

С.В.Консуров, инженер участка диагностики и ремонта СС ЮУЭС ОАО «ЮТК» \ konsurovsv@mail.kes.ru  
А.В.Кочеров, консультант ОАО «ЮТК» по ЭМС линий ШПД DSL, к.т.н. \ andrey@analytic.ru

Опубликовано в журнале «Вестник связи» №3, 2010, с.28-36

*В статье обобщен опыт практического применения методов контроля условий электромагнитной совместимости (ЭМС) цифровых абонентских линий, образующих сеть широкополосного доступа (ШПД ADSL\ADSL2+) Анапского участка Южного узла электросвязи (ЮУЭС) Южной телекоммуникационной компании (ЮТК).*

### Немного истории и общих мест

Анапский участок образован на базе бывшего районного узла связи сельского типа с типичной структурой: центральная АТС в городе и сеть сельских станций, обслуживающих прилегающие села. Численность постоянного населения составляет (город+село) около 60+60 тыс. человек и увеличивается в несколько раз в летний сезон. К особенностям города следует отнести отсутствие электрического транспорта и промышленности в черте города и высокую долю частного сектора (около 50% от общего числа населения). Здесь будут рассмотрены только городские абонентские линии, использующие технологии ADSL\ADSL2+, полагая, что особенности измерений на сельских абонентских сетях и совместное использование ADSL и SHDSL - это предмет отдельного разговора.

Приход оптики на сети ШПД [6, 7] неизбежен, однако уже в настоящее время из 21600 абонентских линий Анапы технологией ADSL загружено около 5400 (25%) и существует перспектива дальнейшего развития. Таким образом, актуальность решения измерительных задач на линиях ADSL в современных условиях не вызывает сомнений.

Инсталляция линий ADSL в Анапе осуществлялась в соответствии с действующей в ЮТК инструкцией [12] в два этапа:

- аудит сети - работы по измерению скоростного потенциала ограниченного числа линий для определения норм гарантированной скорости в зависимости от длины линии и диаметра жил с использованием известных моделей шумов (AWGN-140, ETSI A, ETSI B);
- массовое внедрение - подключение абонентов без предварительных измерений, но при условии, что длина линии не превышает предельно допустимого значения для требуемой скорости и число уже загруженных линий в 10-парном пучке кабеля не превышает двух (измерения проводятся только при несоответствии скорости норме).

В условиях ограниченности времени и ресурсов такой подход был неизбежен. Если учесть, что последующие измерения с целью устранения неисправностей потребовались менее чем в 20% случаев установки линий, то оправданность использованного метода представляется очевидной.

### Измерительные задачи на современном этапе

Развитие сети вызвало постановку новых задач:

1. **Уточнение норм гарантированной скорости.** Развитие абонентской сети ADSL на современном этапе позволяет уточнить нормы гарантированной скорости, заменив расчетные данные, базирующиеся на теоретических моделях шумов, на данные, полученные на основе измерений реальных линий, работающих в реальной помеховой обстановке.
2. **Паспортизация каждой линии ADSL.** Цель – эффективность использования ресурсов кабельной сети. Чтобы процесс паспортизации не был похоронен непомерной трудоемкостью измерительных работ, целесообразно разбить параметры на две группы:
  - аттестационные параметры - минимум параметров, но для всех линий ADSL;
  - диагностические параметры - локализация неисправностей при ремонтно-восстановительных работах.
3. **Отбраковка неисправных пар.** Неисправность - существенное отклонение параметров от норм. Применительно к ШПД DSL именно скорость является основным эксплуатационным и коммерческим показателем, а, следовательно, и главным критерием отбраковки пар. Традиционно считается, что наибольшая доля неисправностей приходится на распределительный участок и абонентскую проводку, так как магистраль обычно заполнена воздухом или гидрофобом, не подвержена переключениям и посторонним воздействиям. Не оспаривая справедливость сказанного, заметим, что строительство и приемосдаточные испытания магистрали согласно норм ТФОП [9] не учитывают требования технологий DSL. Опыт показал, что в магистральных кабелях (зависит от качества кабеля и монтажа конкретной магистрали) до 15% пар непригодны для передачи широкополосных сигналов вследствие недопустимо высоких переходных влияний. При этом традиционные параметры пары соответствуют нормам [9].

## Что и как измерять

Все параметры, измеряемые на линиях ADSL, обычно разделяют на параметры, измеряемые на постоянном токе и низкой частоте, и параметры, измеряемые в рабочей полосе частот DSL. Рассмотрим их подробнее.

### 1. Добрые старые параметры на постоянном токе

Параметры кабеля на постоянном токе нормированы [9, 10], обеспечены измерительной базой (в Анапе используется линейка хорошо зарекомендовавших себя приборов ИРК-ПРО) и позволяют выявить до 70% неисправностей:

- **Электрическое сопротивление шлейфа** - на практике используется только понятие «есть шлейф\нет шлейфа». Значение сопротивления шлейфа может быть использовано для определения эффективной длины линии (см. ниже).
- **Омическая асимметрия цепи** нормируется [9] как 0,5% от сопротивления жилы. Асимметрия сопротивления исправной жилы в абсолютном значении не превышает 10 Ом и замечательно показывает наличие в цепи плохих контактов. Не следует пренебрегать выходом асимметрии жилы за норму: лишние 5...10 Ом асимметрии могут свидетельствовать о низком качестве контактов, что впоследствии приведет к перерывам или полной потере связи.
- **Электрическое сопротивление изоляции** — основной индикатор исправности кабеля. Низкое значение сопротивления изоляции говорит о наличии в кабеле воды, существенно изменяющей диэлектрическую проницаемость среды, и, поэтому, ухудшающей все параметры переменного тока. Сопротивление изоляции держит первое место по количеству отбракованных с его помощью пар.
- **Рабочая емкость цепи** для кабеля ТПП не зависит от диаметра жилы и хорошо показывает длину линии, даже, если линия составлена из участков с жилами разного диаметра. Емкость пары может показать наличие обрыва линии или нештатного присоединения, но только в том случае, когда длина оборванного участка или присоединяемого провода составляет не менее 10% от длины линии. Нарушение повива в паре на коротком участке (50...200 м) и короткие отводы практически не влияют на емкость пары, но губительны для DSL. Таким образом, соответствие норме емкости пары является обязательным, но не достаточным условием ее работоспособности.

Все перечисленные параметры включаются в паспорт линии сети ТфОП, следовательно, они же должны быть представлены и в паспорте линии для сети ШПД.

### 2. Скоростной потенциал - главный параметр сетей ШПД

Скоростной потенциал линии при заданной помехозащищенности является важнейшим параметром по двум причинам: во-первых, он прямо характеризует главное эксплуатационное качество линии, за которое потребитель платит деньги, и, во-вторых, результат определяется взаимодействием большинства факторов.

В печати достаточно хорошо освещены сущность скоростного потенциала, факторы, влияющие на его изменение, методы измерения и расчетные зависимости скоростного потенциала от длины линии в условиях воздействия помех различных моделей [1, 2, 3, 4, 5]. Но документов, нормирующих скоростной потенциал, в России нет. В [12, 13] приведены нормированные зависимости скорости ADSL2+ от длины кабеля, но эти данные могут быть использованы только для справки.

Причины понятны: частотный диапазон DSL формально не соответствует ТУ, согласно которым некогда производился кабель и выполнялся монтаж линий. Кому предъявлять претензии в случае несоответствия параметров норме? Если не говорить о неисправностях или полной замене кабелей, то серьезно изменить параметры эксплуатируемой кабельной сети нельзя. В этих условиях у эксплуатационных служб есть следующий выход:

- 1) определить статистические характеристики скорости, отражающие особенности местной сети;
- 2) выявить неисправные линии и не учитывать деградацию параметров неисправных линий в статистике;
- 3) на основе обработки статистики определить нормы скорости, которые могут быть гарантированы местной сетью с учетом имеющейся загрузки и запаса на возможное расширение.
- 4) выработать документированные процедуры (ДП), на основании которых осуществлять предоставление абонентам услуг доступа на скоростях и дальностях, не превышающих норм.

Пункт 2.3.4 Правил применения кабелей [10] гласит: «Частотная характеристика собственного затухания кабеля, ... коэффициенты емкостной асимметрии, переходное влияние на ближнем конце и защищенность цепи на дальнем конце в заданном диапазоне частот - должны соответствовать требованиям системы передачи, в которой этот кабель используется». То есть такое требование применительно к существующей абонентской кабельной системе можно трактовать так: следует использовать оборудование так, как это позволяет имеющаяся кабельная система. Другого не дано.

Сказано – сделано. На Рис. 1 в графическом виде представлены нормы скорости для абонентской сети города Анапы, составленные по результатам измерений магистральных кабелей с диаметром жил 0,4 мм (данные предварительные). Графики получены исходя из минимально допустимого запаса помехозащищенности равного 6 дБ. Для линии с произвольным диаметром жил  $D$  графики на рис.1 можно

использовать, заменив фактическую длину линии  $L_D$  на эквивалентную, приведенную к диаметру 0,4 мм:

$$L \approx L_D \frac{0,4}{D} \quad (2.1)$$

или

$$L \approx \sqrt{L_D \frac{R}{278}} \quad (2.2)$$

Здесь:

$L$  - эквивалентная длина линии (км) для кабеля, диаметр жил которой равен 0,4 мм;

$L_D$  - фактическая длина кабельной линии (км) при диаметре жил  $D$ ;

$D$  - диаметр жил линии (мм);

$R$  - сопротивление шлейфа линии (Ом) при диаметре жил  $D$ .

Если линия представлена  $m$  участками с диаметрами жил  $D_i$  и длинами  $L_i$ , то эквивалентная длина составной линии может быть определена по сопротивлению шлейфа (2.2) или суммой эквивалентных длин по участкам:

$$L \approx \sum_{i=1}^m L_i \frac{0,4}{D_i} \quad (2.3)$$

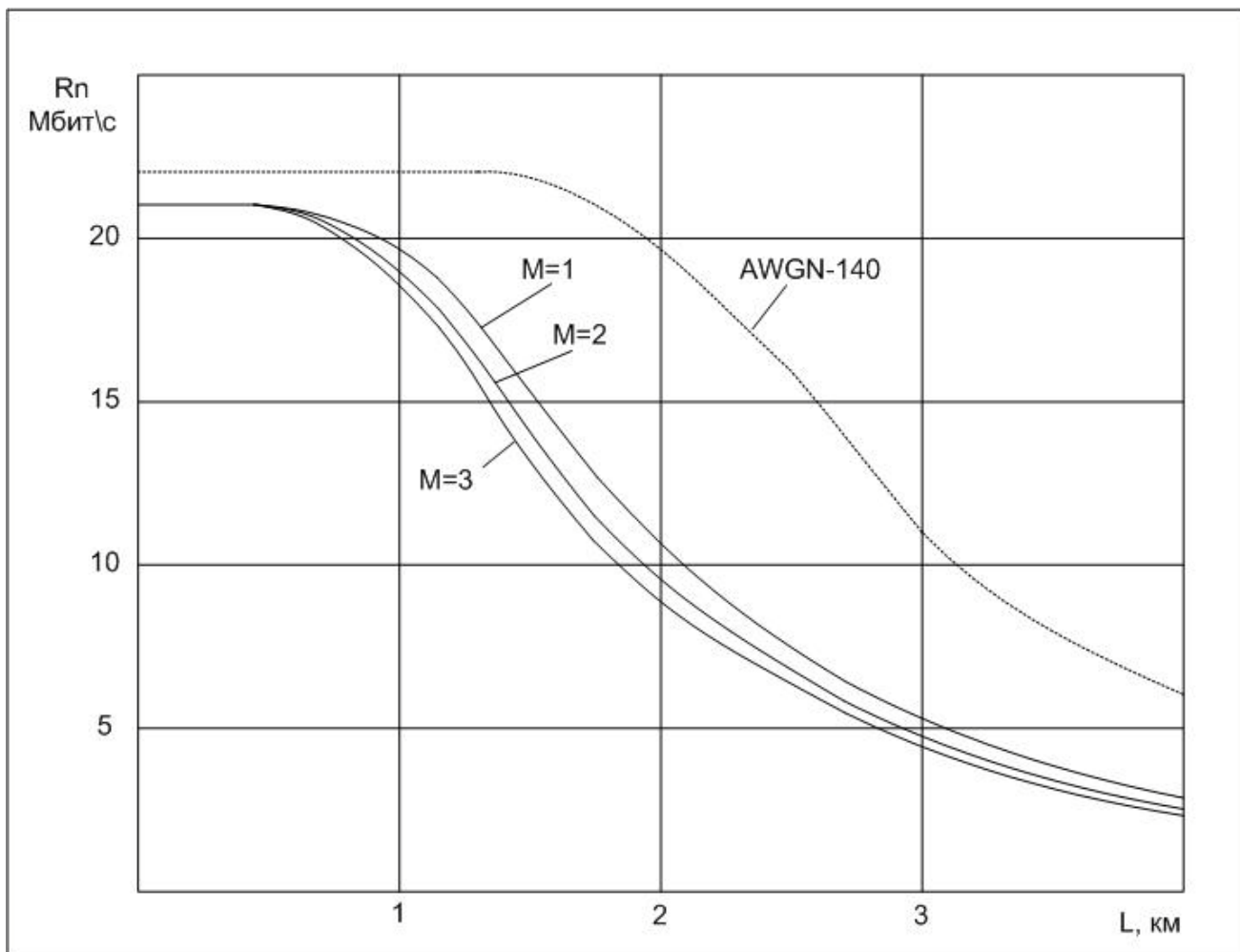


Рис. 1. Норма скорости ADSL2+ для многопарных кабелей ТПП-0,4 абонентских магистралей в Анапском ЛТУ:  $L$  – длина кабеля,  $M$  – загруженность 10-парного пучка,  $R_n$  – норма скорости, AWGN-140 – идеальная модель аддитивного белого гауссовского шума со спектральной плотностью минус 140 дБм/Гц (соответствует уровню собственных помех приемника и предельным данным при работе одной линии в кабеле)

Использование нормы скорости для оценки годности пары весьма эффективно, но имеет свои ограничения. Измерение скоростного потенциала тестируемой пары происходит в условиях воздействия помех от линий ADSL\ADSL2+, работающих в момент измерения. Возможные воздействия других пар в случае их подключения по технологии ADSL\ADSL2+ не учитываются. Для исправных пар влияние дополнительных подключений можно спрогнозировать, зная тенденцию снижения скорости по графикам, аналогичным представленным на Рис. 1.

Для измерения скорости можно воспользоваться встроенными программными средствами узла доступа или специализированными приборами. Если на абонентской стороне подключен модем, то первый способ проще, но он не обеспечен метрологически и, следовательно, не может использоваться для создания нормативной базы и паспортизации линий. Практическое применение встроенных средств измерения осложняется многообразием протоколов, поддерживаемых модемами абонентов, и искусственным снижением скорости, используемым абонентами для повышении запаса помехозащищенности.

### 3. Переходные влияния как воплощение кабельного коварства

Переходные влияния между парами являются главным источником помех и вместе с затуханием линии  $A(f)$  [13] определяют скорость линии. Но использовать частотные характеристики (ЧХ) затухания [8] переходных помех на ближнем конце -  $NEXT(f)$ , затухания переходных помех на дальнем конце -  $FEXT(f)$  и эквивалентный уровень переходных помех на дальнем конце -  $ELFEXT(f)=FEXT(f)-A(f)$  для оценки качества находящейся в эксплуатации кабельных линий связи крайне сложно. Причины следующие.

- 1) ЧХ переходного влияния в диапазоне частот DSL имеют существенно неравномерный характер. В кабеле ТПП разница между минимальным и максимальным значением переходного влияния в диапазоне частот до 2200 кГц может достигать 20 дБ (здесь и далее количественные оценки даны по результатам измерений, проделанных в Анапе с помощью анализаторов AnCom A-7). Поэтому нормировать такую ЧХ и проверять ее на соответствие норме следует именно в диапазоне частот [2, 3, 5], а не на одной или нескольких выбранных частотах, как это делалось до недавнего прошлого.
- 2) Неисправная пара имеет повышенные переходные влияния, как правило, в комбинации с одной, реже — с несколькими парами. Обнаружить эти комбинации можно, только проверив все возможные сочетания. Повышенные переходные влияния между парами разных десятков встречаются редко, а число требуемых проверок возрастает пропорционально квадрату числа проверяемых пар, поэтому обычно ограничиваются проверкой комбинаций в пределах десятка (45 комбинаций).
- 3) Применительно к ADSL\ADSL2+ целесообразно контролировать ЧХ  $ELFEXT(f)$ . Эквивалентный уровень  $ELFEXT(f)$ , измеренный для всех возможных сочетаний пар одного десятка (по принципу «каждая с каждой») дает наиболее достоверную информацию об исправности пар этого десятка. Но организация подобных работ крайне осложнена и практически невозможна без применения специализированных средств измерений, размещаемых на двух сторонах кабельной линии. Необходим вывод кабеля из-под нагрузки. Само по себе измерение  $ELFEXT$  не дает ответа на вопрос о пригодности пары к работе с заданной скоростью и может использоваться только для контроля исправности кабеля (пучка).
- 4) Затухание переходных помех на ближнем конце –  $NEXT(f)$  измерить гораздо проще, чем  $ELFEXT(f)$ , так как измеритель и генератор находятся рядом, а не на разных концах кабеля. Но, как известно, при частотном разделении направлений передачи, то есть для технологий ADSL\ADSL2+ частотная характеристика  $NEXT(f)$  не вполне информативна.
- 5) Если ЧХ  $NEXT(f)$  все же принята к измерению, например, для контроля исправности кабеля, то следует понимать ограниченность возможности такого тестирования в случае, если дефектный участок удален от конца кабеля. На Рис. 2 показано, как влияет на переходные помехи  $NEXT(f)$  и  $FEXT(f)$  расщепление пар, допущенное на участке длиной 210 м на прилегающем участке и на удалении 630 м от места измерения. Можно утверждать, что в кабеле ТПП-0,4 влияние расщепления пар на участке длиной 210 м на параметр  $NEXT(f)$  будет практически незаметно с расстояния более 1000 м и хорошо диагностируется на расстоянии до 600 м. Следует отметить, что по форме спектра  $NEXT$  можно судить о месте расположения поврежденного участка: чем дальше находится поврежденный участок от точки измерения, тем больше проявляется завал спектра в области высоких частот, обусловленный увеличением затухания линии с ростом частоты.

Корректное нормирование переходных влияний в полосе частот осуществляется с помощью масок, задающих максимально допустимые значения переходных влияний на разных частотах. В [11] переходные влияния задаются в трех точках, на частотах 150, 300 и 1000 кГц, которые можно использовать для формирования маски методом линейной интерполяции. Стандарт ANSI T1.417-2001 задает нормы для  $NEXT(f)$  и  $FEXT(f)$  с помощью формул. В [3] показано, что линии связи, выполненные кабелем ТПП, в основном, удовлетворяют этим нормам. Проведенные измерения подтверждают этот факт.

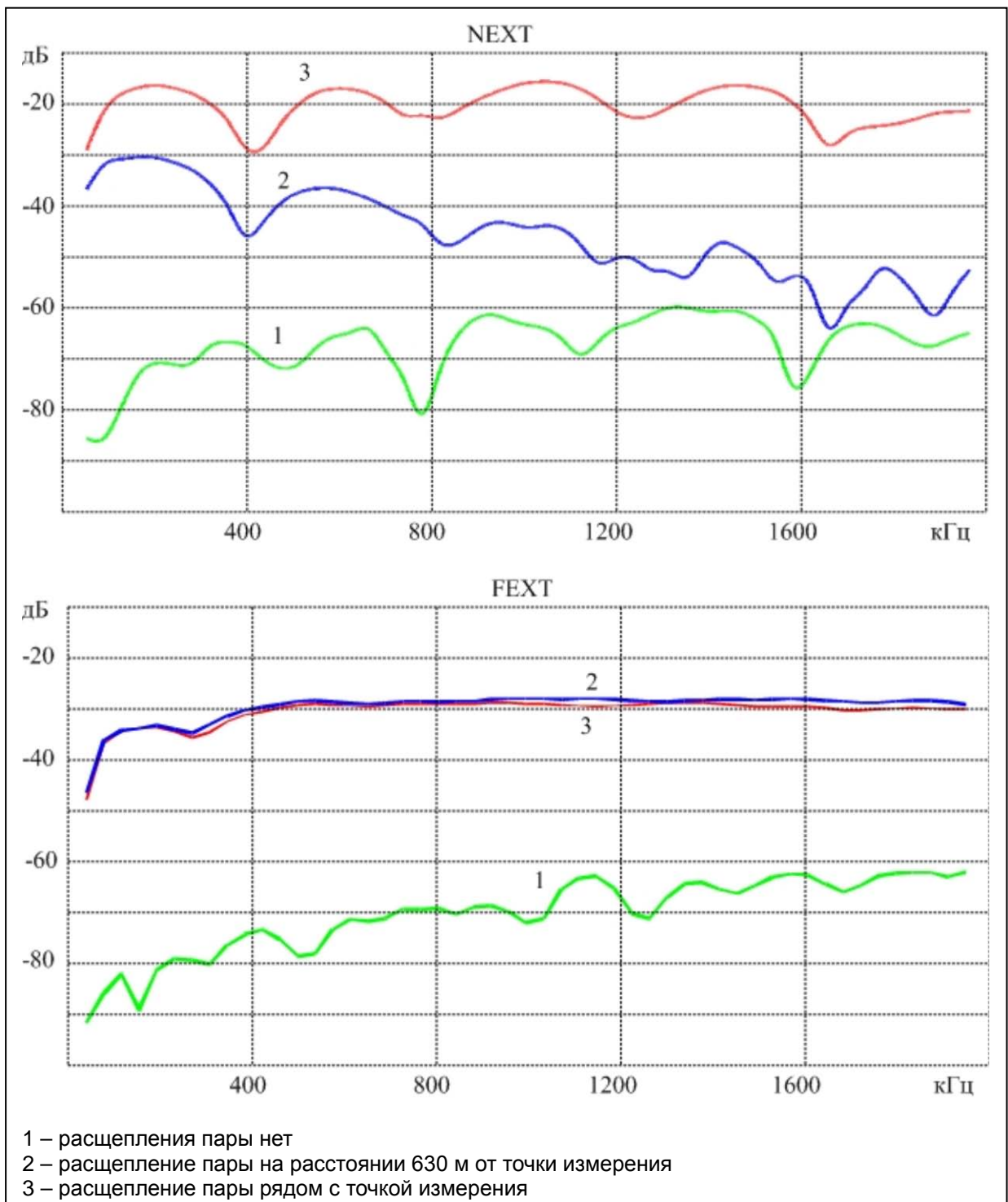


Рис. 2. Влияние расщепления пар на участке 210 м на NEXT(f) и FEXT(f).

Линия связи длиной 840 м, кабель ТПП-0,4.

Значения затухания равны абсолютным значениям приведенных на графиках величин уровня переходной помехи, измеренного относительно уровня генератора

#### 4. Затухание несогласованности и затухание асимметрии - искрение, но «недальновидные» параметры

Искренность этих параметров состоит в том, что они каждую пару рассматривают индивидуально, без взаимодействия с другими парами. Для того чтобы оценить качество пары, достаточно сделать одно измерение. «Недальновидность» - это невозможность увидеть дефекты, находящиеся на некотором расстоянии от точки измерения. На Рис. 3 показано, как затухание асимметрии  $LB(f)$  и затухание несогласованности  $RL(f)$  характеризуют расщепление пар на участке длиной 210 м, расположенном в непосредственной близости от точки измерения и на удалении 210 м от нее. Из рисунка видно, что уже на расстоянии 210 м по этим ЧХ определить наличие расщепления пар затруднительно. Сопоставление данных Рис. 2 и 3 показывает, что «дальновидность» ЧХ затухания асимметрии  $LB(f)$  и несогласованности  $RL(f)$  меньше, чем «дальновидность» переходного влияния NEXT(f).

Практические измерения не выявили однозначных связей между  $LB(f)$ ,  $RL(f)$  и NEXT(f). Различные неисправности могут влиять в большей степени на одни параметры и в меньшей - на другие. Например, графики на Рис. 2 и 3 показывают, что расщепление пар вызывает снижение NEXT(f) в среднем на 40 дБ, тогда как  $LB(f)$  уменьшается только на 12 дБ. Это можно объяснить тем, что при расщеплении пар электромагнитное взаимодействие внутри системы из четырех проводников, образующих расщепление, гораздо сильнее, чем между каждым проводником и экраном. Первое взаимодействие определяет NEXT(f), второе -  $LB(f)$ . Другой пример: соединение одного из проводников пары с посторонним проводником длиной 10..20 м изменяет  $LB(f)$  более чем на 30 дБ, но мало отражается на NEXT(f). Здесь подключение даже небольшой дополнительной емкости в точке измерения существенно изменяет симметрию напряжений на проводах пары, уменьшая  $LB(f)$ , но симметрирующие свойства линии быстро восстанавливают статус-кво по длине линии и заметного изменения NEXT(f) не происходит.

Нормирование ЧХ  $LB(f)$  и  $RL(f)$  осуществляется согласно [11] на уровне 40 и 16 дБ соответственно. Кабели ТПП в исправном состоянии, как правило, удовлетворяют этим нормам, однако относиться к результатам следует с осторожностью: несоответствие ЧХ нормам явно указывает на наличие неисправности, но факт соответствия нормам не гарантирует отсутствия удаленного дефекта.

Напротив, диагностика внутристанционных кабелей или распределительных кабелей в пределах до 200 м является вполне эффективной и однозначной именно с использованием ЧХ  $LB(f)$  и  $RL(f)$ .

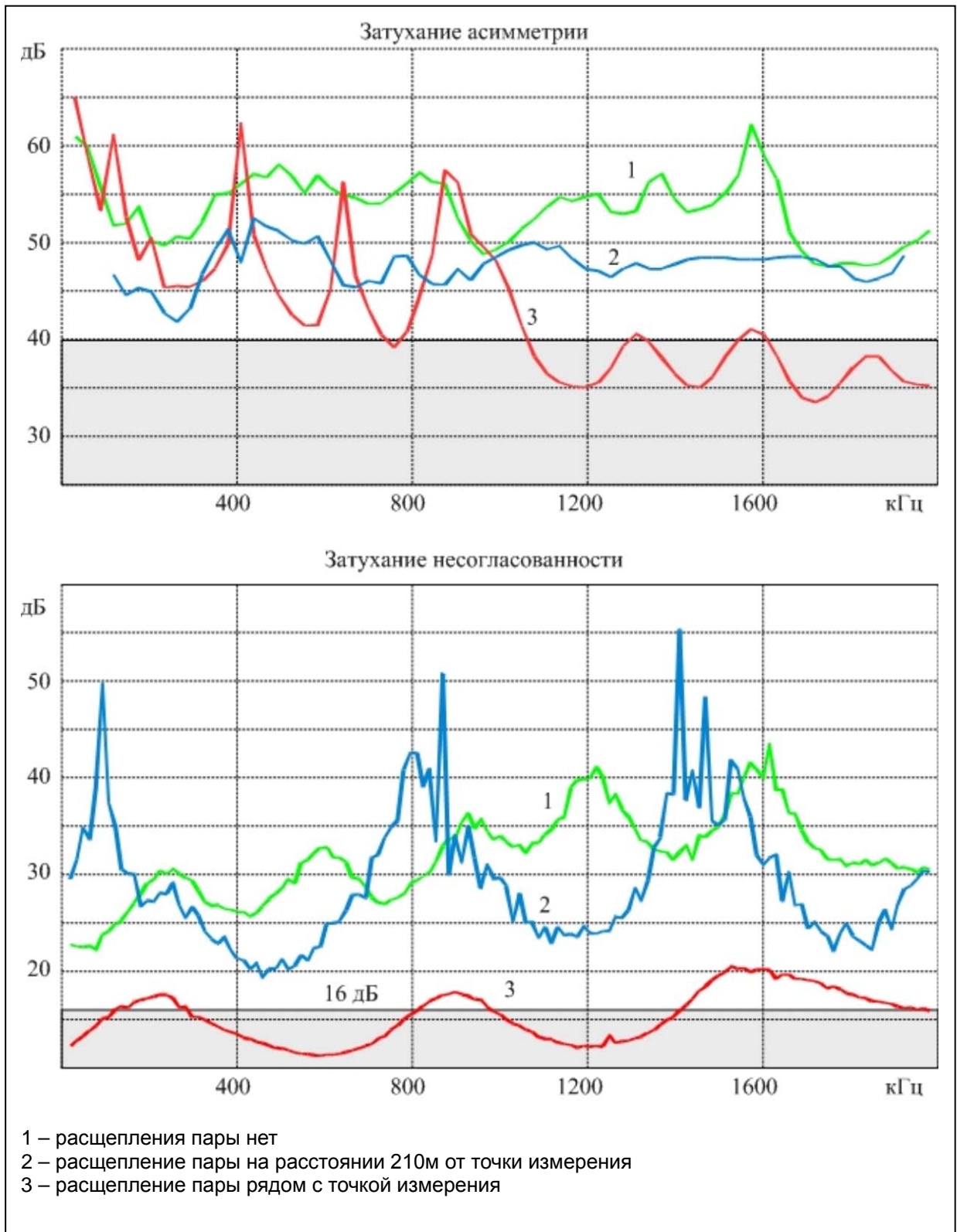


Рис. 3.. Влияние расщепления пар на участке 210 м на затухание асимметрии и затухание несогласованности.

Линия связи длиной 840 м, кабель ТПП-0,4.  
 Заштрихована область недопустимых значений



Использование ЧХ затухания асимметрии эффективно при диагностике стационарного участка линии ADSL/ADSL2+ - от плинтов кросса до входных цепей порта DSLAM. Прибор, подключенный к плинтам кросса в сторону узла доступа (линию необходимо отключить), фиксирует любые нарушения асимметрии на всем стационарном участке вплоть до входных цепей порта DSLAM. Короткая длина линии обеспечивает корректное измерение асимметрии. Причиной небольших отклонений LB(f) от нормы (до 10 дБ) являются дефекты сплиттеров, связанные с разбросом параметров его компонентов. Катастрофические отклонения (более 20 дБ) вызываются обрывом одного из проводов пары или замыканием его на землю или другие провода. Так, например, были обнаружены замыкание провода на корпус в разъеме подключения к DSLAM, замыкание провода на конструктив кросса, обрыв кроссировки, замыкание контактов в корзине установки сплиттеров. При измерениях необходимо помнить, что в цепи находится сплиттер, который на частотах ниже рабочего диапазона ADSL вместо порта DSLAM подключает к линии низкочастотные цепи АТС. В связи с этим контроль асимметрии следует проводить в полосе частот выше 120 кГц (начало диапазона ADSL/ADSL2+ Annex B).

## 5. Шумы, как много в этом слове

Основную долю помех на линиях абонентской сети Анапы составляют переходные помехи. Среди переходных помех можно выделить помехи фона и помехи непосредственного переходного влияния.

Помехи фона образуются от воздействия всех работающих в кабеле цифровых линий кроме линий своего десятка. Они мало зависят от подключения отдельных линий и определяются общим количеством работающих цифровых линий в кабеле. На кроссе центральной АТС Анапы уровень помех фона, измеренный в полосе 20...2200 кГц, находится в пределах минус (33...50) дБм, что соответствует модели помех AWGN-96...AWGN-113. В пределах одного десятка исправного кабеля разброс помех фона не превышает 5 дБ для 80% пар в десятке и 10 дБ для остальных пар. Такую равномерность фона в пределах одного десятка можно использовать для диагностики пар: если уровень помехи фона в какой-то из пар превышает средний уровень фона остальных пар десятки больше чем на 10 дБ, то такую пару можно считать неисправной.

Помехи непосредственного переходного влияния наводятся, как правило, от пар своего десятка и вызывают заметные отклонения уровня наведенной помехи. На кроссе центральной АТС для 90% исправных пар увеличение помехи при подключении одной влияющей пары не превышало 10 дБ, а для оставшихся 10% не превышало 15 дБ. Подключение второй влияющей пары увеличивает уровень помехи для 90% пар не более чем на 3 дБ, а для оставшихся 10% - не более чем на 10 дБ.

Уровень помех непосредственного переходного влияния составляет минус (30...45) дБм, то есть уровень минус 25 дБм может быть принят за норму помех на стационарной стороне; превышение нормы свидетельствует о неисправности пары.

Наведенные помехи можно разделить по их источнику на помехи от нисходящего (к абоненту) потока Ndn и помехи от восходящего (от абонента) потока Nup. На кроссе АТС первая будет помехой NEXT, а вторая - помехой FEXT. Спектры Ndn и Nup лежат в разных частотных диапазонах, следовательно, эти помехи могут быть измерены независимо друг от друга. Для этого в настройках измерителя необходимо установить диапазон анализа равным 20...140 кГц при измерении Nup и 140...2200 кГц при измерении Ndn (для линий Annex A).

Уровень Ndn на кроссе АТС гораздо выше уровня Nup, во-первых, потому что источник рядом, во-вторых, потому что сам источник мощнее (Sdn=+20 дБм против Sup=+14 дБм), и, в-третьих, — на АТС сконцентрировано множество источников Ndn. Все показатели, которые были приведены в этом разделе для переходных помех, прямо касаются Ndn.

На кроссе АТС уровень помехи Nup лежит в пределах минус (65...85) дБм. Увеличение уровня Nup выше минус 60 дБм можно считать признаком неисправности пары.

Помеха Nup интересна тем, что, будучи помехой FEXT, она поступает на кросс станции с противоположного конца, диагностируя тем самым линию по всей длине. На Рис. 4 представлены спектры помех на кроссе АТС с нормальным и повышенным уровнем помехи Nup, который свидетельствует о наличии неисправности в кабеле. Нормальный уровень помехи Ndn говорит о том, что дефект расположен на удалении от ближнего конца (кросса АТС).

Не следует пренебрегать значением помехи Ndn на кроссе АТС. Здесь она соединяется с сигналом Sdn и определяет начальное соотношение «сигнал/шум», с которым сигнал передается к абоненту. Если Ndn=-30 дБм, а Sdn=+20 дБм, то соотношение «сигнал/шум» составит:

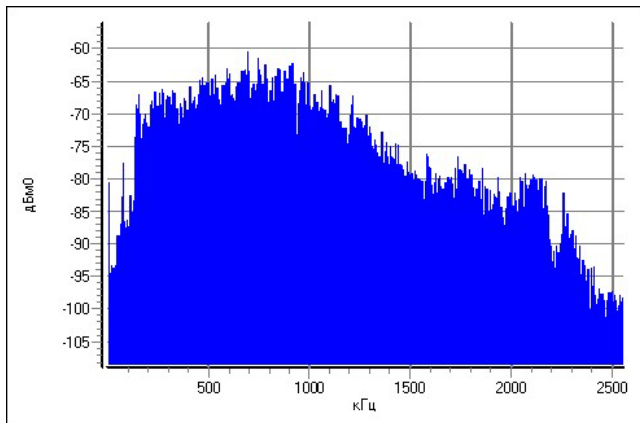
$$\text{SNR}=\text{Sdn}-\text{Ndn}=20-(-30)=50 \text{ дБ},$$

что при обычном значении заданного запаса помехозащищенности равном 6 дБ и запаса неидеальности приемника, равном 10 дБ оставляет  $50-6-10=34$  дБ на то, чтобы передавать поток с кратностью  $34/3=11$  бит/бин (что удовлетворительно).

Но, если, вследствие неисправности, уровень помехи поднимается до значения Ndn=-5 дБм (реально наблюдавшаяся автором величина!), то сигнал/шум составит:

$$\text{SNR}=\text{Sdn}-\text{Ndn}=20-(-5)=25 \text{ дБ},$$

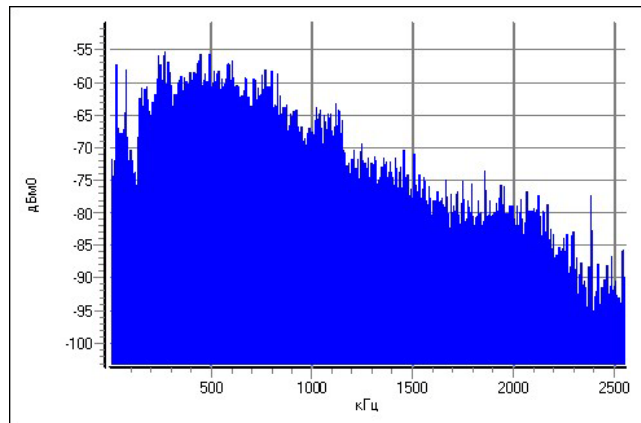
а это позволит нести лишь  $(25-6-10)/3=3$  бит/бин, что явно не соответствует возможностям современного оконечного оборудования (до 15 бит/бин) и задачам оператора.



*Влияющего сигнала в десятке нет:*

$N_{dp} = -70$  дБм

$N_{dn} = -41$  дБм



*Есть влияющий сигнал в десятке:*

$N_{dp} = -49$  дБм

$N_{dn} = -36$  дБм

*Рис. 4. Повышение уровня  $N_{dp}$  в неисправной паре на кроссе АТС (см. область низких частот до 138 кГц)*

На удаленном конце линии основной интерес представляют помехи  $N_{dn}$ : во-первых, они прямо определяют работоспособность наиболее уязвимой - абонентской стороны приема, и, во-вторых, для удаленного конца линии они являются помехами типа FEXT, то есть помехами, отражающими состояние кабеля по всей его длине.

Помеха  $N_{dn}$  на удаленном конце определяется суммой описанных выше помех на прилегающем к АТС участке и помех FEXT от соседних пар, проникающих в тестируемую пару по всей длине. Для коротких линий (до 500 м) уровень и характер помех на удаленном конце линии мало отличается от помех на АТС. По мере увеличения длины линии помехи, возникшие на прилегающем к АТС участке, ослабляются затуханием линии, и общий уровень помех  $N_{dn}$  на удаленном конце снижается. Так, для кабеля ТПП-0,4 помехи  $N_{dn}$  на расстоянии 1500 м от АТС лежат в диапазоне минус (50...65) дБм. Но на расстоянии 2000 м и более снижение помех останавливается на уровне минус (60...75) дБм и дальше 3000 м наблюдается некоторый рост (около 3 дБ/км). Это связано с тем, что в составе помех начинают доминировать помехи FEXT, проникающие в линию по всей ее длине.

Эффективную диагностику на удаленном конце, так же, как и на АТС, обеспечивает сравнительный анализ помех в соседних парах. Разброс значений  $N_{dn}$  на удалении больше 1500 м для исправных пар одного 10-парного пучка обычно не превышает 5 дБ, редко - 10 дБ. Следовательно, увеличение  $N_{dn}$  на удаленном конце в одной из пар относительно среднего значения  $N_{dn}$  других пар десятка больше чем на 10 дБ можно считать неисправностью.

Допустимый уровень помех в [11] определен величиной минус 40 дБм. Как было показано выше, применить эту норму на практике не представляется возможным. Так, уровень помех на АТС может достигать до значений минус 35 дБм на исправных линиях, и это не будет катастрофой. Зато на расстоянии 3000 м уровень помехи минус 45 дБм может быть недопустимо большим. Конкретные цифры существенным образом зависят от особенностей эксплуатируемой абонентской сети. Поэтому, представляется целесообразным формирование местных норм допустимого уровня помех, учитывающих не только особенности местной сети в целом, но и отдельных ее участков. При создании таких норм необходимо обратить внимание на то, чтобы неисправности не были приняты за местные особенности.

## 6. Скоростной потенциал + переходное влияние = методика измерений

Из вышесказанного следует очевидный вывод: только совместное измерение скоростного потенциала и эквивалентного уровня переходного влияния на дальнем конце (ELFEXT) между тестируемой и всеми соседними парами может гарантированно определить пригодность пары (пучка, кабеля) к работе по технологии ADSL\ADSL2+ с нормированной скоростью. Возникает не менее очевидный вопрос: что же делать тем, у кого нет специализированного измерительного комплекса для измерения ELFEXT в диапазоне частот между всеми возможными сочетаниями пар в 10-парном пучке? В качестве ответа предлагается методика измерений годности пары, основанная на применении одного или двух универсальных анализаторов систем передачи и кабелей связи и тестовой пары «порт DSLAM — модем ADSL2+». Методика может использоваться как при инсталляции, так и при паспортизации линий ADSL\ADSL2+.

- 1) С помощью графика (см. Рис. 1) по учетным данным определяется норма скорости линии. В норму учитывается возможное снижение скорости при расширении абонентской сети ADSL\ADSL2+. Если норма скорости устраивает клиента, работы продолжаются.
- 2) Измеряются первичные параметры. Результаты измерений заносят в паспорт. При соответствии параметров действующим нормам [10] продолжают измерения. В противном случае выполняется цикл работ по ремонту или замене пары.
- 3) С помощью анализаторов измеряется скоростной потенциал линии. На линиях короче 1500 м можно выполнять измерения одним анализатором по технологии SELT от дальнего конца. На больших расстояниях рекомендуется использовать два анализатора. Результат измерения заносится в паспорт. Вместе с результатом в паспорте фиксируется количество линий ADSL\ADSL2+, работающих в том же 10-парном пучке во время измерений. Измерения продолжаются, если измеренный скоростной потенциал превышает норму скорости с учетом возможного уменьшения скоростного потенциала при расширении сети.
- 4) Оценивается переходное влияние на дальнем конце тестируемой пары на все остальные пары 10-парного пучка. Для этого, к тестируемой паре на АТС подключают тестовый порт DSLAM. На дальнем конце подключается тестовый модем ADSL2+. Сначала с помощью анализатора измеряют уровни помех на дальнем конце для всех пар 10-парного пучка при выключенном питании на тестовом модеме (тестовый порт при этом не генерирует влияющий сигнал). Пары, уровень помех которых выше среднего уровня помех в остальных парах десятки больше чем на 10 дБ, фиксируются как неисправные и из рассмотрения исключаются. Далее, включается питание на тестовом модеме (тем самым, включается генерация влияющего сигнала от тестового порта) и повторно измеряются уровни помех на всех парах, кроме тестируемой. Уровни помех при этом не должны превышать уровни, измеренные на первом этапе, больше чем на 5 дБ. Если это условие выполняется для всех пар, то тестируемая пара признается годной без ограничений. Если условие не выполняется для одной-двух пар, то рассматривается возможность использования тестируемой пары со всеми парами кроме пар, не прошедших контроль. Пары, с которыми не возможно использование тестируемой пары, отмечаются в паспорте тестируемой пары. В случае невыполнения условия для трех пар и более тестируемая пара признается непригодной для использования с технологией ADSL\ADSL2+.
- 5) В том случае, когда в одном 10-парном пучке вместе с тестируемой парой в магистральном и распределительном кабелях идут разные пары, процедуру оценки переходного влияния на дальнем конце следует выполнять и на конце распределительного кабеля (в РК), и на конце магистрального кабеля (в РШ).

Предлагаемая методика основана на нормативах, представленных в Табл. 1, достоверно определяет годность пары без использования специализированных измерительных комплексов и при этом не обладает чрезмерной трудоемкостью. Следует отметить ограниченное число протоколируемых параметров. Кроме параметров постоянного тока в протокол линии заносится только значение скоростного потенциала и факт соответствия норме переходных влияний на дальнем конце.

## Куда движется DSL?

Маршрут движения в литературе обозначен [5, 6, 7] и реализуется на практике. В Анапе за последние два года введены в эксплуатацию 4 подстанции NGN в местах компактного проживания населения. Таким образом, четко просматривается тенденция уменьшения длины магистралей. Ремонт распределительных участков осуществляется с помощью цифровых кабелей. В перспективе - полная замена магистралей на оптику, а распределения - на цифровые кабели. Это позволит полностью реализовать возможности самых современных технологий DSL. Так применение VDSL2 при заполнении кабеля длиной до 300 м (длина распределительных участков обычно не превышает этого значения) цифровыми линиями на 100% согласно [5] гарантирует скорость доступа от 44 Мбит/с на существующих кабельных сетях, соответствующих рекомендации [11]. Если же при реконструкции сети использовать кабели для цифровых систем, с высокими показателями защищенности от переходных влияний, достигнутыми российской кабельной промышленностью, то можно гарантировать скорость до 82 Мбит/с.

Следует заметить, что ухоженность кабельной сети (показатели: объективные – обнаружение «ЭМС-неисправностей» и выполнение ремонта кабелей, субъективные – изученность вопроса обеспечения ЭМС DSL персоналом), достигнутая за годы освоения ADSL\ADSL2+, способна обеспечить устойчивую работу сети при переходе к VDSL2.

*Таблица 1. Сводка нормируемых параметров кабельных линий для ADSL\ADSL2+*

Наименование и обозначение параметра (характеристики)	Диапазон частот, кГц	Нормы	Примечания
Параметры постоянного тока (сопротивление изоляции и шлейфа, емкость, асимметрия омическая и емкостная)	до 1,02	Изложены в нормативных документах	ОСТ 45.36-96. Правила применения кабелей связи с металлическими жилами
Загрузка 10-парных пучков цифровыми линиями	-	>60%	Достигнута загрузка на 25% - система ШПД DSL работоспособна, обещанной катастрофы по ЭМС не случилось, ресурс клиентской базы не исчерпан
Несогласованный отвод	-	<10 м	Если устранение отвода невозможно, то он должен быть хотя бы согласован, что обеспечивается расходом одного абонентского сплиттера и резистора с сопротивлением 100 Ом
Скоростной потенциал в зависимости от длины линии - Rn(L)	-	Рис. 1 с учетом (2.1) - (2.3)	Нормы определяются путем анализа результатов паспортизации DSL конкретной сети и могут пересматриваться по мере ее развития
Уровень помех на станционной стороне - Nup	20...140	<-60 дБм	
Уровень помех на станционной стороне - Ndn	140...2200	<-25 дБм	
Уровень помех на абонентской стороне - Ndn	140...2200	500 м: <-35 дБм 1500 м: <-45 дБм 3000 м: <-55 дБм	
Отклонение помех Nup и Ndn от среднего значения в 10-парном пучке	См. выше	<10 дБ	
Переходное затухание – NEXT(f)	20...2200	150 кГц: >56 дБ 300 кГц: >52 дБ 1000 кГц: >44 дБ	ITU-T L.19; эффективно при L<600 м*
Затухание асимметрии - LB(f)	20...2200	>40 дБ	ITU-T L.19; эффективно при L<200 м*
Затухание несогласованности - RL(f)	20...2200	>16 дБ	ITU-T L.19; эффективно при L<200 м*

\* здесь L — расстояние от точки измерения, на котором неисправность линии может существенно влиять на измеряемый параметр; при большем удалении дефекта эффективность его диагностики выбранным методом практически отсутствует.

## Выводы или «Что делать?»

1. Создавать нормативную базу скоростных характеристик, отражающую особенности конкретной сети, и использовать эту базу как главный критерий оценки годности пары. Использовать систему норм, представленную в Табл. 1 в качестве исходного материала.
2. Приступить к паспортизации линий ADSL/ADSL2+ на основе измерения их параметров. Необходимость паспортизации во многом определяется увеличивающимся коэффициентом загрузки сети. Паспортизация и связанные с ней измерения позволят точнее учесть местные условия ЭМС и не допустить необоснованного сокращения клиентской базы.
3. Включить в паспорт следующие аттестационные параметры (определяют работоспособность ADSL\ADSL2+): электрическое сопротивление шлейфа и изоляции, омическую асимметрию и рабочую емкость цепи, скоростной потенциал линии, отсутствие повышенных переходных влияний на дальнем конце. Затухание асимметрии, затухание несогласованности, переходное затухание на ближнем конце нецелесообразно использовать в качестве аттестационных параметров, так как они характеризуют линию лишь на незначительном участке ее длины и их можно использовать только для целей диагностики.
4. Для диагностики линии эффективен контроль спектра шумов на конце пары - сопоставление спектров шумов соседних пар может много рассказать как о дефектах тестируемой пары, так и о мешающих соседях.
5. Для диагностики станционного участка показан контроль затухания асимметрии, проводимый на линейных рамках кросса в сторону DSLAM. Эта характеристика имеет высокую чувствительность к различным неисправностям станционного участка линии ADSL/ADSL2+ и не маскируется затуханием линии вследствие малости ее длины.

## Литература

1. А.В. Кочеров. Ограничение скоростного потенциала асимметричной цифровой абонентской линии электрическими характеристиками медных кабелей. Электросвязь №11/2004, с.18-21.
2. А.В. Кочеров. Нормирование ADSL — физический уровень. Вестник связи №6/2007, с.29-40.
3. А.В. Кочеров, Д.В. Хвостов. ADSL2+ и VDSL2. Нормирование и управление эксплуатационной надежностью сетей ШПД. Вестник связи №4/2008, с.12-21.
4. А.В. Кочеров. Эксплуатационная надежность сетей ШПД — xDSL. Нормирование и инструментальный контроль. Техника связи №3/2008, с.20-31.
5. А.В. Кочеров, Ю.Ф. Гаврилюк, Н.И. Тарасов, Д.В. Хвостов. DSL на 100%. Вестник связи №6/2009, с.52-57.
6. Н.Ю. Бродский Тенденции и перспективы распространения технологий широкополосного доступа в России. Вестник связи №9/2009, с.22-27.
7. Пора ли прокладывать оптику в квартиры? Круглый стол, модератор — Н.С.Мардер. Вестник связи №11/2008
8. Ю.А. Парфенов Д.Г. Мирошников. Последняя миля на медных кабелях. М.: Эко-Трендз, 2001
9. ОСТ 45.36-96. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы электрические эксплуатационные. Госкомсвязи России, Москва 1997.
10. Правила применения кабелей связи с металлическими жилами. Министерство информационных технологий и связи РФ, Москва 2006
11. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN, и xDSL. Рекомендация МСЭ-Т L.19 (11/2003)
12. Временная инструкция по тестированию пар медножильных кабелей на сети абонентского доступа для предоставления широкополосного доступа по технологии xDSL. ОАО «ЮТК» - 2006.
13. Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. М.: Эко-Трендз, 2009