

СЕТИ И ЛИНИИ ДОСТУПА –

моделируй вместе с xDSLcalc

А.Кочеров, к.т.н.

ООО "Аналитик-ТС", andrey@analytic.ru

В.Руденко, А.Ковальчук

НПП "Информсистема" infosokk@aaanet.ru

Один из вопросов, возникающих при проектировании и развертывании сети связи, – какую скорость можно обеспечить, если применить кабель того или иного завода? Минимальная планка требований сформулирована и с недавнего времени представлена стандартом ГОСТ Р 53538-2009 [1]. Но производители предлагают продукцию с характеристиками, существенно превышающими требования этого стандарта. Ответить на вопрос об истинных возможностях кабеля, т.е. преобразовать децибелы характеристик кабелей в мегабиты скоростного потенциала цифровых линий и призвана программа xDSLcalc.

Широкое применение беспроводных и оптических технологий широкополосного доступа (ШПД) нисколько не снижает интереса операторов связи к использованию цифровых линий xDSL. Появляются новые технологии, вместе с ними – новые возможности. Так, модернизированные приемопередатчики симметричных линий SHDSL на коротких дистанциях уже обогнали трансиверы ADSL2+. Набирает обороты и технология VDSL2. Так, по мнению ряда специалистов, "сегодня... начинается новый виток освоения технологии VDSL2, обещающий превратить медную телефонную пару – если не по физическим, то по потребительским характеристикам – в оптическое волокно..." [2]. Все это определяет интерес к прогнозированию скоростных характеристик цифровых линий. Для решения этой задачи специалистами компаний НПП "Информсистема" и "Аналитик-ТС" разработана компьютерная программа xDSLcalc, обеспечивающая расчет скоростных характеристик цифровых абонентских линий ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL2, VDSL2 vectoring и SHDSL. Разумеется, необходимое условие для этого – наличие у завода-изготовителя технических условий (ТУ) на выпускаемый кабель.

О ТЕХНОЛОГИЯХ ДОСТУПА И ПАРАМЕТРАХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Сегодня на абонентских сетях широкополосного доступа чаще всего используют асимметричные технологии ADSL, ADSL2 и ADSL2+ [3–5], обеспечивающие скорость передачи в направлении к абоненту до 23 Мбит/с. Совсем недавно технология VDSL2 [6] была оснащена компенсатором взаимных влияний [7], обеспечивающим существенный рост скорости до 100 Мбит/с и более по одной паре. Из симметричных технологий используется усовершенствованная SHDSL [8], позволяющая передавать цифровые потоки со скоростью до 15 Мбит/с в обоих направлениях.

Реальная скорость передачи в линии зависит не только от приемопередатчиков, но и от параметров линий связи. Наиболее значимые из них – коэффициент затухания, переходное затухание между цепями многопарного кабеля на ближнем конце (NEXT) и защищенность между цепями многопарного кабеля на дальнем конце (ELFEXT). Эти параметры нормируются разными способами. Так, в справочнике по технологиям xDSL [9] приведены достаточно подробные сведения по коэффициентам затухания $\alpha(f)$ и параметрам взаимного влияния

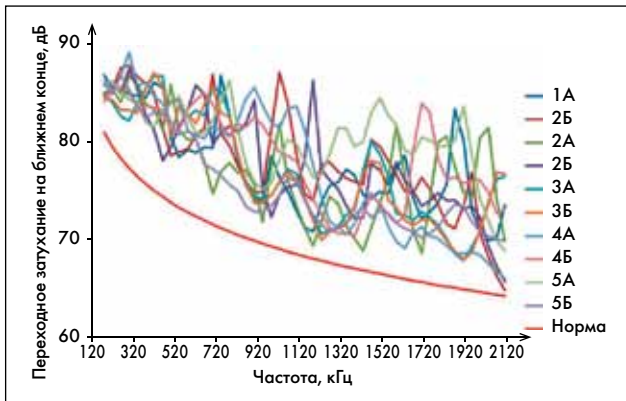


Рис.1. Частотные зависимости переходного затухания на ближнем конце для пяти бухт кабеля ТЦПП 2×2×0,52, измеренные с двух концов. Норма на измерительной частоте для двух пар $NEXT_n(300 \text{ кГц}, 2) = 77 \text{ дБ}$

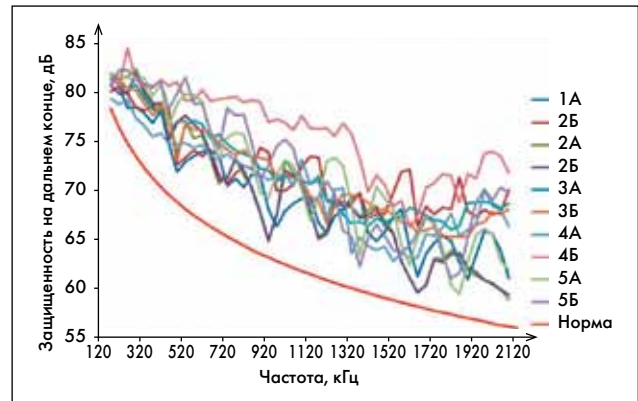


Рис.2. Частотные зависимости защищенности цепей на дальнем конце для пяти бухт кабеля ТЦПП 2×2×0,52 длиной по 500 м, измеренные с двух концов. Норма на измерительной частоте для двух пар при длине 1000 м $ELFEXT_n(300 \text{ кГц}, 2, 1000 \text{ м}) = 70 \text{ дБ}$

между цепями в диапазоне частот до 12 МГц для различных кабелей как традиционных, так и современных конструкций. В национальном стандарте [1] параметры взаимного влияния между цепями нормируются на отдельных частотах в диапазоне до 2,2 МГц.

Однако для расчета скорости современных линий необходимо располагать характеристиками коэффициента затухания в диапазоне до 30 МГц. Для применения в программе xDSLcalc такие характеристики для кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил различного диаметра были получены экспериментально.

Для учета параметров взаимного влияния использован фундаментальный принцип, предложенный в стандарте ANSI T1.417-2001 [10]. Он основан на известной частотной зависимости норм параметров взаимного влияния. Шаблоны норм определяются по формулам:

$$NEXT_n(f, m) = NEXT_n(f_0, 2) - 6lg(m-1) - 15lg(f/f_0),$$

$$ELFEXT_n(f, m, L) = ELFEXT_n(f_0, 2, L_0) - 6lg(m-1) - 20lg(f/f_0) - 10lg(L/L_0),$$

где $NEXT_n(f, m)$ – норма (дБ) переходного затухания на ближнем конце между цепями многопарного кабеля с числом пар m на частоте f (кГц); $NEXT_n(f_0, 2)$ – норма (дБ) переходного затухания между двумя парами кабеля на частоте f_0 ; $ELFEXT_n(f, m, L)$ – норма защищенности (дБ) от переходных помех на дальнем конце между цепями многопарного кабеля с числом пар m длиной L (м) на частоте f (кГц); $ELFEXT_n(f_0, 2, L_0)$ – норма защищенности (дБ) между двумя парами кабеля длиной L_0 на частоте f_0 ; f_0 – частота (кГц) нормирования (приме-

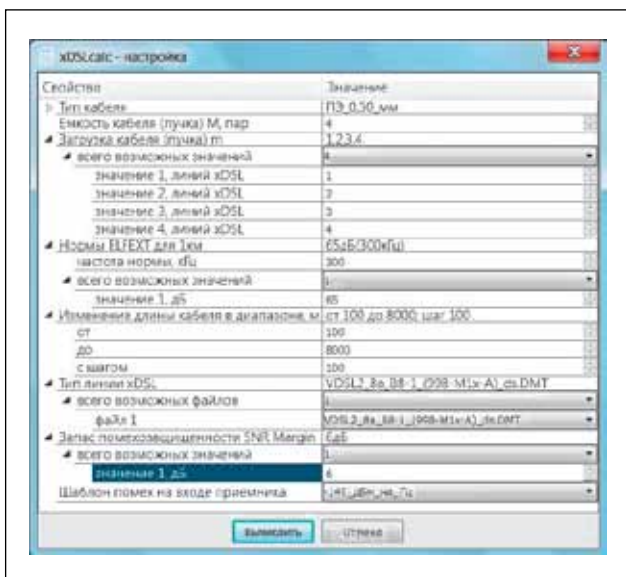


Рис.3. Пример ввода исходных данных (форма "xDSLcalc – настройка")

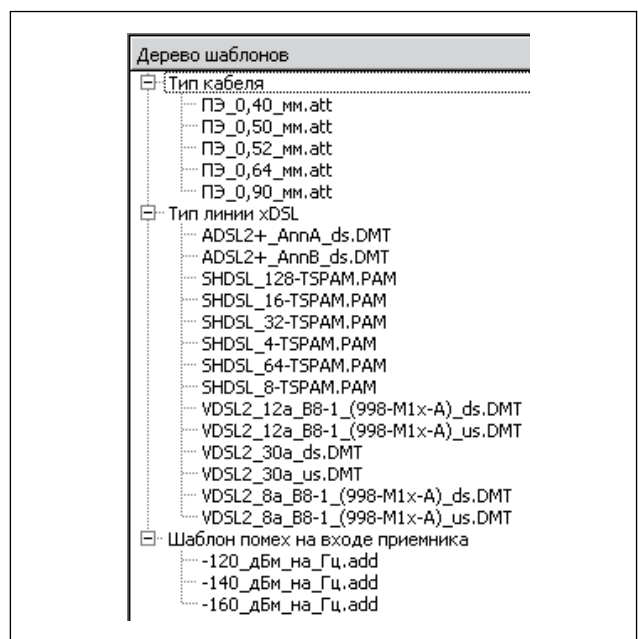


Рис.4. Форма "Дерево шаблонов"

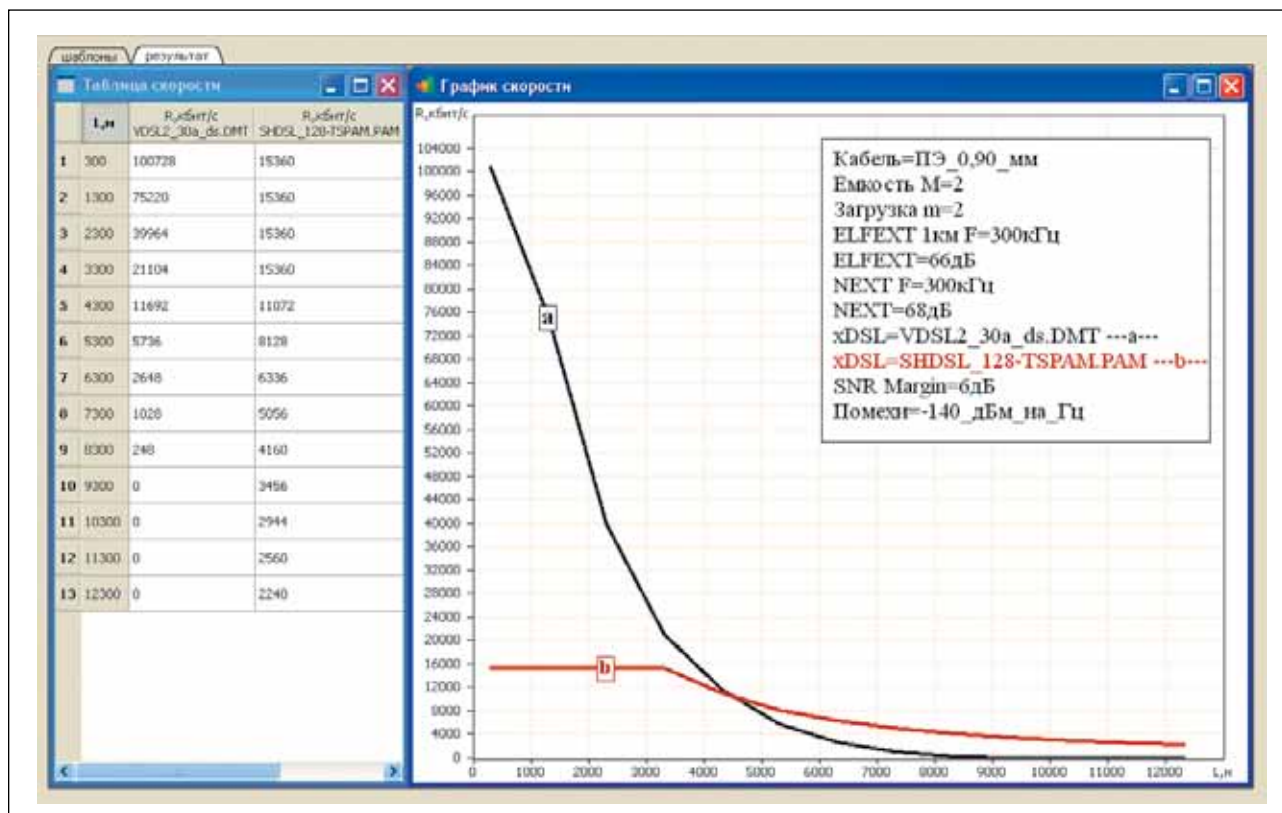


Рис.5. Расчет скорости для цифровой линии VDSL2 (конфигурационный профиль 30а) (a) и SHDSL 128-TSPAM (b)

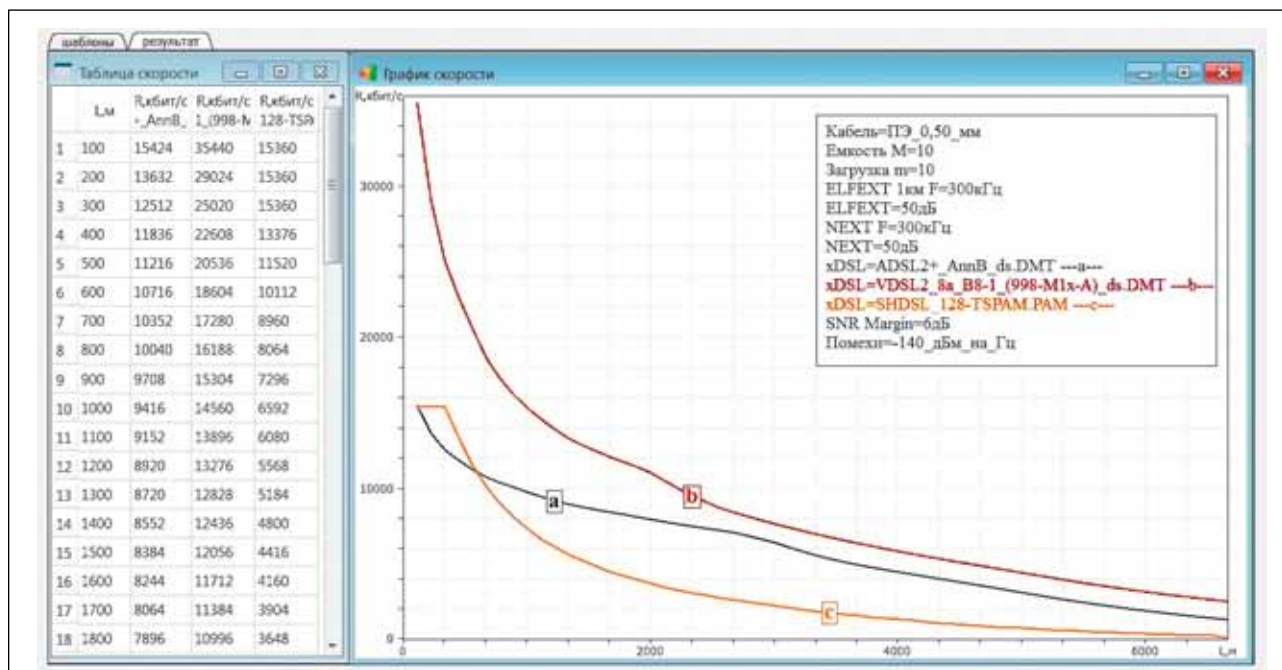


Рис.6. Скоростные характеристики ADSL2+ AnnB downstream, VDSL2 8a downstream и SHDSL 128 TC-PAM на кабеле ТПП 10×2×0,5 при цифровой нагрузке всего 10-парного пучка, нормах переходных влияний NEXT_n (300 кГц) = 50 дБ и ELFEXT_n (300 кГц, 1000 м) = 50 дБ, запасе SNR Margin = 6 дБ и спектре помех -140 дБм/Гц. Характеристики переходных влияний кабеля соответствуют уровню требований рекомендации ITU-T L.19 [12]

нительно к xDSL нормирование целесообразно производить для $f_0 = 300$ кГц; L_0 – нормальная длина (м) (обычно 1000 м). Пример вычисления норм переходных влияний $NEXT_n(f_0, 2)$ и $ELFEXT_n(f_0, 2, L_0)$, а также выборочные частотные характеристики кабелей ТЦПП 2×2×0,52, выпускаемых НПП "Информсистема", приведены на рис.1 и 2.

Программа xDSLcalc вычисляет скоростные характеристики линий xDSL как функцию длины кабеля и представляет их в графической и табличной формах. При расчете учитываются параметры линии, приведенные в таблице.

Расчет скоростных характеристик цифровых абонентских линий выполняется в соответствии с моделями, представленными в рекомендациях ITU-T:

- G.992.1, G.992.3 и G.992.5 [3–5] – для технологий ADSL, ADSL2 и ADSL2+;
- G.993.2 [6] – для технологии VDSL2;
- G.993.5 [7] – для технологии VDSL2 vectoring;
- G.991.2 [8] – для технологии SHDSL.

Алгоритм расчета скоростных характеристик для технологии SHDSL подробно освещен в публикации [11].

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ

Исходные данные вводятся в табличной форме (рис.3). Тип кабеля и вид технологии xDSL, а также спектральная плотность помех на входе приемника задаются путем выбора заранее подготовленных шаблонов (рис.4). Возможна коррекция имеющихся шаблонов и добавление новых. После ввода исходных данных и нажатия кнопки "Вычислить" программа выполняет расчет скорости и формирует таблицу и график. Подготовленный

график сохраняется в форматах *.pdf, *.jpg, *.png. Кроме того, результаты расчета могут быть сохранены в формате электронной таблицы *.csv.

Допустим, необходимо определить требования к малопарному кабелю, который обеспечил бы работу линии VDSL2 30a со скоростью не менее 100 Мбит/с при длине до 300 м или работу SHDSL 128-TCPAM на кабельной линии не менее 12 км со скоростью не менее 2 Мбит/с. Результаты расчета (рис.5) показывают, что для этого можно использовать двухпарный кабель со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил с диаметром 0,9 мм, с ELFEXT (300 кГц, 1000 м) > 66 дБ и NEXT (300 кГц) > 68 дБ.

Программа xDSLcalc позволяет наглядно сравнить скоростные характеристики различных технологий доступа при прочих равных условиях и выбрать оптимальную технологию для конкретного применения (рис.6). Также можно оценить влияние параметров кабельных линий на скорость (рис.7, 8).

Практика показывает, что невозможно производить кабели с защищенностью ELFEXT (300 кГц, 1000 м) более 80 дБ без экранирования отдельных пар. Это значительно усложняет конструкцию кабеля и увеличивает его стоимость. Однако современные технологии, в частности VDSL2 Vectoring [7], компенсируют переходные влияния. При этом скорость передачи поднимается до предела, ограниченного лишь затуханием сигнала в линии связи. Это позволяет, например, при длине линии 350 м, увеличить скорость от 40 до 100 Мбит/с, что соответствует работе единственной линии в кабеле (рис.9) [13].

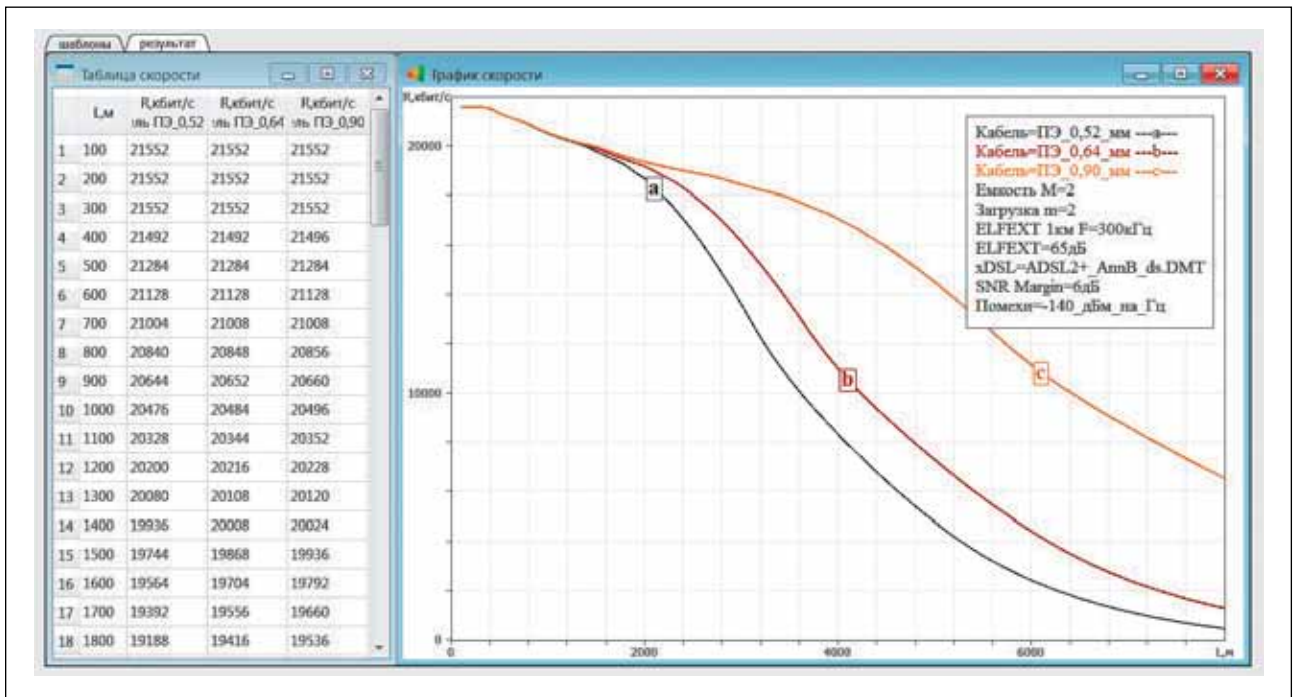


Рис.7. Скорость ADSL2+ AnnB в зависимости от длины и диаметра жил

| Параметры расчета скоростных характеристик xDSL | |
|---|--|
| Параметры линии | Параметры модели |
| Тип кабеля | Таблицы коэффициентов затухания в зависимости от диаметра жил и материала изоляции жил $\alpha(f)$, дБ/км |
| Загрузка кабеля (пучка) | m – число пар для xDSL |
| Длина кабельной линии | Диапазон и шаг изменения длины L , м |
| Переходные влияния: | |
| частота нормирования | f_0 , кГц |
| номинальная длина кабеля | L_0 , м |
| норма на ближнем конце | $NEXT_n(f_0, 2)$, дБ |
| норма на дальнем конце | $ELFEXT_n(f_0, 2, L_0)$, дБ |
| Тип технологии xDSL | |
| ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL2, VDSL2 vectoring | Спектр передатчика $S(f)$, дБм/Гц |
| | Кратность модуляции K_{max} |
| SHDSL | Спектр собственных помех приемника $N(f)$, дБм/Гц |
| | Кратность модуляции |
| | Уровень передачи P , дБм |
| | Диапазон скорости $R_{min} \dots R_{max}$, кбит/с |
| Запас помехозащищенности | Спектр собственных помех $N(f)$, дБм/Гц |
| Дополнительные помехи | Спектр помех на входе приемника, дБм/Гц |

Таким образом, компенсация взаимных влияний при использовании технологии VDSL2 Vectoring эквивалентна увеличению нормы ELFEXT (300кГц) до 95–100 дБ. При расчете скоростных характеристик для VDSL2 Vectoring посредством программы xDSLcalc следует вводить модели практически идеального по переходным влияниям кабеля – кривые e и f на рис. 8. Правда, возникает вопрос: каковы же минимальные требования к кабелю, гарантирующие саму возможность устойчивости процесса компенсации взаимных влияний? Очевидно, что параметры взаимного влияния цепей должны соответствовать рекомендации ITU-T L.19 [12] (NEXT (300 кГц, 2) не менее 52 дБ, ELFEXT (300 кГц, 2, 1000 м) не менее 48 дБ), однако можно ожидать, что это сравнительно жесткое для отече-

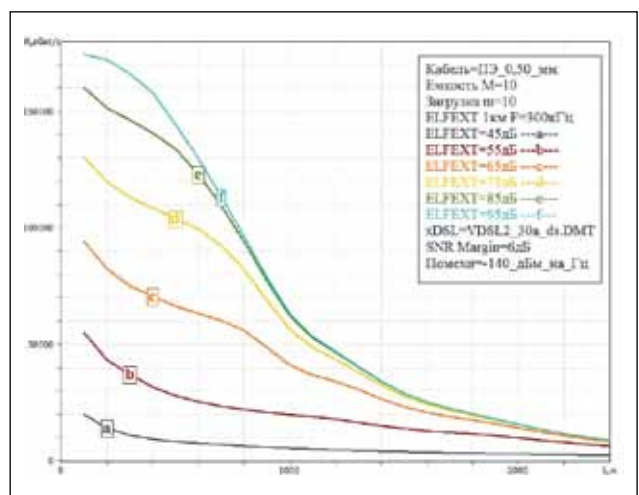


Рис.8. Ограничение скорости VDSL2 30a downstream защищенностью от переходных помех на дальнем конце

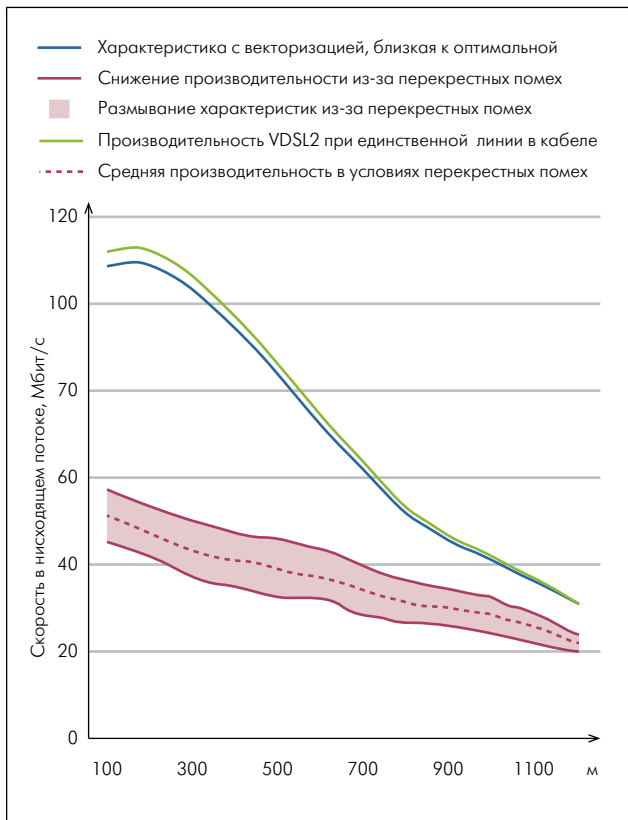


Рис.9. Преимущества векторизации VDSL2

ственных сетей требование с развитием технологии VDSL2 Vectoring может быть ослаблено на 10–15 дБ.

В отдельных случаях необходимо сравнить скоростные характеристики абонентских линий при различных значениях запаса помехозащищенности SNR Margin и выбрать оптимальный вариант, оценив, насколько системное повышение устойчивости сети доступа снижает радиус зоны гарантированного обслуживания. Иными словами, разобраться с тем, как рост спокойствия сказывается на снижении дохода. Программа xDSLcalc позволяет решить и эту задачу (рис.10).

Таким образом, программа xDSLcalc обеспечивает расчет скоростных характеристик линий xDSL, реализуемых на различных кабелях (как традиционных, так и цифровых новых конструкций) при разных вариантах их загрузки. Она позволяет проанализировать различные варианты построения сетей доступа; сопоставить скоростные характеристики линий xDSL различных типов и частотных планов. С ее помощью несложно преобразовать данные ТУ на кабели в радиусы зон гарантированного обслуживания на заданной скорости.

Программа xDSLcalc может быть установлена на компьютере с операционной системой Windows. Дистрибутив программы находится в свободном доступе на сайтах www.informsystema.com и www.analytic.ru.

С появлением программы xDSLcalc объявленные в ТУ кабелей для ШПД некие характеристики становятся не просто декларацией, но весьма ответственным для производителя шагом, позволяющим представить россыпь

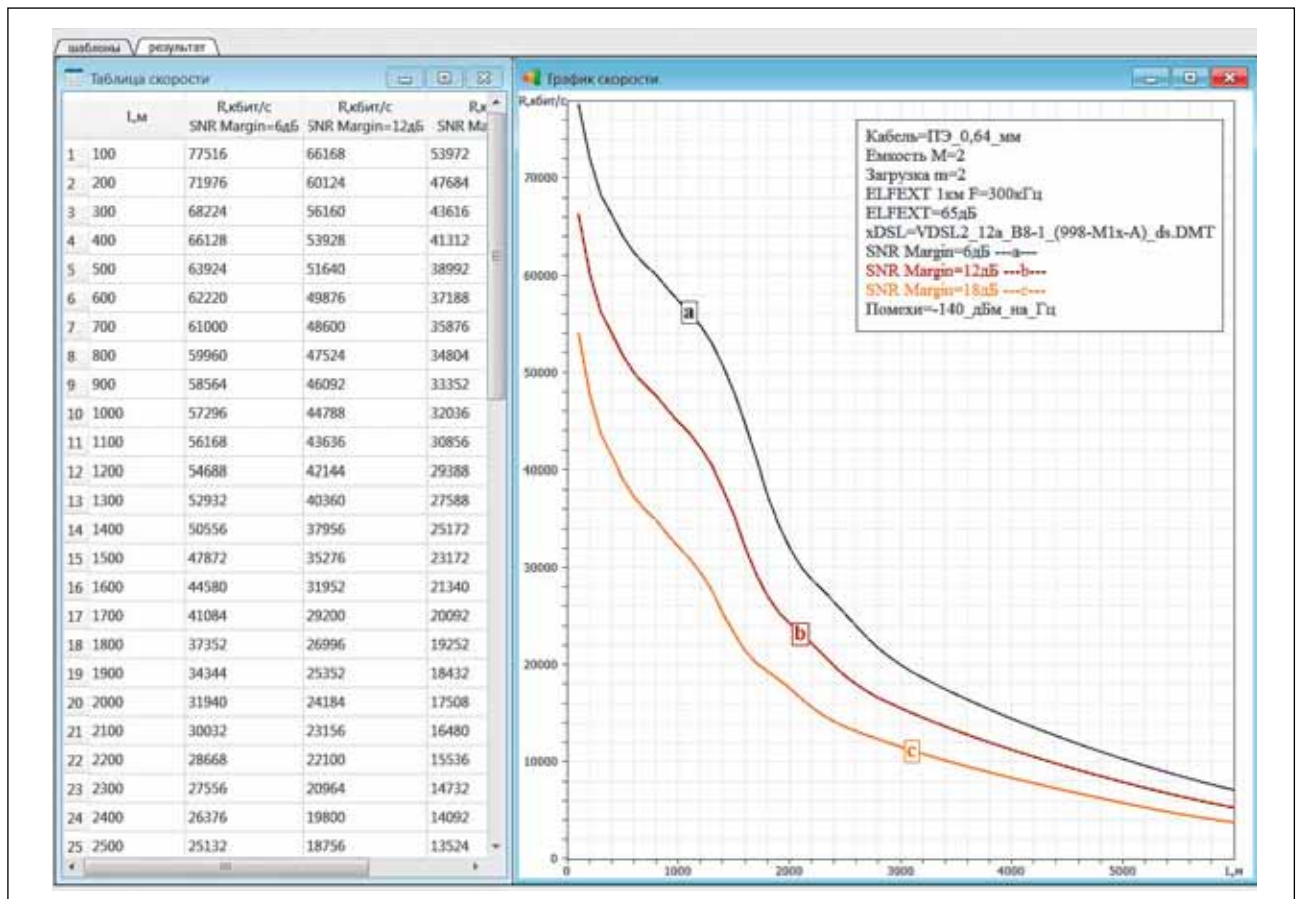


Рис.10. **Скорость VDSL2 12a downstream в зависимости от длины кабельной линии и запаса помехозащитности (SNR Margin)**

параметров кабеля (см. таблицу) единственным и исчерпывающим показателем – скоростью передачи. Такая возможность позволяет сформировать лозунг: "Требуйте от поставщиков нормирования кабелей в соответствии с xDSLcalc-спецификацией!"

Конечно, это может породить войну дурых спецификаций. Однако контроль кабельной продукции, обеспечиваемый в наше время доступными инструментальными средствами, вполне позволяет предотвратить подобную эскалацию, что, собственно, и обеспечит прогресс технологий доступа.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 53538-2009. Многопарные кабели с медными жилами для цепей широкополосного доступа.
- Башилов Г. Лебединая песня, или CuPON. – LAN, 2011, №4.
- Рекомендация ITU-T G.992.1. Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)).
- Рекомендация ITU-T G.992.3. Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2). (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2 (ADSL2)).
- Рекомендация ITU-T G.992.5. Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+). (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – расширенная полоса частот ADSL2 (ADSL2+)).
- Рекомендация ITU-T G.993.2. Very high speed Digital Subscriber Line transceivers 2 (VDSL2). (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL2)).
- Рекомендация ITU-T G.993.5. Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers. (Компенсатор взаимных влияний на дальнем конце для использования совместно с приемопередатчиками VDSL2 (VDSL2 vectoring)).
- Рекомендация ITU-T G.991.2. Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers. (Приемопередатчики однопарной высокоскоростной цифровой абонентской линии (SHDSL)).
- Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник./Под общ. ред. В.А. Балашова. – М.: Эко-Трендз, 2009.
- ANSI T1.417-2001. Spectrum Management for Loop Transmission Systems (Управление спектром для систем передачи по абонентским линиям).
- Кочеров А.В. Расчет скоростного потенциала SHDSL. – Электросвязь, 2008, № 6, с.61–63.
- Рекомендация ITU-T L.19. Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL.
- www2.alcatel-lucent.com/blogs/techzine/2011/boosting-vdsl2-bit-rates-with-vectoring