямым переключением абонентских линий (без преобразования кабельных сетей). В Европе реконструкция местных сетей осуществлялась путем перехода от сосредоточенных ААТС к распределенным ЦАТС (ITU-T Q.5xx). При этом радиальная зона обслуживания ААТС преобразовывалась в несколько зон (сот) вокруг ЦАТС и ее выносов. Это приводило к уменьшению максимальной длины абонентских линий, а также объема оборудования сетевого узла. В настоящее время максимальная дальность абонентских линий во многих странах Европы не превышает 1,5 км.

В европейских сетях преимущественно проложены кабели с большим диаметром токопроводящих жил. В частности, согласно данным «Telekom Slovenije», чей опыт внедрения ADSL (xDSL) был представлен на конференции в Укртелекоме, в кабелях на местных сетях связи у этого оператора распределение по диаметру проводников выглядит следующим образом:

- 0,4 мм – до 20%,
- 0,6 мм – до 70%,
- 0,8 мм – до 10%.

По мнению большинства опрошенных представителей операторов местных сетей Украины чаще всего встречается диаметр жил равный 0,4 мм при значительной доле пар с жилой 0,32 мм.

Таблица 2. Параметры местных сетей

Типовые параметры линий местных телефонных сетей		Европа	Украина
Кабель	Тип	TK 59GM	ТП
	Скрутка	Четверочная	Парная
	Основная группа	5 четверок	10 пар
Наиболее часто встречающийся диаметр жил, мм		0,6	0,4
Погонное сопротивление шлейфа пары не более, Ом/км		130	296
Погонная емкость пары не более, нФ/км		42	60
Погонное затухание пары на частоте 300кГц, дБ/км, не более		8	15
Затухание асимметрии (в диапазоне до 2МГц) не менее, дБ		50	40
Минимальное значение переходного затухания NEXT между ближайшими парами пучка (в диапазоне до 2МГц) не менее, дБ		60	40

Следует заметить, что в соответствии с рекомендацией ITU-T G.992.1 предельная длина линии ADSL определяется по рабочему затуханию на частоте 300 кГц равном 60 дБ, что при действии помех со спектральной моделью ETSI-A должно обеспечивать работу линии с линейной скоростью нисходящего потока не менее 576 кбит/с.

Из-за различий в диаметре жил получается, что максимальная дальность работы ADSL при отсутствии помех

- в европейских странах составляет 7,5 км (для 60 дБ при 8 дБ/км), а
- в Украине – 4,0 км (для тех же 60 дБ, но при 15 дБ/км).

Модели помех

Модели помех для местных сетей Европы на базе ЦАТС с учетом конструктивных особенностей проложенных там кабелей определяются, в основном, переходным затуханием и параметрами xDSL-сигнала в соседней паре четверки. Ведь если в качестве стратегии выбрать уплотнение кабелей до 50% и при этом «цифровизировать» только одну пару в четверке, то существенно большее переходное затухание между парами в разных четверках по отношению к затуханию внутри четверки позволяет кардинально сократить влияние переходных помех. То есть наличие грамотно смонтированной сети, выполненной кабелем с четверочной скруткой, гарантирует «цифровизацию» не менее чем 50% кабельной емкости.

Сами модели помех определены в рекомендации ITU-T G.996.1 Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers (Испытания приемопередатчиков цифровых абонентских линий (DSL)).

Дадим краткую характеристику моделей.

- AWGN-140 соседняя пара (в четверке) должна быть подключена к линейному стыку Z стационарного окончания ЦАТС. Эта модель предполагает практически полное отсутствие помех – действует только тепловой шум (аддитивный белый шум с гауссовым распределением мгновенных значений и спектральной плотностью равной минус 140 дБм/Гц).
- ETSI-A соседняя пара подключена к линейному стыку V (BRI ISDN), дополнительно учитываются помехи от СВ- и ДВ-радиостанций,
- ETSI-B спектр помех рассматривается на ближнем конце при подключении соседней пары к линейному стыку HDSL.
- Euro-K аналогично ETSI-B, но спектр помех пересчитан на дальний конец.
- AWGN-100 к стыку ADSL подключается соседняя пара (в четверке).

В отечественных телефонных сетях преимущественно используются кабели с пучками десятипарной скрутки, что вынуждает учитывать взаимное влияние всех десяти пар в пучке, а не только соседней пары как в кабелях четверочной скрутки. Именно это обстоятельство заставляет или поднимать предельный спектр помех до AWGN-80, или накладывать жесткое ограничение на предельное число пар, используемых для подключения ADSL.

Приблизиться к соответствию моделей помех европейским для ADSL в наших линиях можно при помощи частотного менеджмента внутри десятипарного пучка. Это предполагает установку таких линейных профилей, при которых каждый бин (подканал DMT) является активным только в одной ADSL-линии (в других ADSL-линиях этот бин заблокирован). Например, для двух ADSL-линий в десятке – в одной линии должны быть заблокированы четные бины, а в другой нечетные. Это, к сожалению, вдвое уменьшит скоростной потенциал линий, но обеспечит эксплуатационную надежность сети за счет частотного разделения линейных сигналов между двумя ADSL-линиями, что эквивалентно отсутствию переходных влияний между парами. Испытания, проведенные Одесским НИИ связи, показали, в частности, что осуществление частотного менеджмента линейных профилей возможно при использовании оборудования DSLAM фирмы Siemens.

Импульсные помехи

Существенное отличие наших местных сетей от европейских состоит в том, что они помимо ЦАТС содержат значительное количество ААТС, которые являются мощными источниками импульсных помех. Спектр предельных помех такого типа определен в рекомендации ITU-T L.19.

Станционные продольные помехи переходят в поперечные из-за недостаточной симметрии пары, а также линейного порта оконечного оборудования (DSLAM). Соответственно, для пары в диапазоне частот ADSL возникает необходимость осуществления контроля мощности не только поперечных, но и продольных помех, как на кроссе, так и в точках ввода кабеля в помещение абонента (рекомендация ITU-T K.24 Method for measuring radio-frequency induced noise on telecommunications pairs (Метод измерения радиочастотных помех, наведенных на парах кабелей связи)).

Для нормальной работы ADSL необходимо, чтобы требуемый уровень помехозащищенности приема обеспечивался для каждого такта принимаемого сигнала (длительность такта ADSL составляет 250 мкс). Современные xDSL-анализаторы, поступающие с европейского рынка, традиционно обеспечивают измерение усредненной мощности помех на интервале около 1 с. Этого обычно достаточно для европейских линий, для которых значения уровня мощности, измеренные на указанных интервалах (от 250 мкс до 1 с), как правило, совпадают.

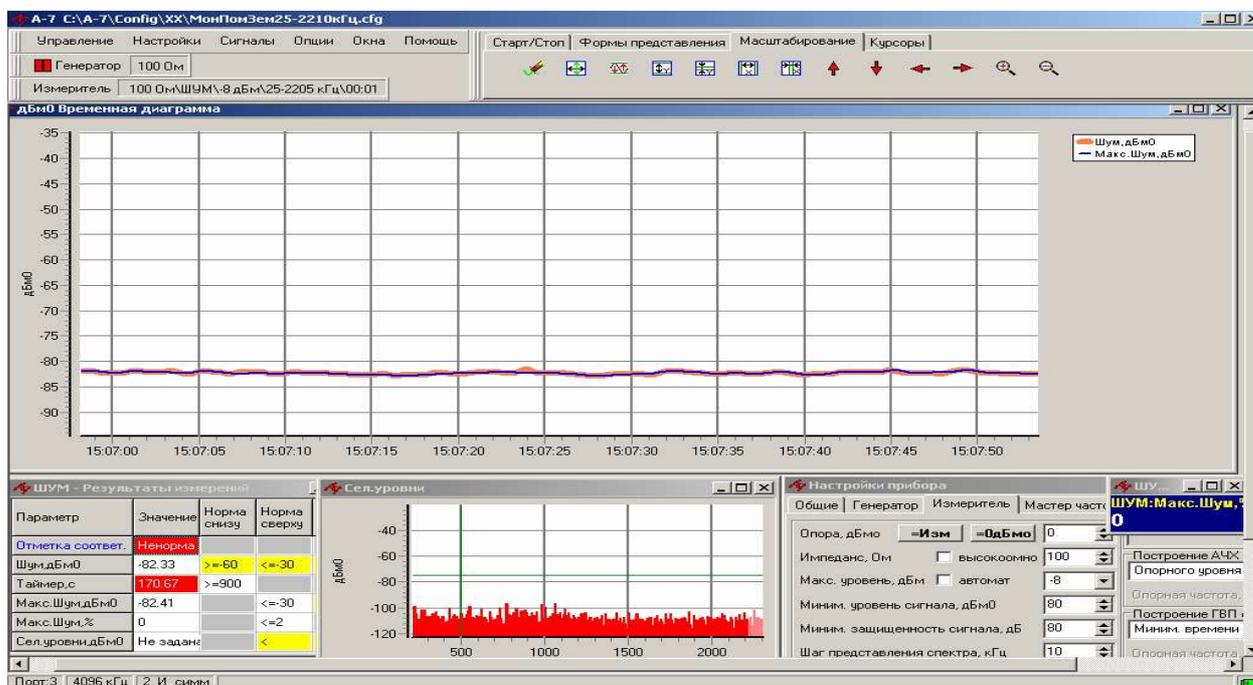


Рис. 1. Пример мониторинга поперечных помех линии ЦАТС EWSD емкостью 10000 номеров – спектр помех не хуже модели AWGN-140; уровни усредненных и максимальных помех практически совпадают

Итак, на наших местных сетях импульсные помехи весьма значительны. Они вызывают появление ошибок в такте, поврежденном импульсом помехи, в то время как остальные такты остаются неповрежденными.

Если отношение временного интервала следования помех к времени действия помехи более 100, то измеренная средняя мощность помех практически не превосходит фоновый уровень. Таким образом, результаты измерений усредненных уровня или спектра помех не покажут и следов наличия импульсных помех.

В то же время, уже при работе цифровой линии из-за наличия редких, но мощных помех на нескольких следующих друг за другом секундных интервалах оборудование цифровой линии зафиксирует наличие ошибок на канальном уровне, что приведет к перезапуску цифровой линии с понижением скорости (Retrain). Но поскольку снижение скорости не позволит приемнику «спрятаться» за границу Шеннона (помехи ведь импульсные, а не стационарные), то работа цифровой линии может быть весьма неустойчивой.

Данная особенность работы цифровых линий приводит к необходимости контроля импульсной мощности помех в полосе частот цифровой линии.

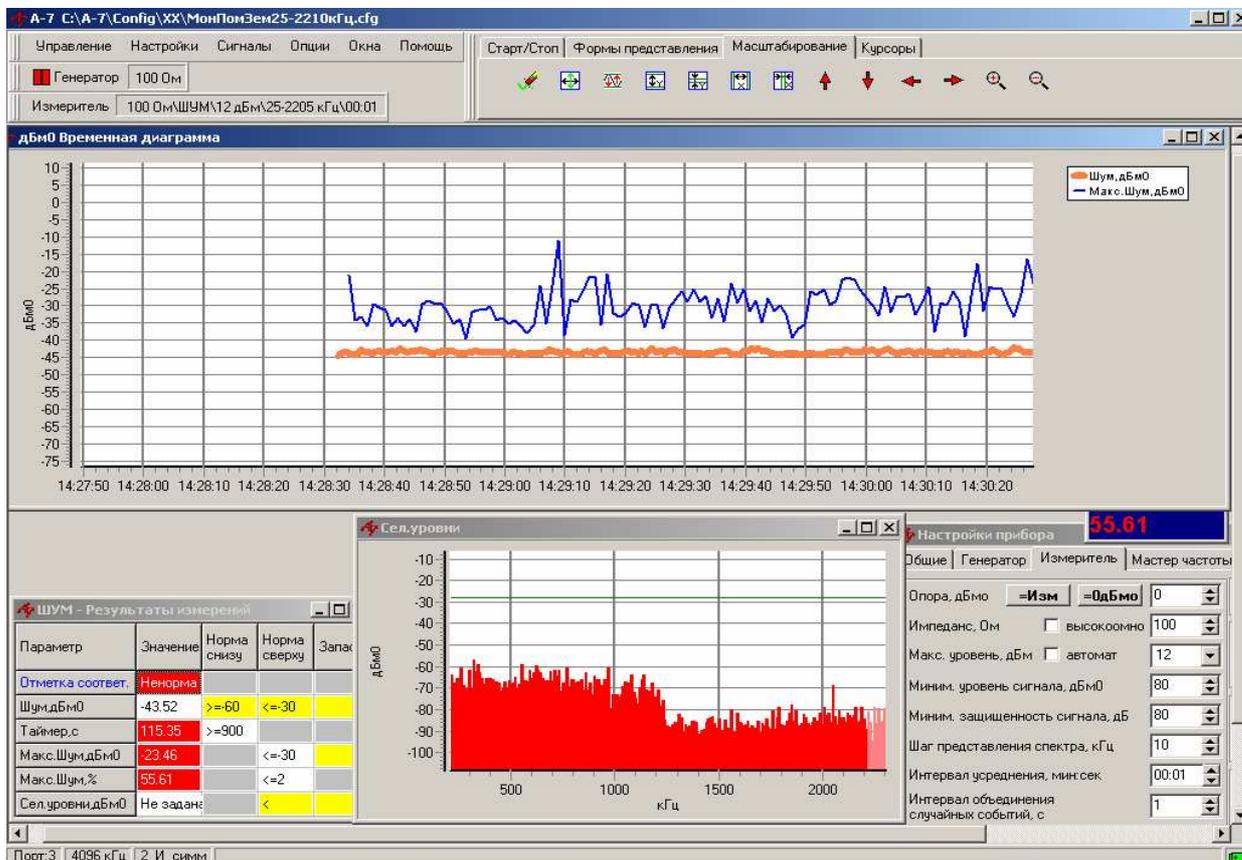


Рис. 2. Пример мониторинга поперечных помех координатной АТС емкостью 50000 номеров - спектр усредненных помех близок к модели AWGN-100, всплески помех превышают усредненный спектр на 5...35 дБ

На рис. 1 и 2 представлены хронограммы выборочных измерений помех на реальных абонентских линиях АТС различных типов. Результаты измерений показывают, что в зависимости от типа АТС разность максимального и усредненного уровня помех в полосе частот ADSL2+ может составлять от 0 дБ (ЦАТС) до 35 дБ (АТСК 50000 номеров)². Измерения проведены посредством анализатора систем передачи и кабелей связи AnCom A-7. Этот анализатор осуществляет не только традиционное с усреднением, но и быстрое измерение мощности помех в заданной полосе цифровой линии и способен представлять следующие параметры:

- **Шум,дБм0** - мощность помех, усредненная на заданном временном интервале (от 1 секунды - как все xDSL-анализаторы);
- **МаксШум,дБм0** - максимальное на интервале времени 1 секунда значение мощности помех в полосе частот ADSL за время, соизмеримое с длительностью такта ADSL-передатчика и составляющее $1/(4000 \text{ Гц})=250 \text{ мкс}$; для параметра «МаксШум,дБм» пользователем может быть задан порог анализа;

² Масштаб величины 35 дБ применительно к помехозащищенности цифровых линий может быть проиллюстрирован таким образом - для ADSL2+ при длине линии 1,0 км (ТП-0,4) снижение защищенности на 35 дБ приведет к падению скорости с 24000 кбит/с до 1000 кбит/с

- **МаксШум,событий** – секундный интервал считается испорченным, если параметр «МаксШум,дБм» превысил заданный порог анализа;
- **МаксШум,%** – процент испорченных секунд по отношению к времени измерений; длительность измерений может быть произвольно задана пользователем.

Условие отсутствия влияния импульсных помех на функционирование xDSL-линии можно сформулировать так: максимальное значение уровня суммарной мощности продольных помех в линии не должно превышать предела, равного минус 30 дБм, на интервале кадра ADSL (250 мкс) и в полосе частот ADSL (26–1104 кГц). Ведь затухание асимметрии пары должно составлять не менее 40 дБ (ITU-T L.19). Тогда при норме продольных помех равной минус 30 дБм уровень поперечных помех составит минус 70 дБм, что при условии равномерности спектрального распределения в полосе ADSL ($10\lg(1104000-26000)=60\text{дБ}$) соответствует спектральной плотности равной минус 130 дБм/Гц.

Это условие следует дополнить: максимальное значение мощности поперечных помех линии на интервале кадра ADSL (уровень всплеска помех) не должно превышать значения уровня мощности, усредненного на интервале в 1 с, более чем на 6 дБ для 99 % секунд каждого 15-минутного интервала времени. То есть доля секунд, испорченных всплесками помех, не может быть больше порогового значения, равного 1 %.

Указанные условия, по сути, являются нормативными требованиями к случайным всплескам помех, так как обеспечивают корректность применимости моделей помех при расчете нормативных скоростных характеристик и радиусов зон гарантированного обслуживания.

Скоростные характеристики

Задав требования к стабильности помеховой обстановки, можно рассчитать нормы скоростных характеристик³ ADSL. Пример семейства скоростных характеристик представлен на рис. 3. В расчете учтены следующие обстоятельства:

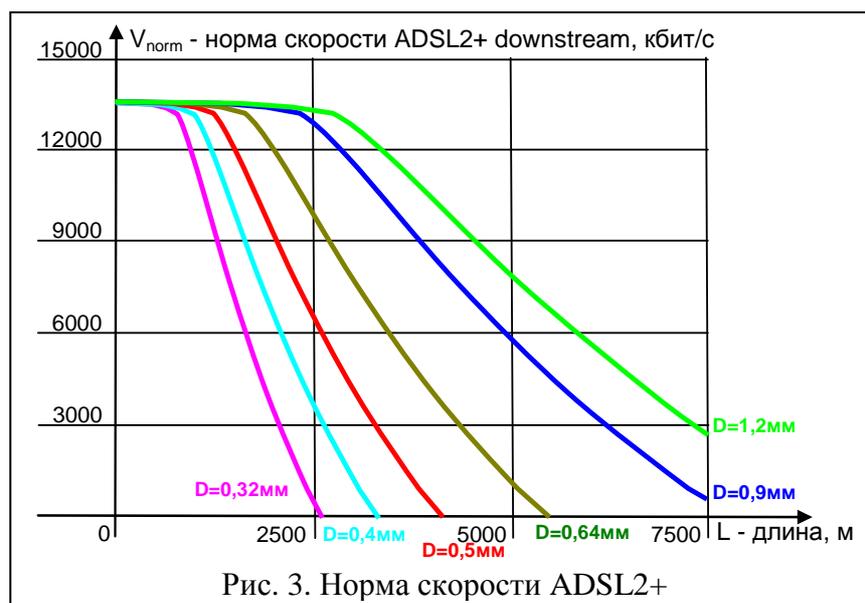
- применяются приемопередатчики ADSL2+ с разделением направлений передачи (downstream-upstream) по частоте, причем полоса частот для downstream составляет 138...2208 кГц (ITU-T G.992.5 Annex A, non-overlapped spectrum);
- нормы условий электромагнитной совместимости ADSL в многопарном кабеле соответствуют рекомендации ITU-T L.19;
- предельный коэффициент цифрового уплотнения многопарного кабеля равен 30% (не более 3-х пар в десятипарном пучке);
- спектр предельных помех не превышает маску ETSI B (ITU-T G.996.1).

Располагая нормами скоростных характеристик, можно определить предельные радиусы зон гарантированного обслуживания. Например, если для предоставления услуги IP TV с принятым у оператора уровнем качества обслуживания (QoS) требуется линейная скорость передачи 12 Мбит/с, то абонент должен находиться на расстоянии не более 1200 м от точки установки DSLAM (диаметр жилы составляет 0,4 мм, технология доступа основана на ADSL2+).

У опытного оператора такое расстояние может вызвать недоумение – ведь ему известны случаи из собственной практики, когда соединение ADSL2+ успешно устанавливалось и удерживалось на скорости равной 12 Мбит/с при длине линии, превышающей 2 км (ТП 0,4 мм). Такой начальный успех может иметь тяжелые последствия. Действительно, окончное оборудование ADSL2+ способно обеспечить линейную скорость 12 Мбит/с на линии до 2,5 км при затухании, соответствующем подключению по кабелю ТП 0,4 мм.

³ Скоростная характеристика цифровой абонентской линии представляет собой зависимость линейной скорости от длины линии для кабеля известного типа и при известном диаметре сечения жил

Такой феномен будет наблюдаться на электронных АТС при тональном наборе номера всеми абонентами, при минимальном уровне помех (AWGN-140) и отсутствии в соседних парах каких-либо цифровых линий. В обычной для Украины абонентской линии такие условия могут наблюдаться глубокой ночью.



Но при несоблюдении любого из указанных условий работоспособность линии на требуемой скорости может быть нарушена. Предлагаемый подход к нормированию скорости определен, исходя из условий электромагнитной совместимости, которые сложатся к моменту завершения развития сети, что выражено выбором нормы уплотнения равной 30 %. Эта норма учитывает природу отечественных кабелей (преобладание кабелей с пучками десятипарной скрутки) при формальном нарушении требования рекомендации ИТУ-T L.19 об обеспечении стопроцентного охвата абонентов услугами, основанными на применении цифровых линий. Однако стремление к полному охвату абонентов потребует снижения нормы скорости, лишит оператора возможности отбора пар и в целом не представляется обоснованным экономически. Последний довод может быть аргументирован следующим фактом. Среди 4265 тысяч абонентов Московской городской телефонной сети количество ADSL-абонентов к весне 2007 года достигло 400 тысяч, что соответствует среднему уплотнению кабелей равному 9,3 %.

Рекомендации по развертыванию сетей

На основании результатов проведенных исследований, опытных инсталляций цифровых линий и выполнения измерительных работ в опытных зонах Одессы и Киева могут быть предложены следующие рекомендации.

1. В процессе развертывания ADSL на существующих абонентских линиях местной телефонной сети операторы (провайдеры) должны контролировать мощность продольных и поперечных помех на интервале кадра ADSL в полосе частот, используемой этой технологией (для стационарной и абонентской стороны линий).
2. В процессе замены аналоговых АТС на цифровые зона обслуживания абонентов должна постепенно преобразовываться из радиальной (ААТС в центре) в распределенную (ЦАТС с выносами). Количество выносов должно быть, как правило, не менее четырех, чтобы охватить всю зону обслуживания заменяемой ААТС.
3. Выносы должны располагаться на расстояниях порядка 2 км друг от друга и от центрального блока ЦАТС. Это позволит сократить максимальную длину линий до 1,5 км (как в большинстве стран Европы).
4. Емкость абонентских окончаний центрального блока ЦАТС и любого выноса, как правило, не должна превышать 10000 номеров. Это уменьшит уровень помех, наводимых от оборудования сети, а также от цепей электроснабжения, электропитания и заземления.

5. Вновь прокладываемые участки магистрального и распределительного кабеля должны выполняться кабелями с четверочной скруткой с диаметром жил более 0,4 мм. Изменение типа скрутки с десятипарной на четверочную повысит защищенность от переходных помех, а увеличение диаметра жил снизит затухание, что в совокупности поднимет скоростной потенциал кабельных линий.
6. В ADSL-линиях должны применяться специальные линейные профили, обеспечивающие частотный менеджмент.
7. Проектирование сетей доступа и заключение договоров о предоставлении услуг на основе ADSL должно осуществляться с применением нормированных скоростных характеристик.
8. Линия, скоростной потенциал которой не соответствует норме, не должна допускаться к применению (выбраковка или ремонт).
9. Контроль влияния цепей электроснабжения и заземления на функционирование цифровых линий должен выполняться в соответствии с требованиями международных нормативных документов, например, ITU-T К.24.