

Протокол измерений характеристик ADSL на испытательной кабельной сети ЛОНИИС

Время проведения испытаний: 21...25 марта 2005.

Место проведения испытаний: лаборатория кабелей связи ЛОНИИС, Санкт-Петербург.

Кабельные участки (предоставлены ЛОНИИС):

- ТПП 10x2x0,4мм 1,0 км;
- ТПП 10x2x0,4мм 3,0 км;
- ТПП 20x2x0,5мм 3,0 км.

Оконечное ADSL-оборудование предоставлено фирмой NATEKS:

- абонентские модемы:
 - o FG-ADSL-SAN-Eth S/N 04X01688 P/N A81112104001,
 - o FG-ADSL-SAN-Eth S/N 04X01690 P/N A81112104001;
- станционное оборудование (DSLAM) FlexGain IP Access Equipment:
 - o FG-ACE16-CORE-AC S/N 03F00096 MAC 0001EB02069F.

Средства измерений:

- анализаторы систем передачи и кабелей связи AnCom A-7 предоставлены фирмой Аналитик-ТС:
 - o AnCom A-7/133100 №009.0015,
 - o AnCom A-7/333100 №009.0114,
 - o AnCom A-7/333100 №009.0116;
- магазин затуханий МЗ-600 №176 (входное и выходное сопротивления равны 600 Ом, симметричный, проградуирован в неперах) предоставлен ЛОНИИС.

1. Задачи испытаний:

- определение скоростных характеристик ADSL-оборудования в зависимости:
 - o от типа и длины линии,
 - o от спектральных моделей помех,
 - o от защищенности от переходных помех на дальнем конце;
- идентификация расчетной модели скоростного потенциала ADSL;
- определение требований к кабелям связи и кабельным линиям связи, выполнение которых обеспечит работу ADSL на необходимой скорости.

2. Настройка и использование ADSL-оборудования:

- в ходе испытаний производилось:
 - o подключение оконечного ADSL-оборудования к кабелю необходимой длины,
 - o установка заданного спектра шума (шум воспроизводился анализатором AnCom A-7 и контролировался дополнительным анализатором AnCom A-7),
 - o установка необходимого переходного затухания (посредством магазина затуханий МЗ-600, величина затухания контролировалась анализатором AnCom A-7);
- после каждого изменения настройки осуществлялся перезапуск ADSL путем отключения разъема WAN абонентского модема от пары на время не менее 10 с, после чего пара вновь подключалась к разъему WAN;
- наличие соединения контролировалось следующим образом:
 - o по состоянию индикатора WAN абонентского модема (мигает в процессе установления соединения; ровно горит при установленном соединении),
 - o по состоянию DSLAM (состояние индикатора "ADSL", соответствующего каналу, к которому подключена пара, изменяется по циклограмме – красный-желтый-зеленый – красный=нет соединения и нет запроса, желтый=процесс соединения, зеленый=соединение установлено);

- параметры сигналов при установке ADSL-соединения (контролируются анализатором AnCom A-7 – высокоомное подключение, режим анализа спектра с запоминанием):
 - абонентский модем - запрос:
 - трехчастотный сигнал 39+74+108 кГц,
 - уровень каждой гармоники около 0 дБм;
 - DSLAM - ответ:
 - трехчастотный сигнал 172+241+276 кГц,
 - уровень каждой гармоники около 0 дБм;
- установление соединения невозможно, если спектр помех блокирует передачу трехчастотных сигналов запроса и ответа (сама по себе ситуация возникновения помех с необходимым для подобного блокирования уровнем достаточно гипотетична);
- соединение устанавливается в режиме **Non-overlapped spectrum** (частотное разделение каналов up 26...138 кГц и down 138...1104 кГц – контролируется анализатором AnCom A-7 – высокоомное подключение, режим анализа спектра), что соответствует чаще всего встречающемуся варианту настройки;
- контроль параметров соединения выполнялся путем обращения к оборудованию DSLAM по порту UPLINK, к которому подключался управляющий ПК; использовался Microsoft Internet Explorer (<http://10.20.0.3>);
- в ходе испытаний опробованы два режима настройки при **Alarm Profile Name=DEFAULT**:
 - **Line Profile Name=ADAPT** – при этом удельная скорость передачи (кратность модуляции) в каждом частотном канале составляет максимально возможное значение, а адаптация заключается в том, что каналы с недостаточным качеством отключаются – отсутствуют в спектре;
 - **Line Profile Name=DEFAULT** – в этом режиме наблюдается реальная адаптация по удельной скорости в каждом канале.

3. Сведения об установленном ADSL-оборудовании соединения:

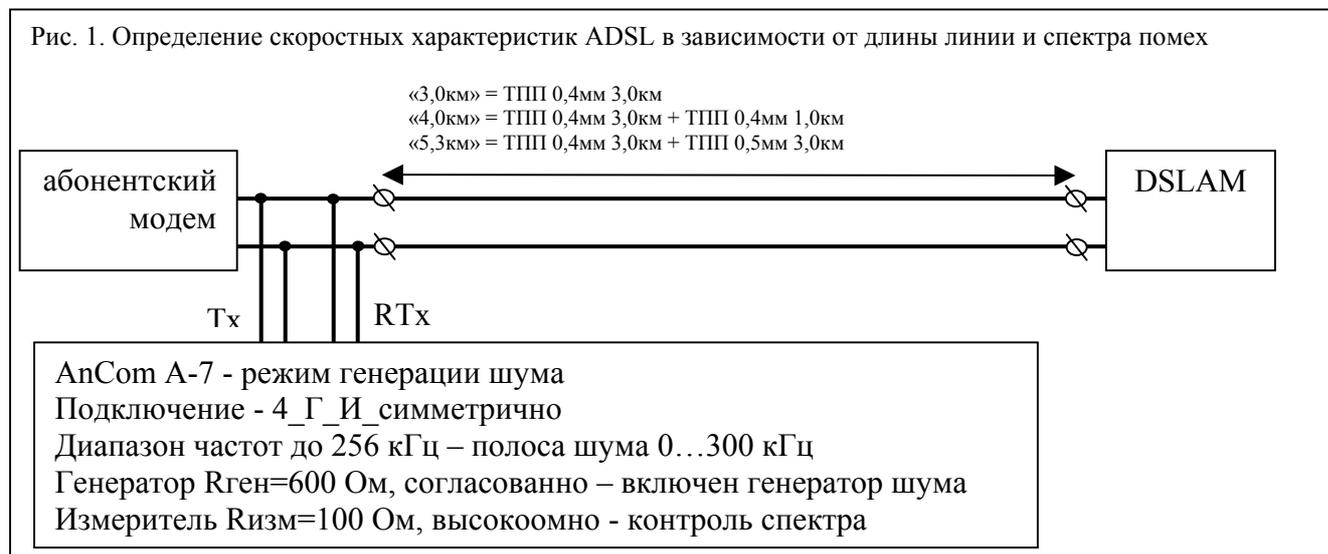
- индицируемые значения запаса помехозащищенности **SNR Margin** находились в диапазоне 3.5...9.5 дБ;
- индицируемые уровни сигналов **Output Power** соответствуют действительным значениям уровня, измеренным на выходных портах оборудования в соответствующих полосах частот (отклонение не более ± 1 дБ – контроль анализатором AnCom A-7 – высокоомное подключение, режимы анализа спектра и измерения уровня в заданной полосе частот); практически во всех случаях установления соединения уровни составили:
 - сигнал от DSLAM (нисходящий поток) +20 дБм,
 - сигнал к DSLAM (восходящий поток) +12 дБм;
- скорость соединения определялась показаниями **Attainable Rate**, разброс которого при одних и тех же условиях соединения не превышал $\pm 5\%$;
- время установления соединения зависит длины линии и спектра помех, причем:
 - при тяжелых условиях (спектр помех таков, что передача в занятой помехами области частот полностью блокирована):
 - наблюдается несколько попыток установления соединения, последняя из которых заканчивается удачно и удерживается,
 - время соединения составляет несколько минут,
 - при нормальных условиях время соединения не превышает 20 с.

4. Замечания к ADSL-оборудованию:

- в ходе испытаний лишь однажды произошло зависание абонентского модема, который полностью восстановил свою работоспособность после сброса питания;
- наблюдалось «тяжелое» зависание подключенного к DSLAM ПК, если на DSLAM выключить и вновь (не менее чем через 5 с) включить питание.

5. Определение скоростных характеристик ADSL в зависимости от длины линии и спектра помех на входе абонентского модема.

Для определения скоростных характеристик ADSL использована схема, приведенная на Рис. 1. При воспроизведении линии, состоящей из участков ТПП 0,4мм 3015м и ТПП 0,5мм 3000м эквивалентная длина для ТПП 0,4мм была определена исходя из равенства значений затухания на частоте 300 кГц: $L_{ТПП\ 0,4} = L_{ТПП\ 0,5} \times \alpha_{ТПП\ 0,5}(300\text{кГц}) / \alpha_{ТПП\ 0,4}(300\text{кГц}) = 3,0 \times 9,9 / 12,9 = 2,3\ \text{км}^1$.



Результаты измерений представлены в Таблице 1 и на графиках – Рис. 2 и Рис. 3.

Таблица 1.

Параметры шума, локализованного в полосе 0...300 кГц, на вх.абонент.модема		Скорость нисходящего потока ADSL в зависимости от длины линии ТПП 0,4 мм (Line Profile Name=ADAPT), кб/с		
Установленное значение уровня шума, дБм	Спектральная плотность шума Sш, дБм/Гц	3,0 км	4,0 км	5,3 км
-20	-82	4640	Нет соединения	Нет соединения
-25	-87	5636	Нет соединения	Нет соединения
-30	-92	6176	2720 неустойчиво	Нет соединения
-35	-97	7459	Нет данных	Нет соединения
-40	-102	7987	3616	Нет соединения
-45	-107	Нет данных	Нет данных	1080 установ 10минут
-50	-112	Нет данных	3776	1568
-60	-122	Нет данных	4663	1721
-70	-132	Нет данных	5152	2095
блокирован	-143	8496	Нет данных	2272

¹ Коэффициенты затухания определены в соответствии со справочником: А.С.Брискер и др. Городские телефонные кабели. Справочник. Москва, Радио и связь. 1991 (стр.138, табл. 10.21 и10.22).

Рис. 2. ADSL (Line Profile Name=**ADAPT**): зависимость скорости от спектр. плотн. шума в полосе 0...300 кГц

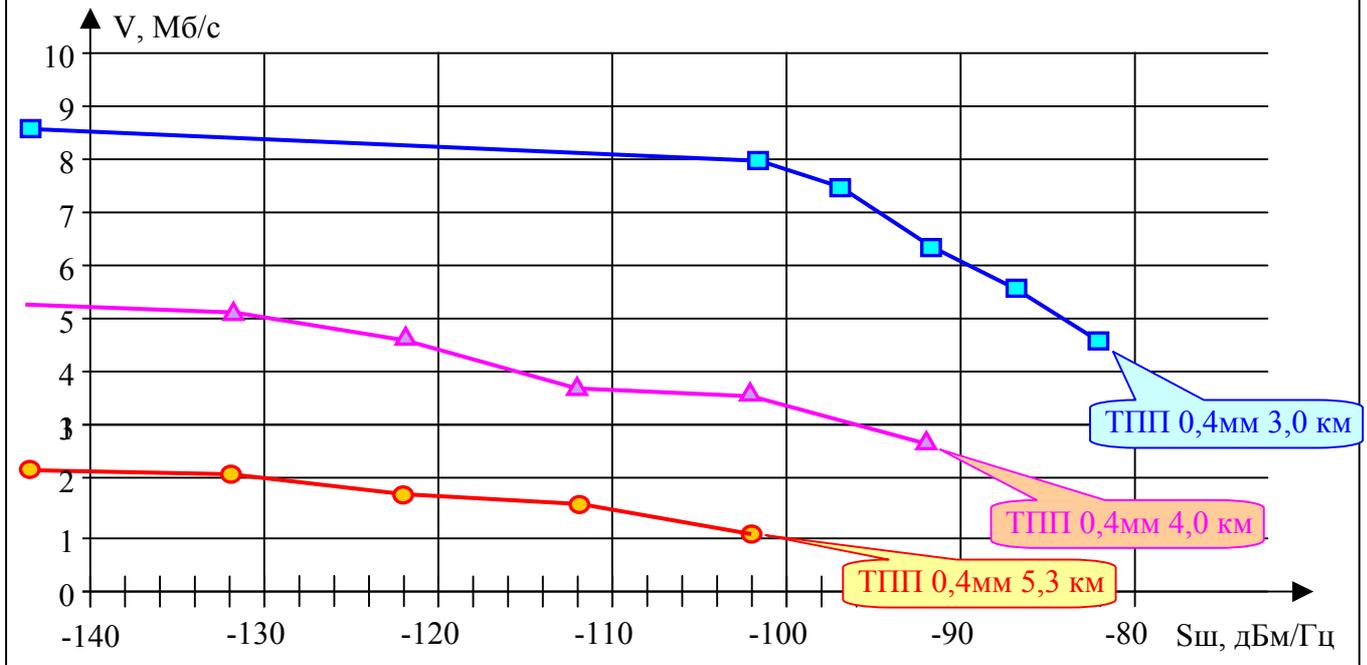
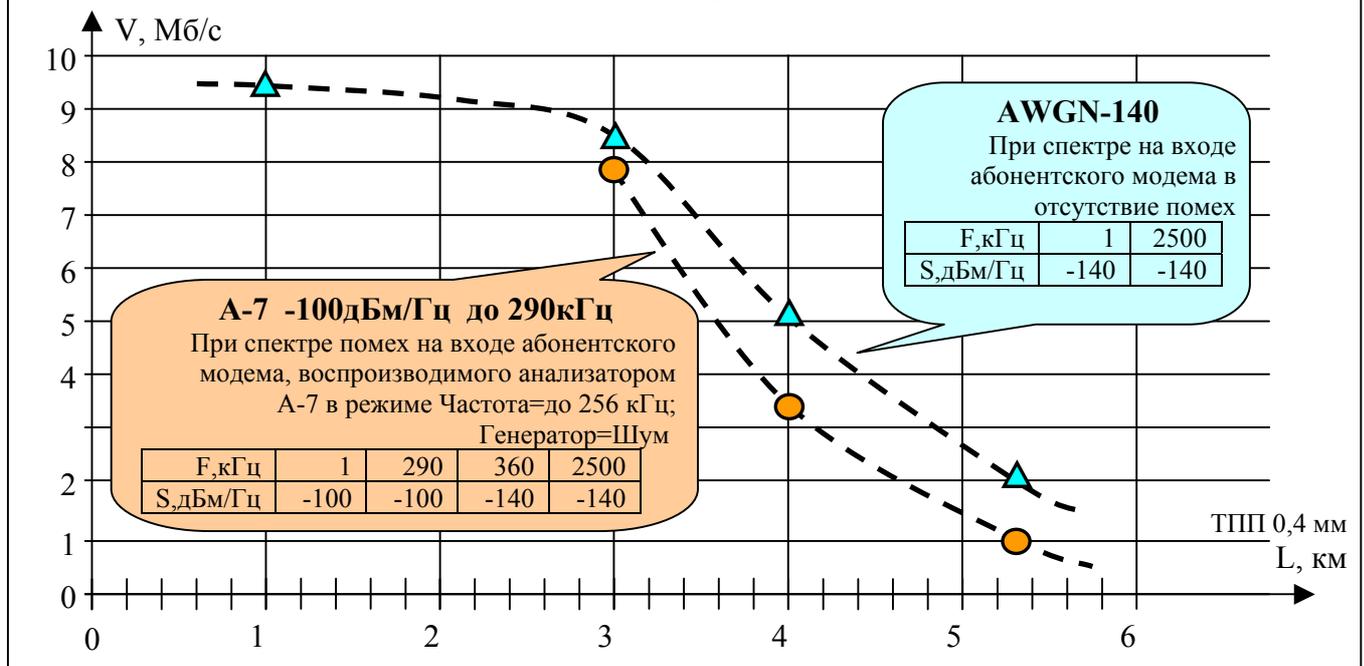


Рис. 3. ADSL (Line Profile Name=**ADAPT**): зависимость скорости от длины линии



6. Определение скоростных характеристик ADSL в зависимости от защищенности от переходных помех на дальнем конце.

Для определения зависимости скорости ADSL от длины и защищенности от переходных помех на удаленном конце использована схема, приведенная на Рис. 4. Результаты измерений представлены в Таблице 2 и на графике – Рис. 5.

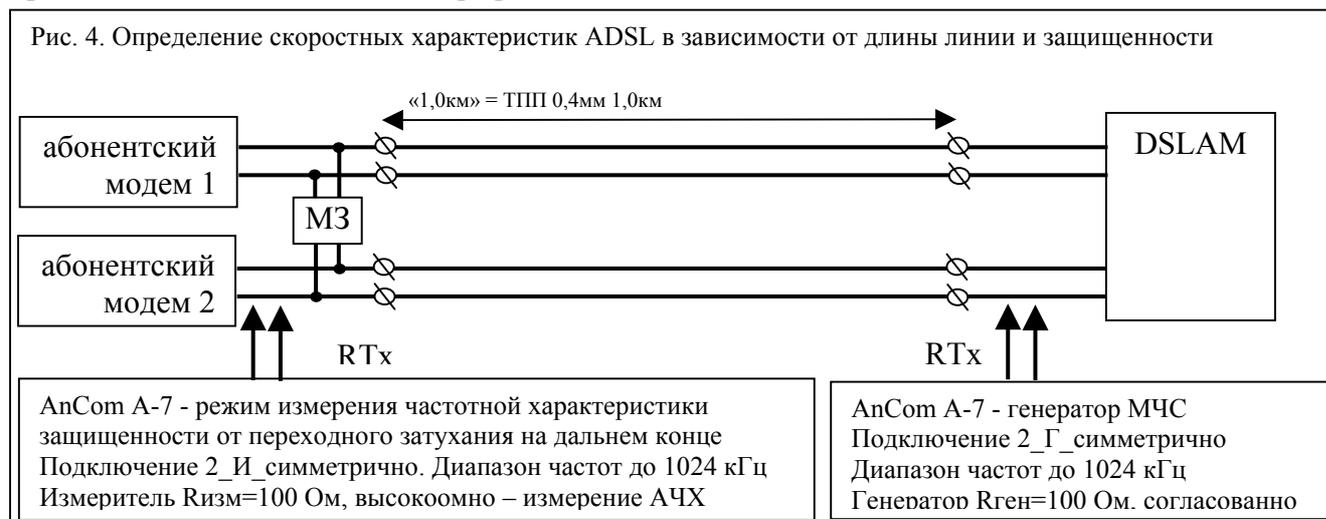
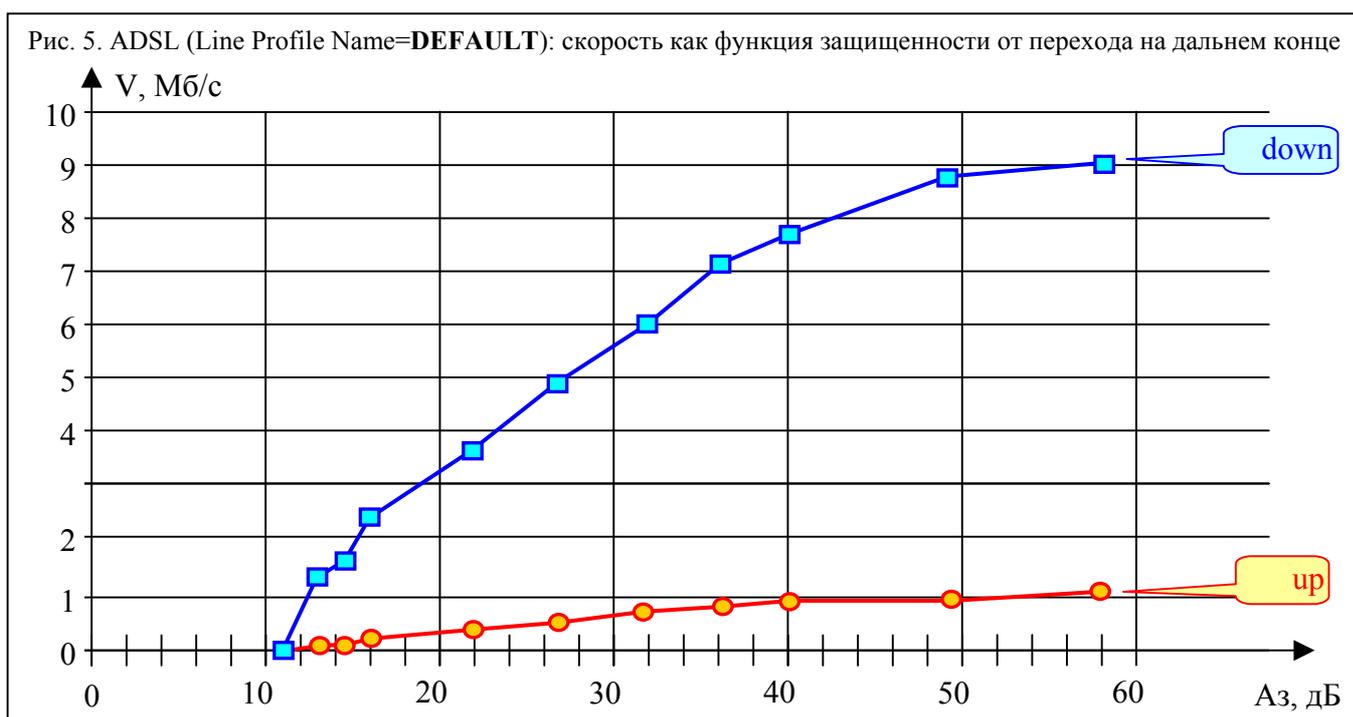


Таблица 2

Защищенность от переходных помех на дальнем конце		Скорости нисходящего (down) и восходящего (up) потоков ADSL в зависимости от защищенности от переходных помех на дальнем конце (Line Profile Name=DEFAULT), кб/с			
Установленное на М3-600 на затухание, нп	Измеренное двумя А-7 значение защищенности от переходных помех Аз, дБ	Абонентский модем 1		Абонентский модем 2	
		down	up	down	up
5,0	58,0	8510	1074	9390	1180
4,0	48,8	8807	1111	8510	971
3,0	40,1	7765	913	7616	896
2,5	35,9	7189	721	6933	817
2,0	31,5	6069	756	5865	577
1,5	26,9	4937	577	4798	466
1,0	22,0	3765	305	3497	451
0,5	16,2	2599	279	2113	144
0,4	14,7	1608	123	1568	129
0,3	13,0	2179	171	581	111
0,2	11,0	Нет связи			



7. Идентификация параметров расчетной модели скоростного потенциала ADSL путем аппроксимации экспериментальных скоростных характеристик

Результаты испытаний позволяют предложить аппроксимацию зависимости скоростного потенциала ADSL от частотной характеристики защищенности принимаемого приемником сигнала. Считая, что скоростной потенциал V_{DMT} цифровой линии, основанной на многоканальной технологии (DMT), определяется формулами:

$$V_{DMT} = f_{symp} \sum_{i=i_0}^{i=i_1} K_i \quad (1)$$

$$K_i = [\lg(10^{(A_3(f_i) - \Delta A)/10} + 1) / \lg(2)], \text{ кбит/кГц} \quad (2)$$

$$K_i \leq K_{\max} \quad (3)$$

- где: f_{symp} , кГц - скорость передачи символов (4 кГц);
 K_i , (кбит/с)/кГц - удельная скорость в i -м частотном подканале;
 K_{\max} - ограничение оборудования (8...12 для ADSL2);
 $f_i = i\Delta f$, кГц - несущая i -го частотного подканала;
 $A_3(f_i)$, дБ - измеренная частотная характеристика защищенности линии связи;
 $i = i_0 \dots i_1$ - диапазон индекса дискретных частот ($i_0 = [f_0 / \Delta f]$, $i_1 = [f_1 / \Delta f]$);
 $f_0 \dots f_1$, кГц - down-полоса: 138...1104 кГц ADSL, ADSL2; 138...2208 кГц ADSL2+;
 Δf , кГц - ширина частотного подканала (4,3125 кГц);
 $[]$ - квадратные скобки выделяют целую часть результата;
 ΔA , дБ - запас неидеальности приемника, который подлежит определению.

Выражение (2) можно переписать в упрощенной форме:

$$K_i \approx [0,33(A_3(f_i) - \Delta A)], \text{ кбит/кГц} \quad (4)$$

Будем искать ΔA , используя (1),(3),(4) и аппроксимируя экспериментальные данные, представленные в разделе 6, с учетом ограничения удельной скорости в используемом ADSL-оборудовании $K_{\max} = 9000 / ((1104 - 138) / 4.3125 \times 4.0) = 10$. На Рис. 6 показаны экспериментально полученная зависимость скорости от защищенности на дальнем конце (соответствует Рис.5 для down) и аппроксимация по (1)-(3)-(4) при восстановленном по экспериментальным данным запасе неидеальности приемника $\Delta A = 10\text{dB}$.

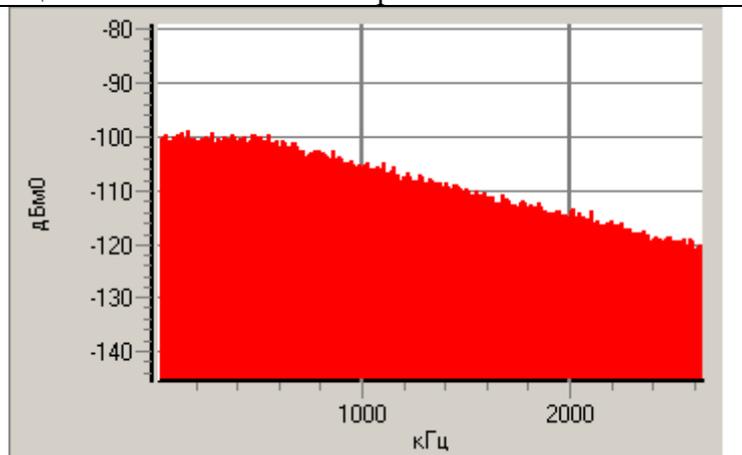


8. Скоростные характеристики линий ADSL, работающих в одном пучке (кабеле) совместно с симметричными системами

С использованием выражений (1)-(3)-(4), параметры которых определяются по данным производителя оборудования (K_{\max}) и из результатов экспериментов (ΔA), могут быть построены скоростные характеристики ADSL, ADSL2, ADSL2+ для кабелей разных типов в зависимости от длины и помеховой обстановки.

В качестве моделей помех рассмотрим переходные помехи, наводимые на ближнем конце от симметричных систем передачи, работающих на максимальной скорости.

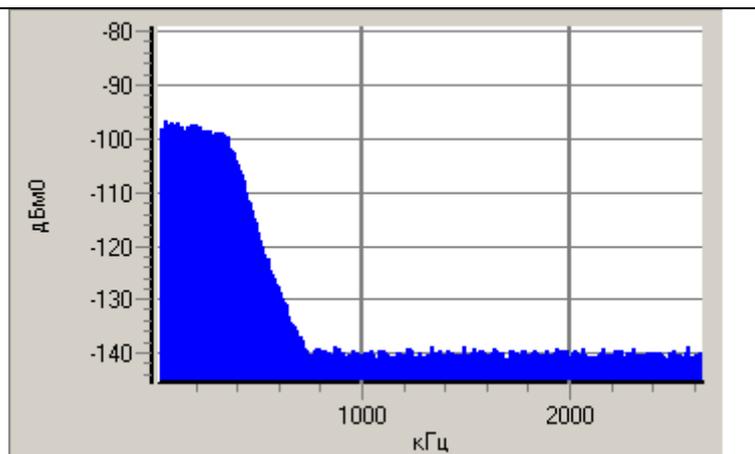
HDSL - 2B1Q
2320 кбит/с
Спектр выходного сигнала в соответствии с G.991.1 5.8.4.3 Power spectral density



Спектр переходной помехи HDSL

Частота, кГц	1	485	2500	4850
Спектр сигнала при уровне +13дБм, дБм/Гц	-44	-44	-80	-121.5
Спектр переходной помехи при переходном затухании 56 дБ, дБм/Гц	-100	-100	-120	-140

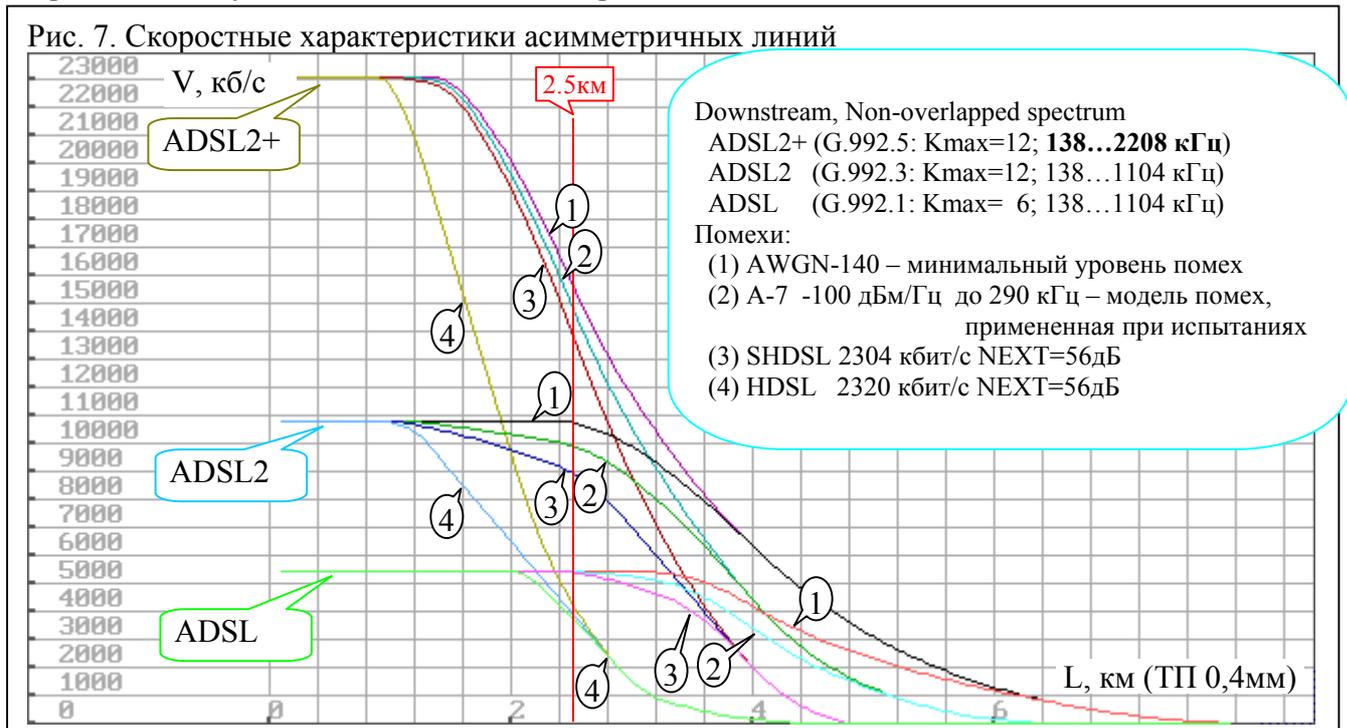
SHDSL - 16-TCPAM
2304 кбит/с
Спектр выходного сигнала в соответствии с G.991.2. В.4. PSD Masks



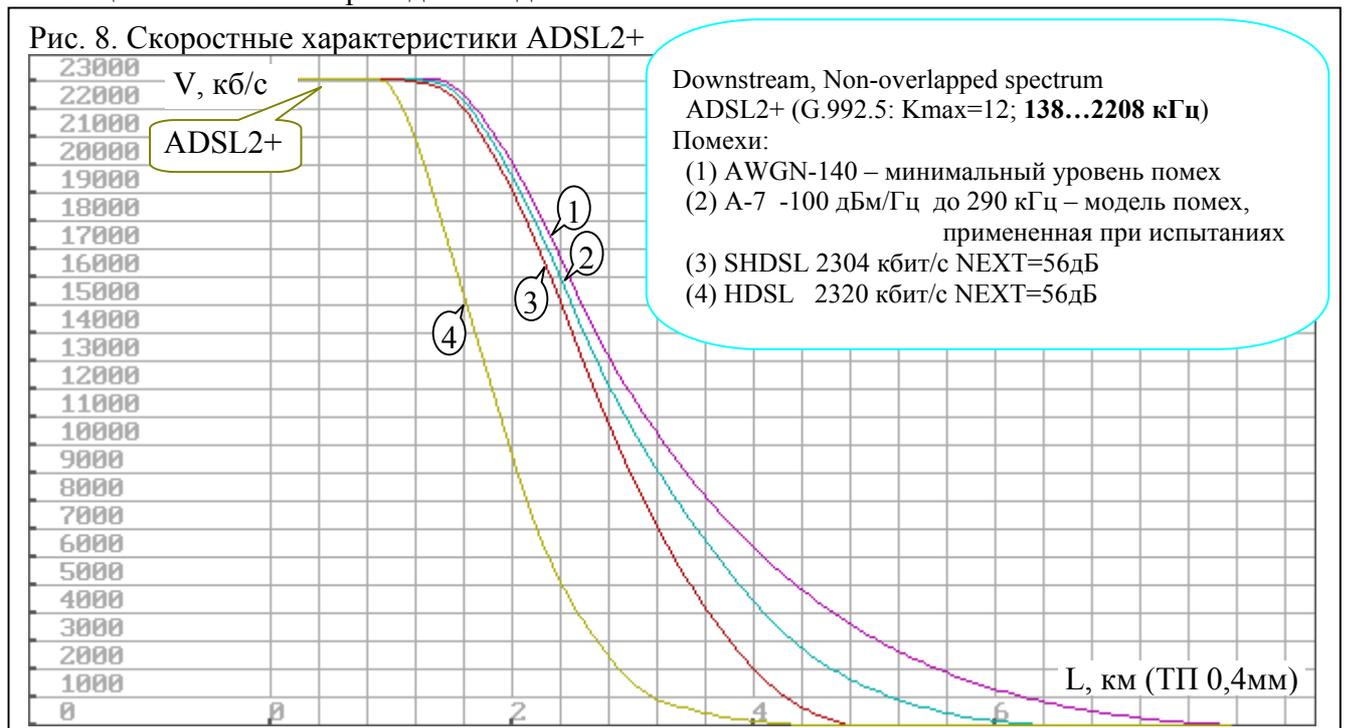
Спектр переходной помехи SHDSL

Частота, кГц	20	200	310	360	400	560	730	1100	2500
Спектр сигнала при уровне +13дБм, дБм/Гц	-41.7	-41.7	-43.8	-45.8	-50.0	-70.0	-100.0	-103.3	-103.3
Спектр переходной помехи при переходном затухании 56 дБ, дБм/Гц	-97.7	-97.7	-99.8	-101.8	-106	-126	-140	-140	-140

На Рис. 7 показаны скоростные характеристики ADSL, ADSL2, ADSL2+ для кабеля ТП 0,4 мм² при работе асимметричных линий совместно с симметричными и при эффективном переходном затухании на ближнем конце равном 56 дБ независимо от частоты³.



На трех рисунках (Рис. 8–10) скоростные характеристики ADSL2+, ADSL2 и ADSL, совмещенные на Рис.7 приведены отдельно.



² Для расчета затухания использованы данные справочника: А.С.Брискер и др. Городские телефонные кабели. Справочник. Москва, Радио и связь. 1991 (стр.138, табл.10.21 ТП 0,4мм Rж=139 Ом/км).

³ Располагая моделью (1)-(3)-(4), можно получить скоростные характеристики ADSL для любого кабеля и любой помеховой обстановки, обусловленной произвольным протеканием характеристик переходного затухания, типом, уровнем сигналов и скоростью влияющего оборудования.

Рис. 9. Скоростные характеристики ADSL2

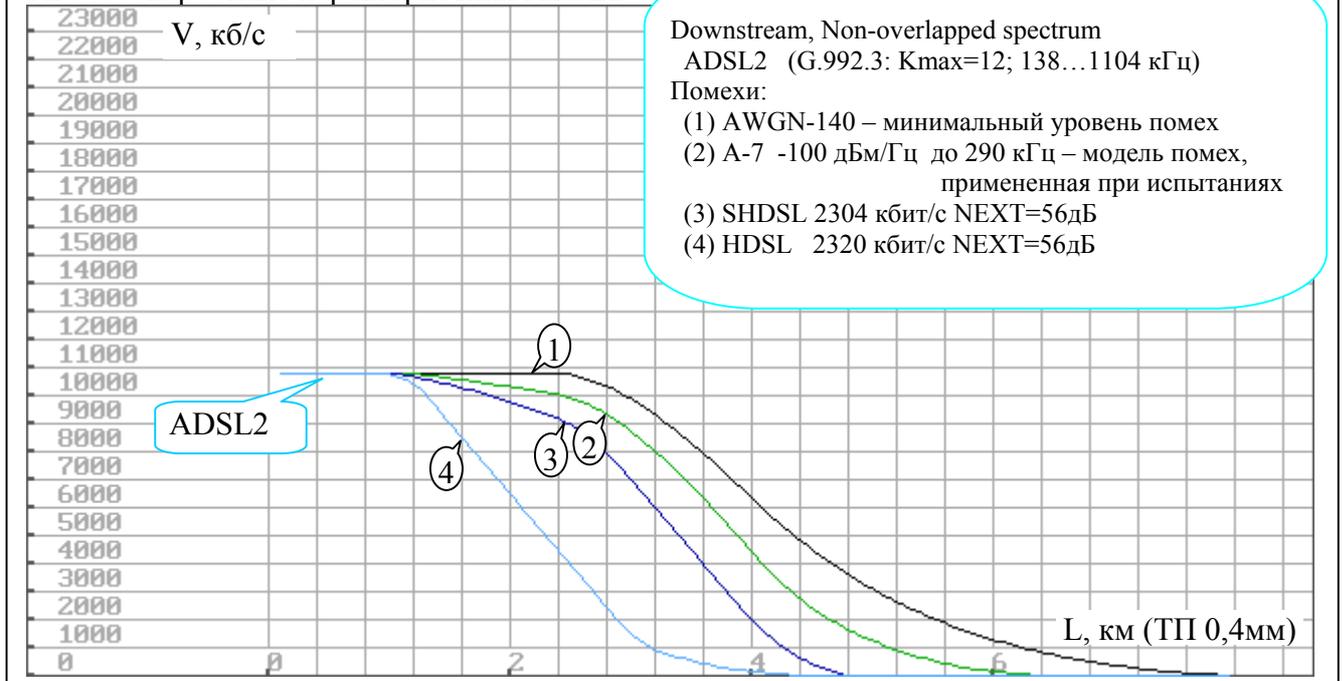
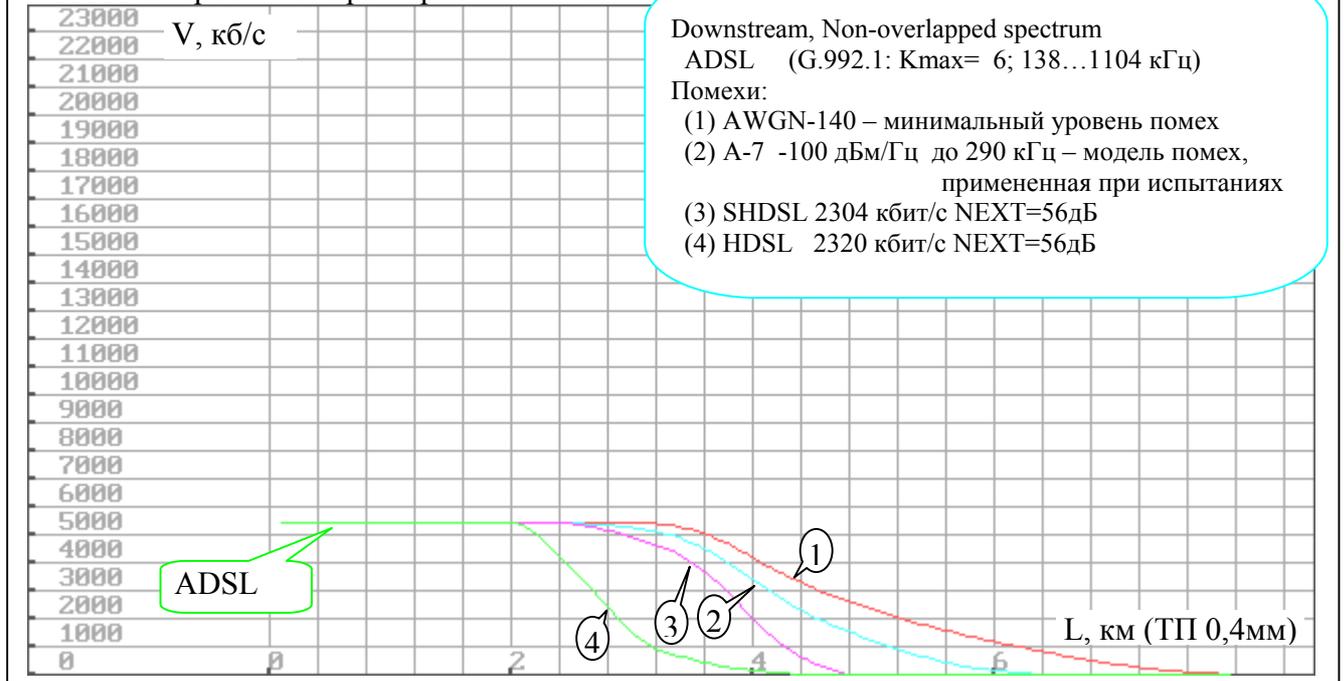


Рис. 10. Скоростные характеристики ADSL



Приведенные данные свидетельствуют о существеннейшем влиянии на снижение скорости передачи асимметричных линий HDSL-систем. Так для ADSL2, работающей в одном пучке с HDSL-системой при длине кабеля 2.5 км:

- скорость без помех составляет 10750 кб/с (100%),
- влияние SHDSL снижает скорость до 9000 кб/с (84%),
- влияние HDSL снижает скорость до 3964 кб/с (37%).

9. Скоростные характеристики нескольких ADSL, работающих в одном пучке (кабеле)

При установке в одном пучке (кабеле) нескольких ADSL, работающих в режиме частотного разделения направлений передачи (Non-overlapped spectrum), ограничивающим цифровой потенциал линий фактором является наличие переходных помех на дальнем конце. Использование (1)-(3)-(4) позволяет построить скоростные характеристики ADSL, ADSL2, ADSL2+ для кабелей разных типов в зависимости от их длины и характеристик защищенности от переходного затухания.

Рис. 11-13 представляют расслоение скоростных характеристик ADSL2+, ADSL2 и ADSL в зависимости от защищенности от переходных помех, наводимых от точно таких же систем на дальнем конце.

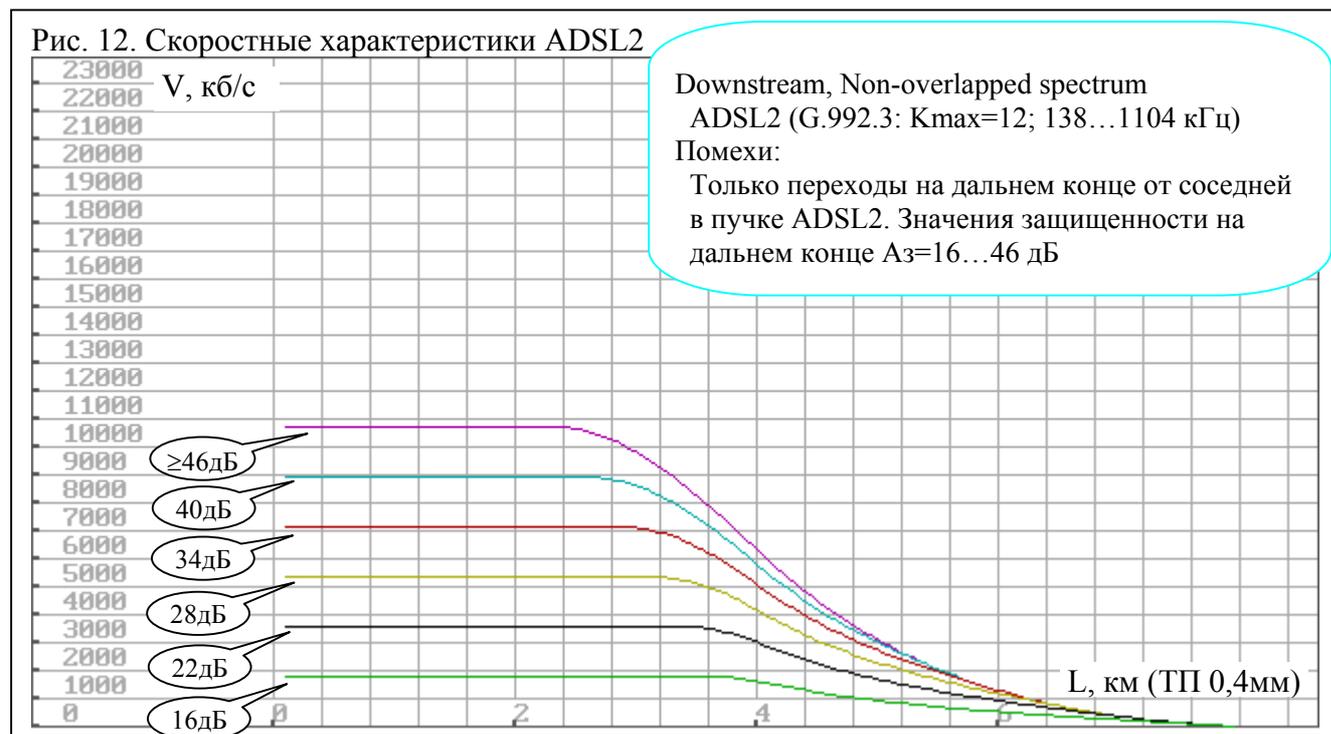
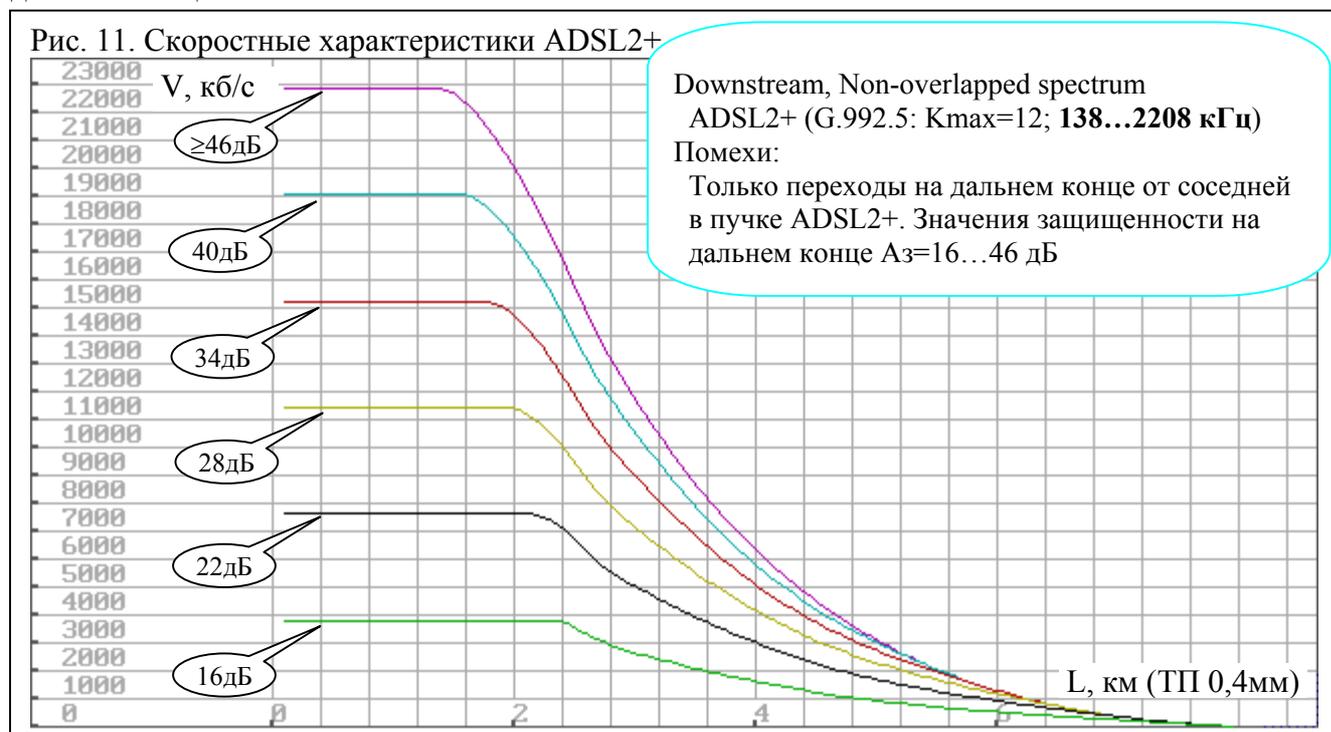
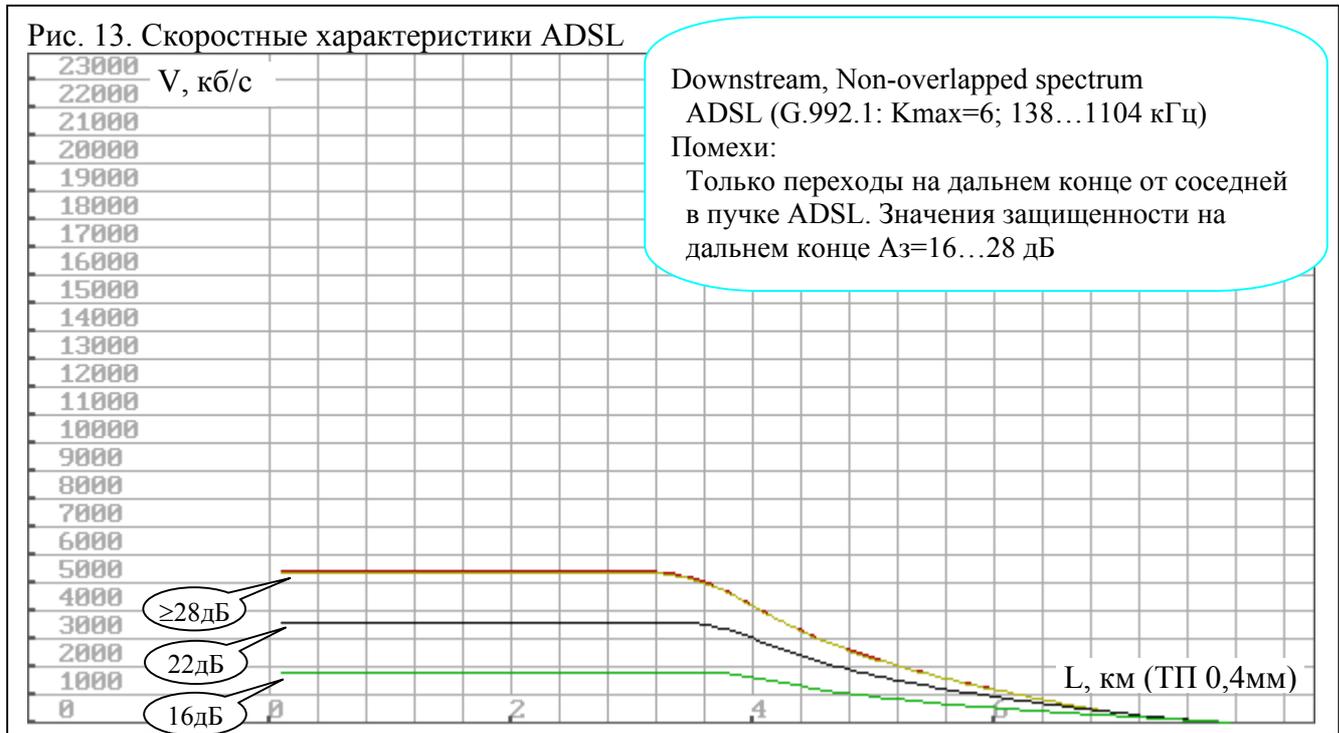


Рис. 13. Скоростные характеристики ADSL



10. Выводы

Идентифицирована расчетная модель (см. раздел 7), позволяющая воспроизводить скоростные характеристики DMT-линий в зависимости от типа кабеля, его длины и влияния помех различной природы. На основе модели **построены скоростные характеристики ADSL** для кабеля ТП 0,4 мм в зависимости от длины кабеля и:

- влияния переходных помех от симметричных систем на ближнем конце;
- защищенности от переходных помех от ADSL на дальнем конце.

Проведенные исследования не затронули вопросы, необходимость которых представляется не менее значимой:

- исследование влияния случайных событий (микрорезервы связи, всплески помех) на устойчивость цифровой линии;
- исследование эффективной скорости передачи в направлениях down/up и ее соответствия значению скорости, сообщаемой в поле **Attainable Rate** после установки и в процессе соединения;
- исследование дополнительных режимов установления соединения:
 - не исследован режим с ограничением скорости **Line Profile Name=1024** (исследованы **Line Profile Name=ADAPT** и **Line Profile Name=DEFAULT**);
 - не исследованы возможности режима **Alarm Profile Name** (исследования проведены при **Alarm Profile Name=DEFAULT**).

Полученные результаты:

- позволяют нормировать (см. разделы 8 и 9) границы зон обслуживания для заданной скорости ADSL в зависимости от:
 - типа кабеля,
 - уровня помеховой обстановки или
 - показателя существующего или планируемого цифрового уплотнения многопарных кабелей;
- подтверждают и доказывают (см. раздел 8), что переход от технологий HDSL к SHDSL существеннейшим образом снижает негативное влияние работы симметричных систем на скорость многоканальных систем (DMT);
- показывают, что совмещение в одном кабеле (пучке) симметричных одноканальных систем типа SHDSL и многоканальных систем при переходном затухании на ближнем конце не менее чем 56 дБ приводит к незначительному снижению скорости; так для ТПП 0.4мм при длине линии 2.5 км (см. Рис. 9) уменьшение скорости составит:
 - для ADSL2+ 11%;
 - для ADSL2 17%;
 - для ADSL 0% - снижение скорости не наблюдается;
- обеспечивают формирование требований к вновь разрабатываемым кабелям связи для организации цифровых линий с применением многоканальных технологий (DMT):
 - частотные характеристики должны нормироваться в диапазоне частот, используемом применяемым оборудованием цифровой линии $f_0 \dots f_1$, кГц;
 - переходное затухание на ближнем конце - не менее 56 дБ;
 - защищенность от переходного затухания на дальнем конце - не менее $(10 + V / B \times 3)$ дБ, где V , кб/с – необходимая скорость цифровой линии, $B = f_1 - f_0$, кГц – ширина используемой полосы частот.

Начальник лаборатории кабелей связи ЛОНИИС

д.т.н. Ю.А.Парфенов

Ведущий инженер лаборатории кабелей связи ЛОНИИС

Л.И.Кайзер

Продукт-менеджер фирмы NATEKS

О.Чернова

Главный метролог ООО «Аналитик-ТС»

А.В.Кочеров