

## Расчет и контроль кабелей для цифровых линий SHDSL

*Кочеров А.В. - главный метролог ООО «Аналитик-ТС», к.т.н. [www.analytic.ru](http://www.analytic.ru)*

*Ушаков В.А. - заместитель директора по развитию ООО «АДС» [www.adc-line.ru](http://www.adc-line.ru)*

*Руденко В.И. - начальник лаборатории ООО «НПП «Информсистема» [www.informsistema.com](http://www.informsistema.com)*

*Метелев Б.В. - начальник департамента подготовки персонала МРФ «Юг» ОАО «Ростелеком» [www.south.rt.ru](http://www.south.rt.ru)*

### Особенности национальной эксплуатации

Технологии xDSL уже второй десяток лет в России позиционируются как временные. Даже термин такой есть – «заплаточное решение». Предполагается, что рано или поздно на смену меди придет оптика. Но в ходе организации **видеотрансляции на участковых избирательных комиссиях** было продемонстрировано, что доступ в значительном числе случаев может быть организован практически только с использованием технологий SHDSL. Эти технологии уже несколько последних лет развиваются на основе приемопередатчиков SHDSL 128-ТСРАМ, обеспечивающих полнодуплексную связь с линейной скоростью до **15360 кбит/с** по одной паре. Представленные на рынке цифровые системы передачи, распределяя поток по нескольким парам, позволяют создавать системы со скоростью до  $(1...8) \times 15360 = 15360...122880$  **кбит/с** при частичном или полном<sup>1</sup> использовании парной емкости существующих кабельных линий связи, на которых чаще всего встречаются кабели четверочной скрутки типов КСПП, ЗКП и МКС.

Помимо кабельных линий, проложенных в грунте или в кабельной канализации, связь зачастую организуется по воздушным линиям связи, с использованием кабелей с грузонесущим тросом и кабельных линий, составленных из разнородных направляющих систем. Современные системы на основе SHDSL обеспечивают устойчивую работу и в этих условиях, преодолевая порой весьма существенную неравномерность частотных характеристик передачи, однако **наличие перекрестных помех** до сего дня является существеннейшим препятствием для приемопередатчиков SHDSL.

Несмотря на широкую распространенность, вопросу обеспечения эксплуатационной надежности создаваемых линий SHDSL по сей день не уделяется должного внимания. Так, в нормативных документах (стандартах организаций) обычно отсутствуют нормы проектирования и количественные критерии, на основании которых цифровая линия вводится в эксплуатацию. Следует заметить, что отсутствие норм и соответствующей производственной дисциплины приводит к чрезмерному росту эксплуатационных издержек. И именно в такой методической необеспеченности заключаются **особенности национальной эксплуатации**. Туман неизученности этих особенностей призвана рассеять данная статья.

---

<sup>1</sup> Как будет показано ниже, значение скорости **122880 кбит/с**, обеспечиваемое 8-парной линией возможно лишь на соответствующих нормам кабелях при длине регенерационного участка **не более 1 км**.

## Терминология

Сокращение **SHDSL** означает Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – однопарная высокоскоростная абонентская линия. Именно «однопарная», а не «симметричная», как часто приходится слышать. Несмотря на то, что современные приемопередатчики SHDSL обычно предусматривают подключение нескольких пар, акцент на «однопарности» сохранился с начала 2000-х годов. Именно тогда линии SHDSL пришли на смену линиям HDSL, которые для обеспечения передачи двухмегабитных потоков на значительные расстояния были вынуждены использовать до трех пар с понижением скорости до 784 кбит/с в каждой.

Первые приемопередатчики SHDSL продвигались как средства, способные обеспечить трансляцию потоков E1 на то же расстояние, что и HDSL, но всего лишь по одной паре. Правда, очень скоро способность распределять поток на несколько пар вновь стала востребованной, и была соответственно обеспечена, а вот название осталось.

В технической документации компании «АДС» способы модуляции упоминаются как **ТС РАМ 16/32/64/128**, что соответствует обозначениям, используемым в рекомендации **МСЭ-Т G.991.2: 16-ТСРАМ, 32-ТСРАМ**. Надо сказать, что в технической литературе единое обозначение так и не было выработано, встречаются, например, и такие: ТС РАМ-32, 32 tc-pam. Все они отражают сущность модуляции – Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation, то есть амплитудно-импульсная модуляция с решетчатым кодированием. Встречаются и ошибочные толкования аббревиатуры ТСРАМ – «Trellis Coded Phase-Amplitude Modulation – Фазово-амплитудная модуляция с кодированием Треллиса». Тут сразу несколько ошибок. Изобретателя Треллиса, к сожалению, наука не знает, слово «trellis» по-английски обозначает «решетка», фазово-амплитудной модуляции здесь тоже нет, как нет и несущего гармонического сигнала, который можно было бы модулировать.

Идея модуляции k-ТСРАМ состоит в том, чтобы в соответствии с группой бит переносимого цифрового потока формировать однозначно определяемую этой битовой комбинацией величину напряжения, выбираемую из k возможных значений. Формирование нового значения амплитуды напряжения производится с тактовой частотой. Чем выше частота и чем большее количество бит переносится за такт, тем выше скорость. Верхняя граница полосы частот спектра формируемого сигнала определяется половиной тактовой частоты. При увеличении затухания или росте уровня помех тактовая частота понижается для обеспечения устойчивой работы линии<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Подробные сведения о принципах построения приемопередатчиков SHDSL изложены в справочнике *Технологии широкополосного доступа xDSL. Справочник под общей редакцией В.А. Балашова – М.: Эко-Трендз, 2009.*

## Цена вопроса

При создании цифровых линий передачи важнейшим вопросом является определение оптимальной длины регенерационного участка. Ответ на этот вопрос часто приходится искать экспериментально. Под оптимальностью здесь обычно понимается минимизация соотношения **цена/качество**  $Q$ , определяемого отношением суммы понесенных затрат к произведению скорости передачи на общую длину линии

$$Q = \frac{C + T + G + B + E}{R(L) \times L_0} \quad (1)$$

где

- $C = c \times L_0$  - стоимость кабеля и работ по его прокладке,
- $T = t \times 2$  - стоимость двух полукомплектов оконечного оборудования,
- $G = g \times n$  - стоимость регенераторов,
- $B = b \times n$  - затраты на строительно-монтажные и измерительные работы,
- $E = e \times n$  - затраты за первый год эксплуатации линии,
- $n = L_0 / L - 1$  - количество регенераторов в линии,
- $R(L)$  - скорость передачи цифровой линии в зависимости от длины участка,
- $L_0$  - общая длина кабельной линии,
- $L$  - длина регенерационного участка.

Если количество регенераторов  $n \gg 1$ , то стоимостью полукомплектов можно пренебречь ( $T = 0$ ), а если кабельная линия уже находится в эксплуатации ( $C = 0$ ), то легко видеть, что

$$Q \approx \frac{g + b + e}{R(L) \times L} \quad (2)$$

То есть затраты снижаются как с ростом скорости линии  $R(L)$ , так и с ростом длины регенерационного участка  $L$ , но возрастают при увеличении:

- $g$  - цены одного регенератора,
- $b$  - стоимости строительно-монтажных и измерительных работ при установке регенератора,
- $e$  - эксплуатационных затрат в расчете на один регенератор.

Как будет численно показано ниже, увеличение длины  $L$  при выбранной скорости  $R$  приводит к необходимости обеспечения высокого качества кабеля связи, что практически затруднительно, если используется уже существующая кабельная линия. Поэтому, минимизируя соотношение  $Q$ , следует обеспечить хотя бы неувеличение числителя в (2). Любая экономия полезна<sup>3</sup>, однако всегда необходимо знать и понимать ее цену – см. табл. 1.

---

<sup>3</sup> Следует заметить, что линии SHDSL обычно монтируются не специализированными организациями, а силами специалистов оператора связи, поэтому необоснованная экономия при выборе проектного решения, монтаже и пуско-наладке, приводит к росту последующих эксплуатационных расходов, вынимаемых из того же кармана.

Таблица 1. Традиционные способы оптимизации проекта линии SHDSL

Действия	Обоснование	Примечания
Увеличение длины регенерационного участка $L$ в целях экономии при закупке и монтаже оборудования	По предельным техническим характеристикам приемопередатчиков	В процессе и после реализации проекта оператор не имеет сведений о расчетном и фактическом запасе помехозащищенности
	По характеристикам приемопередатчиков в условиях отсутствия в кабеле иных цифровых линий, то есть без учета переходных влияний	
	С учетом норм затухания переходных помех, выбранных «не для того кабеля»	
	По фактическим характеристикам линий предыдущих поколений	
Борьба за снижение цены регенератора $g$	«Бюджетные» системы передачи тоже работают	Не способствуют росту технического уровня проектного решения. Потенциально повышают последующие эксплуатационные затраты $e$ на обеспечение устойчивости линии
Отказ от выполнения измерительных работ - снижение $b$	Зачем что-либо измерять, если во многих случаях линия при вводе в эксплуатацию вполне работоспособна	

Величина эксплуатационных затрат  $e$  может быть сведена к нулю, если после грамотного проектирования и монтажа цифровая линия **устойчиво работает** на необходимой скорости передачи. Осталось определиться с тем, что такое «грамотность» и «устойчивость», к чему и приступим.

## Устойчивость

Устойчивость цифровых линий характеризуется величиной запаса помехозащищенности **SNR Margin**, определяемой после успешного установления соединения путем дополнительного увеличения затухания или увеличения уровня шума, при котором линия сохраняет работоспособность на установленной скорости (МСЭ-Т G.991.2 и G.996.1). Граница между работоспособным и неработоспособным состоянием линии соответствует вероятности единичной ошибки передачи  $p=10^{-7}$ , а величину SNR Margin, являющуюся параметром настройки оборудования цифровой линии, часто называют «**Качеством сигнала**».

Устойчивость легко обеспечивается при увеличении «Качества сигнала», то есть запаса помехозащищенности SNR Margin. Однако такое увеличение существенно снижает длину регенерационного участка  $L$  на заданной скорости  $R$ . Например, при увеличении «Качества сигнала» с 0 до 20 дБ для обеспечиваемой скорости **6016 кбит/с** длина  $L$  на кабеле КСПП-1x4x0,9 снижается с **5300 до 1900 м**, то есть на 64% - см. рис. 1<sup>4</sup>. И наоборот, если ранее установленное оборудование цифровой линии обеспечивало ее работоспособность с «Качеством сигнала» равным, к примеру, 20 дБ, то снижение этого запаса до вполне достаточного уровня в 5 дБ при длине линии **4000 м** позволит увеличить скорость с **2752 до 6976 кбит/с**, то есть на 153%.

Вторым параметром, определяющим экономические показатели создаваемой цифровой линии согласно (2), является зависимость характеристики  $R(L)$  от качества кабеля. Не углубляясь в подробности, которые исчерпывающе определены в рекомендации МСЭ-Т G.991.2, описывающей среди прочего и методы испытаний линий SHDSL, можно утверждать, что качество кабеля достаточно характеризовать коэффициентом затухания  $\alpha(f)$  и затуханием переходных помех на ближнем конце  $NEXT(f)$ .

<sup>4</sup> Все скоростные характеристики, используемые в статье, построены с помощью программы [xDSLcalc](#), разработанной компаниями «Аналитик-ТС» и «Информсистема». Дистрибутив программы доступен на сайтах [www.analytic.ru](http://www.analytic.ru) или [www.informsystema.com](http://www.informsystema.com)

Коэффициент затухания<sup>5</sup> определяется типом изоляции кабеля, диаметром токопроводящих жил и для исправного кабеля практически стабилен.

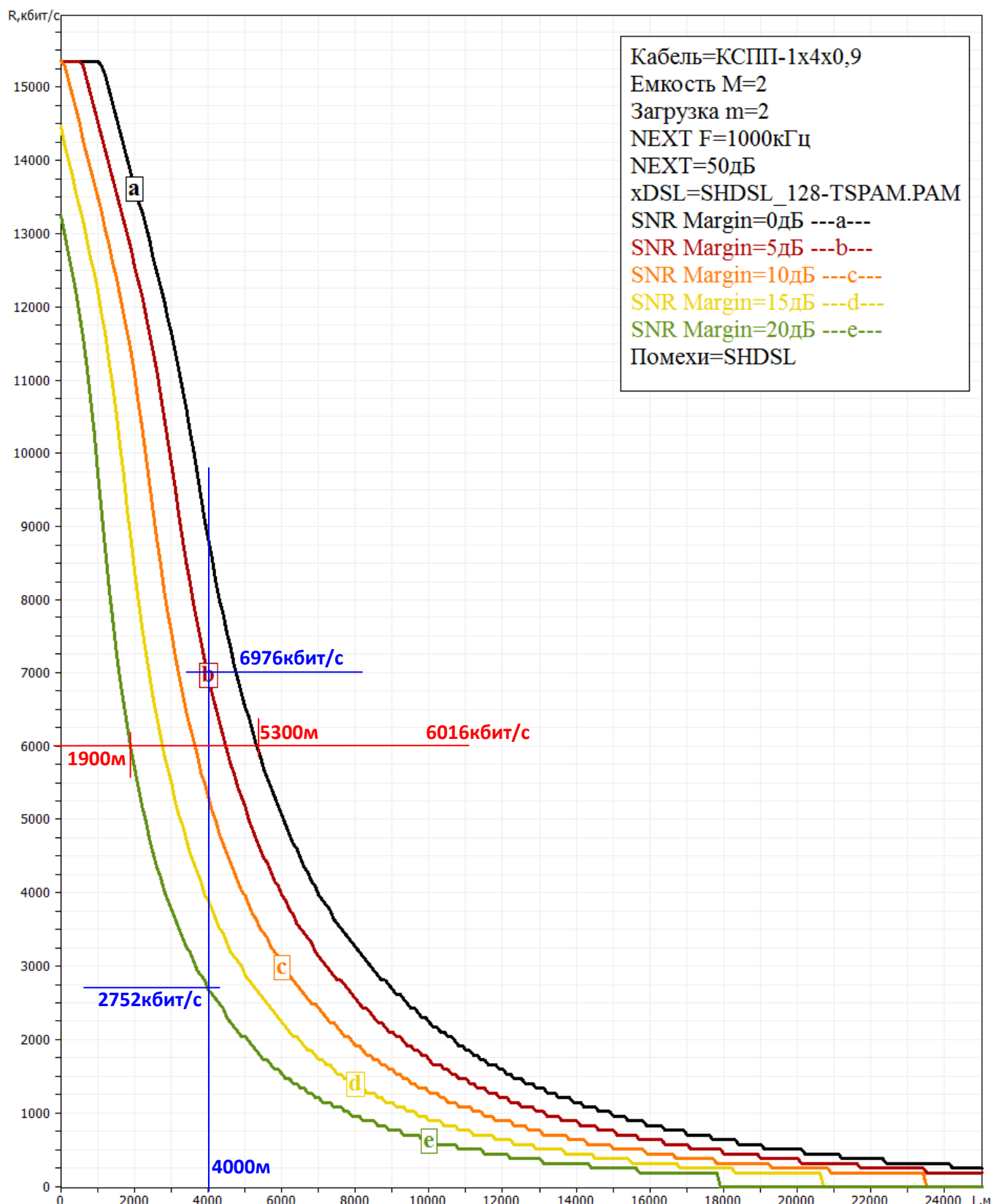


Рис. 1. Скоростные характеристики SHDSL 128-TSPAM в зависимости от назначенного запаса помехозащищенности SNR Margin в условиях соответствия применяемого кабеля КСПП-1х4х0,9 норме затухания переходных помех NEXT(1000 кГц)=50 дБ

<sup>5</sup> В программу xDSLcalc пользователем могут быть введены характеристики любых кабелей. В состав дистрибутива программы входят характеристики кабелей, заимствованные из следующих источников:  
 ТПП - Технологии широкополосного доступа xDSL. Справочник под общ. ред. В.А. Балашова – М.: Эко-Трендз, 2009;  
 КСПП - Ю.А. Парфенов. Кабели электросвязи. – М.: Эко-Трендз, 2003;  
 МКС, ЗКП - А.С. Воронцов и др. Коаксиальные и высокочастотные симметричные кабели связи - М.: РИЦ, 1994;  
 ТЦП - ТУ 3571-008-12154334-2006. Кабели малопарные высокочастотные для цифровых сетей абонентского доступа. Разработаны компанией «НПП «Информсистема».

Частотные зависимости переходного затухания ведут себя существенно разнообразнее – см. рис. 2, на котором представлены несколько измеренных характеристик, вся совокупность которых должна протекать выше кривой, выбираемой в качестве нормы. На рисунке это сплошная кривая красного цвета, убывание которой в логарифмическом масштабе согласно многочисленным исследованиям составляет 15 дБ при десятикратном увеличении частоты (т.е. темп изменения NEXT(f) равен минус 15 дБ/дек)<sup>6</sup>.

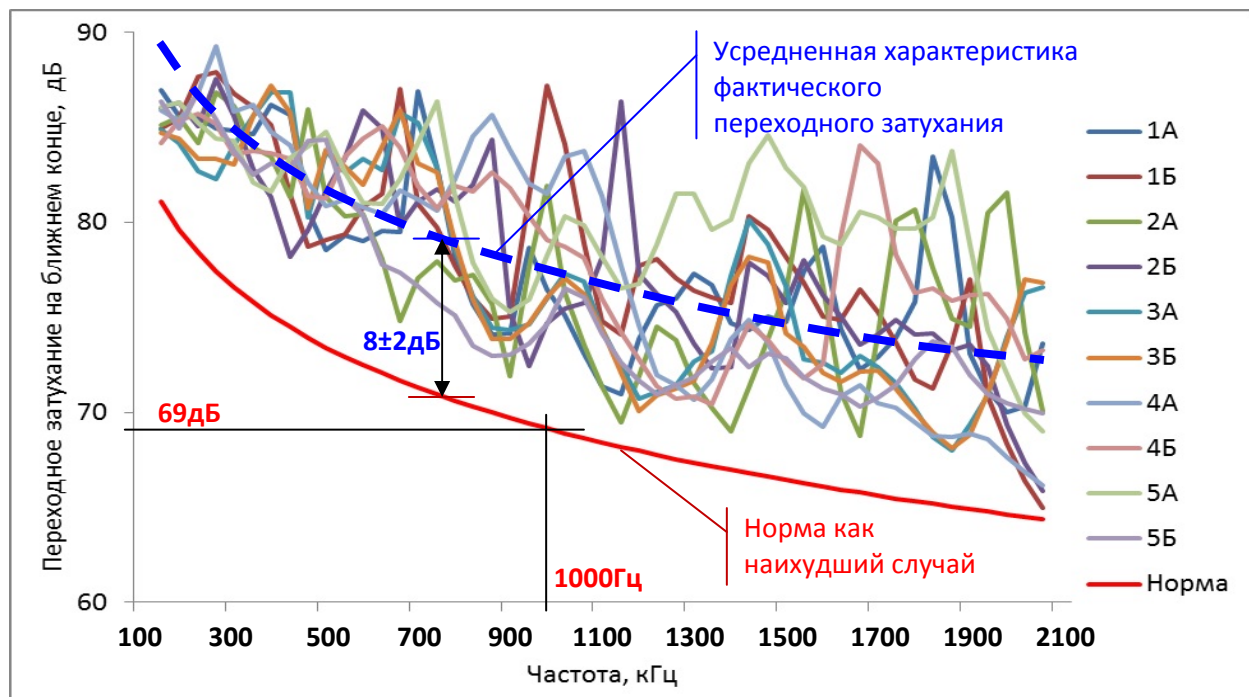


Рис. 2. Пример частотных характеристик переходного затухания на ближнем конце NEXT(f) для пяти бухт кабеля ТЦПП 2х2х0,52, измеренных с двух концов. Значение нормы на частоте нормирования NEXT(F=1000 кГц)=69 дБ

Анализ результатов прямых измерений неравномерности частотных характеристик переходного затухания позволяет утверждать, что усредненные частотные характеристики протекают с тем же темпом нарастания, что и норма, причем расстояние между выбранной нормой и усредненной характеристикой (синяя пунктирная линия на рис. 2) составляет

$$\Delta NEXT(f) = 8 \pm 2 \text{ дБ} \quad (3)$$

Скорость передачи согласно формуле Шеннона определяется соотношением сигнал/помеха в используемой полосе частот и, таким образом, изменение скорости пропорционально изменению выраженной в децибелах защищенности. При вычислении скорости в программе xDSLcalc считается, что протекание фактической кривой защищенности в точности равно заданной норме. Это приводит к тому, что программа xDSLcalc вычисляет **гарантированную скорость** или норму скорости. Для определения реалистичной скорости следует поднять норму NEXT на 8 дБ, но делать это можно только тогда, когда заведомо известно, что качество кабельных участков стабильно<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Скорость снижения переходного затухания на ближнем конце равна 15 дБ/дек. Эта величина определяется емкостным характером связи между парами (20 дБ/дек), но сдерживается увеличением рабочего затухания с нарастанием частоты (минус 5 дБ/дек).

В отличие от NEXT(f), эквивалентная защищенность передачи сигналов на дальнем конце – ELFEXT(f) характеризуется скоростью снижения 20 дБ/дек, что как раз отражает одинаковость скоростей изменения рабочего затухания и полезного сигнала, и создаваемой им переходной помехи.

<sup>7</sup> Чтобы работать с направляющими системами стабильного качества, было бы достаточно жить в Германии, изумительному порядку содержания кабельного хозяйства в которой был свидетелем один из авторов настоящей статьи. Но почему бы нам не постараться обеспечить должную стабильность кабельных характеристик в своей стране?

## Грамотность

Для определенности последующего изложения необходимо оговорить принципы, согласно которым квалифицируется качество кабелей связи для SHDSL:

- нижняя граница спектра сигнала SHDSL составляет около 5 кГц;
- максимальная скорость SHDSL 128-ТСПАМ равна 15360 кбит/с и обеспечивается при тактовой частоте  $15360/6=2560$  кГц; здесь число 6 показывает количество бит цифрового потока, переносимое за один такт:  $2^{(6+1)}=128$ , а показатель модуляции 128 – количество возможных уровней напряжения<sup>8</sup>;
- верхняя граница спектра равна половине тактовой частоты и составляет 1280 кГц;
- снижение скорости обеспечивается снижением тактовой частоты и сопровождается пропорциональным уменьшением верхней границы занимаемой полосы частот;
- в целях обеспечения заданного запаса устойчивости SNR\_Margin скорость снижается при росте рабочего затухания  $\alpha(f) \times L$  и падении переходного затухания<sup>9</sup>;
- значения коэффициентов затухания  $\alpha(f)$  приводятся в справочниках;
- выражение для определения нормы переходного затухания имеет вид:

$$NEXT(f) > NEXT(F) - 15 \times \lg(f/F) \quad (4)$$

где  $f = 5 \dots 1280$  кГц - частота в диапазоне SHDSL;

$F = 1000$  кГц - частота нормирования переходных влияний<sup>10</sup>;

$NEXT(F)$  - норма переходного затухания на частоте  $F$ .

---

<sup>8</sup> Показатель модуляции соответствует количеству возможных дискретных состояний уровня напряжения, величина которого, в свою очередь, однозначно связана с кодом выделенной части переносимого цифрового потока. При 32-ТСПАМ переносится 5 бит за один такт ( $2^5=32$ ), а 128-ТСПАМ переносит за такт уже 7 бит ( $2^7=128$ ). Один бит всегда расходуется на избыточное trellis-кодирование, повышающее помехозащищенность, и, таким образом, максимальная полезная скорость передачи различается не в  $128/32=4$  раза, как это могло бы показаться, а лишь в  $(7-1)/(5-1)=1,5$  раза, что тоже весьма существенно, конечно. При таком увеличении скорости согласно теории К.Шеннона, подтвержденной практикой, расходуется около 4,5 дБ ресурса запаса помехозащищенности.

<sup>9</sup> Расчет скорости выполняется по достаточно сложным моделям, что не позволяет предложить простые формулы или универсальные номограммы. В статье представлены результаты расчетов, выполненные посредством свободно распространяемой программы **xDSLcalc**, в которой использована модель помехозащищенности приемопередатчиков SHDSL. Расчет основан на анализе соотношения сигнал/шум в полосе частот, соответствующей тактовой частоте передатчика, измеряемого на входе приемника и пересчитываемого на выход передатчика с учетом затухания в линии связи. Подробное описание модели приведено в статье *Кочеров А.В. Расчет скоростного потенциала SHDSL // Электросвязь. – 2008. - №6. - с.61-63.*

<sup>10</sup> Частота нормирования переходного затухания выбрана в верхней четверти диапазона частот SHDSL. Эта часть спектра РАМ-сигнала наиболее ослаблена из-за затухания рабочего сигнала и в наибольшей степени подвержена влиянию переходных помех, затухание которых согласно (4) генерально уменьшается с ростом частоты.

## Контроль и нормы

Сводка норм переходного затухания представлена в табл. 2. В последних строках таблицы для указанных типов кабелей приведены рекомендуемые значения, полученные на основании обработки результатов измерений, предоставленных в том числе пользователями анализаторов систем передачи и кабелей связи **AnCom A-7** (рис. 3).

Интерес к измерению кабелей связи при инсталляции линий SHDSL часто возникает лишь тогда, когда «нарезка» кабеля на регенерационные участки выполнена чрезмерно оптимистично, в результате чего линия не работает на заданной скорости, причины чего подробно освещены выше (см. табл. 1). Этот список можно дополнить:

- на линии имеют место помехи от сторонних источников, спектральная плотность мощности которых превышает уровень минус 120 дБм/Гц, соответствующий уровню собственных помех приемника SHDSL;
- параметры кабеля не соответствуют нормам.



Рис.3. Контроль анализатором **AnCom A-7** соответствия переходного затухания нормам рекомендации МСЭ-Т **L.19**. Контроль качества кабеля должен выполняться не на единственной частоте и даже не на нескольких дискретных частотах, а в силу существенной неравномерности протекания частотной характеристики  $NEXT(f)$  в диапазоне частот планируемой к применению цифровой линии с шагом не более 10 кГц

Таблица 2. Нормы переходного затухания

Нормативные документы	Данные нормативного документа		Пересчет нормы на частоту $F=1000$ кГц, $NEXT(F=1000$ кГц), дБ
	F, кГц	Норма $NEXT(F)$ , дБ	
Рекомендация МСЭ-Т <b>L.19</b> Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL	150	56	52
	1024	52	
	2048	44	
<b>ГОСТ Р 53538-2009</b> Многопарные кабели с медными жилами для цепей широкополосного доступа	160	60	55
	1100	55	
	2200	50	
ТУ на современные кабели, на примере ТУ 3571-008-12154334-2006 для кабелей <b>ТЦП</b> производства компании «НПП «Информсистема»	160	77	65
	1024	65	
	2048	60	
Рекомендуемые нормы для исправных кабелей различных типов, находящихся в эксплуатации	КСПП	-	50
	ЗКП	-	50
	МКС	-	50

Оператор связи, конечно, может использовать в качестве норм и те характеристики, которые определены его опытом. Здесь важно именно то, чтобы выполнить расчеты и выяснить возможные обстоятельства до того, как приступать к закупкам оборудования и работам на линии.



При выборе норм следует иметь в виду, что затраты на создание цифровой линии при прокладке нового кабеля (1) или при использовании уже имеющегося (2) будут снижаться при росте качества кабеля не менее чем на **4,5% на каждый децибел** повышения затухания переходных помех. Такой показатель легко определить, воспользовавшись представленными ниже результатами расчетов скоростных характеристик. Например:

- пусть длина участка на кабеле КСПП-1х4х0,9 (см. рис. 4) равна 4000 м,
- тогда при увеличении NEXT(1000кГц) с 40 до 50 дБ (т.е. на 10 дБ) скорость возрастет **с 3904 до 7104 кбит/с**,
- т.к. приведенные затраты обратно пропорциональны скорости – см. (1) и (2) и, если принять затраты на некачественном кабеле (переходное затухание составляет лишь 40 дБ) равными 100%, то при использовании кабеля с качеством 50 дБ приведенные затраты составят  $3904/7104 \times 100\% = 55\%$ ,
- таким образом, снижение затрат при росте качества на 10 дБ составит  $100 - 55 = 45\%$ , что и позволяет оценить рост экономических показателей проекта за счет обеспечения качества кабеля величиной не менее  $45/10 = 4,5\%$  на децибел.

## Скоростные характеристики SHDSL

Возвращаясь к выражению зависимости скорости  $R$  от качества кабеля, представим на рис. 4...7 результаты расчета скоростных характеристик для кабелей распространенных типов при различных значениях нормы переходного затухания. Результаты расчета приведены на рисунках сплошными линиями.

Дополнительно на графики точками отображены результаты, соответствующие скоростным возможностям цифровых систем передачи семейства [MC04-DSL](#), серийно выпускаемых компанией [ООО «АДС»](#). Результаты получены в ходе линейных испытаний на реальных кабелях систем передачи, основанных на приемопередатчиках SHDSL. Пунктирной линией представлены результаты интерполяции экспериментальных значений.

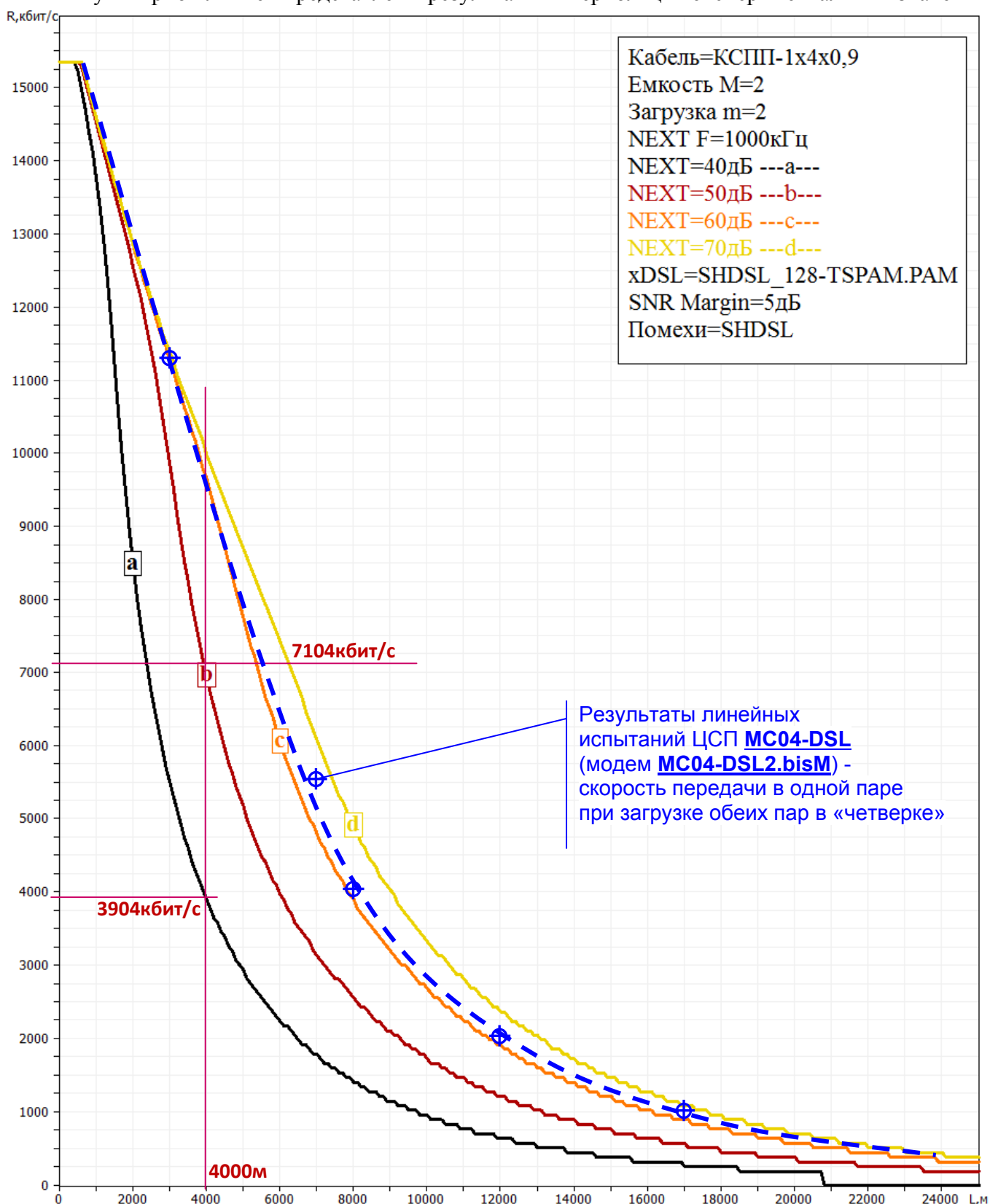


Рис. 4. Скорость SHDSL 128-TSPAM для кабеля КСПП-1х4х0,9 при загрузке двух пар в четверке

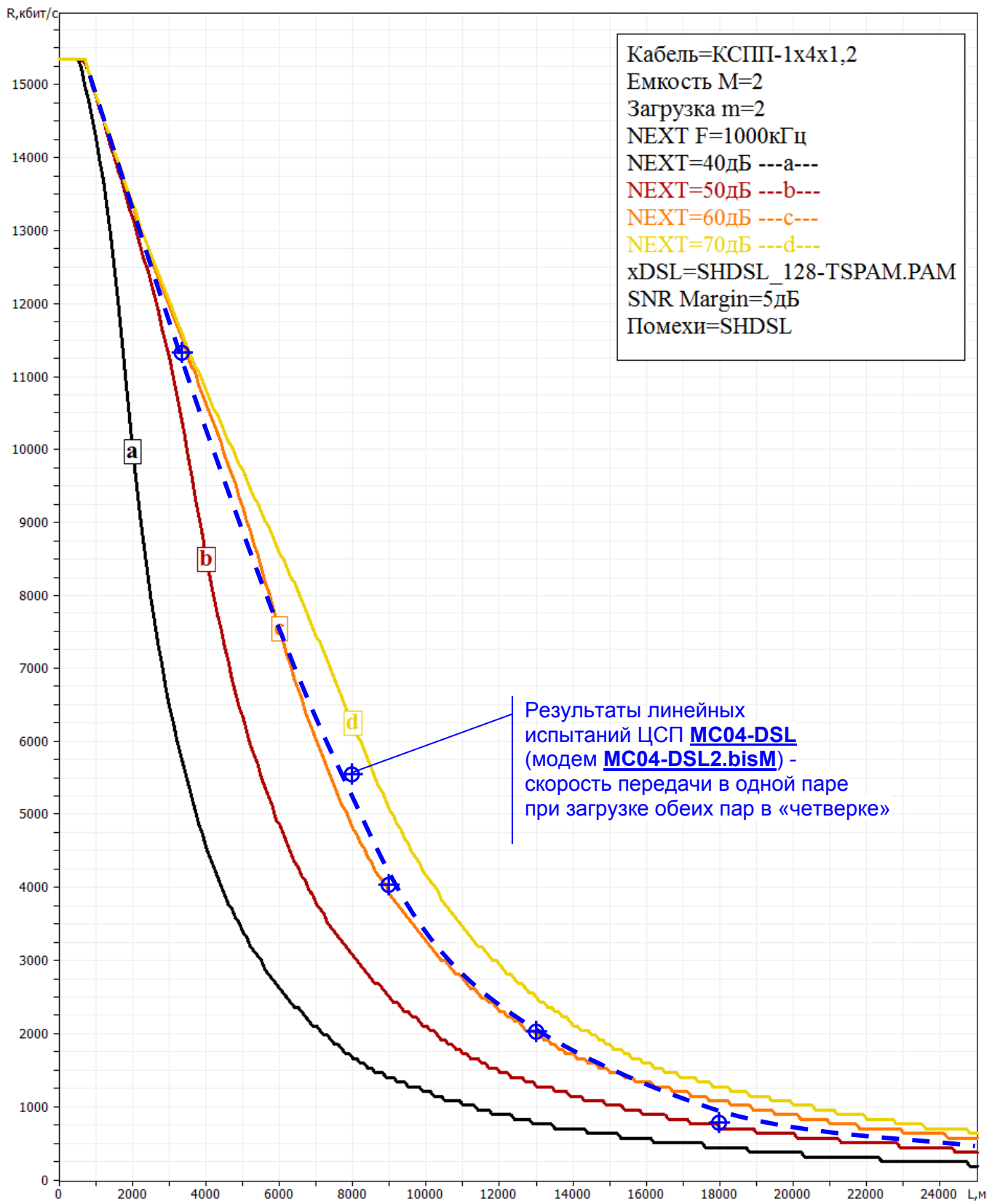


Рис. 5. Скорость SHDSL 128-TSPAM для кабеля КСПП-1x4x1,2 при загрузке двух пар в четверке

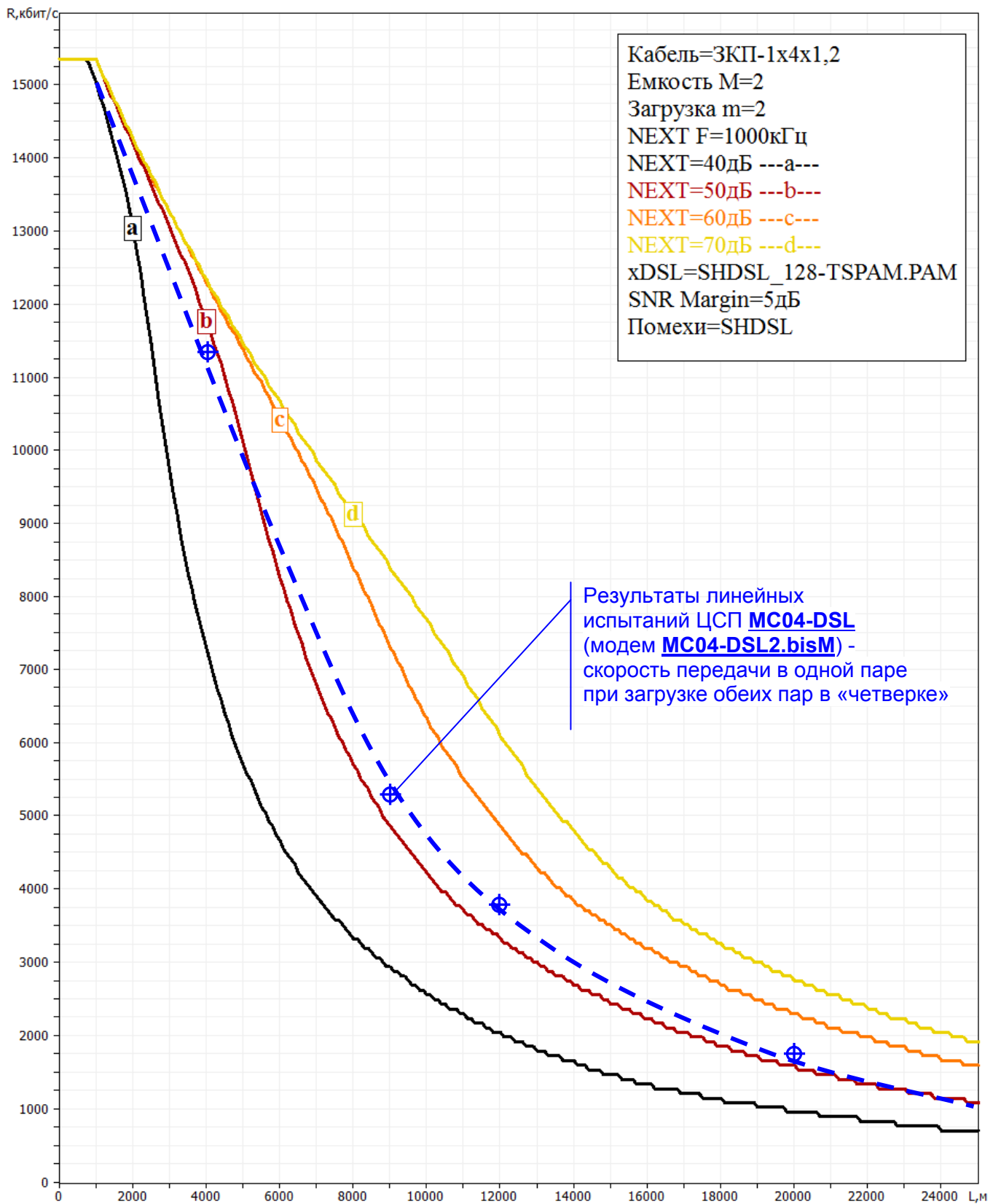


Рис. 6. Скорость SHDSL 128-TSPAM для кабеля 3KP-1x4x1,2 при загрузке двух пар в четверке

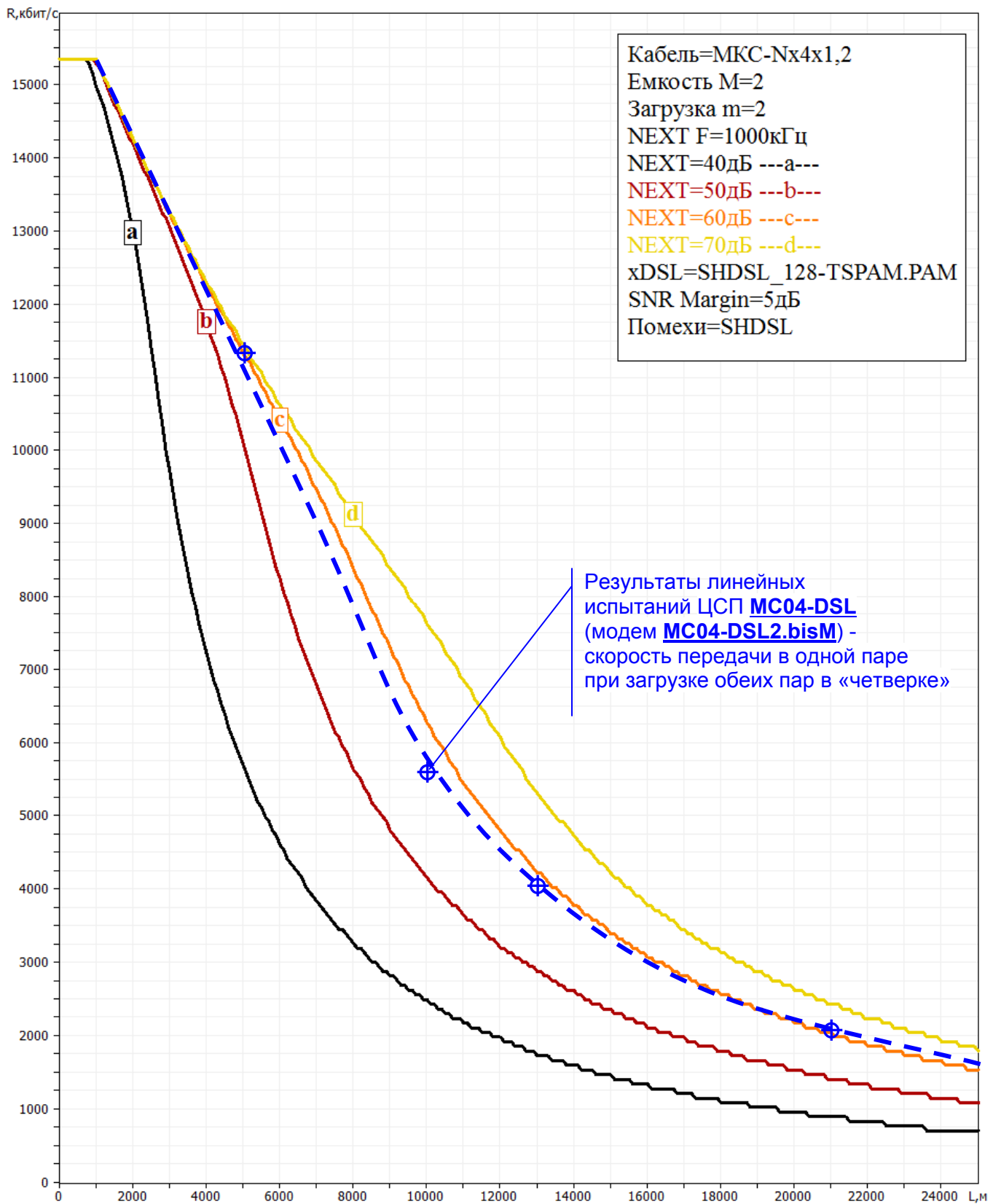


Рис. 7. Скорость SHDSL 128-TSPAM для кабеля MKC-Nx4x1,2 при загрузке двух пар в четверке

Анализ представленных расчетных характеристик, соотнесенных с данными линейных испытаний, показывает:

- длина регенерационного участка на заданной скорости самым существенным образом зависит:
  - от задания запаса помехозащищенности (рис. 1),
  - от качества кабеля, выражаемого
    - коэффициентом затухания, характерным для каждого типа кабеля связи,
    - нормой переходного затухания (рис. 4...7);
- данные линейных испытаний, наложенные на расчетные характеристики, позволяют с учетом (3) оценить величины норм переходного затухания использованных кабельных линий<sup>11</sup>:
  - КСПП-1x4x0,9 NEXТ(1000кГц)=62-8=54 дБ (см. рис. 4),
  - КСПП-1x4x1,2 NEXТ(1000кГц)=60-8=52 дБ (см. рис. 5),
  - ЗКП-1x4x1,2 NEXТ(1000кГц)=52-8=44 дБ (см. рис. 6),
  - МКС-Nx4x1,2 NEXТ(1000кГц)=58-8=50 дБ (см. рис. 7).

Практический опыт установки цифровых линий свидетельствует о том, что реализуемая на исправном кабеле скорость может существенно изменяться от участка к участку, несмотря на то, что длины участков равны. Минимальная скорость может опускаться до 20...40% от максимально достигнутого значения (100%). Причиной такой «недостачи» обычно является именно падение переходного затухания<sup>12</sup> до значения NEXТ(1000 кГц) около 30 дБ (ср. рис. 8 и 9).

И именно для того, чтобы планомерно вести проектные, монтажные и пусконаладочные работы на линии, следует контролировать кабельные участки, накапливая статистику, обработка которой позволяет выработать норму:

- норма не должна быть чрезмерно велика, чтобы не привести к увеличению затрат на борьбу с ее нарушениями из-за непрогнозируемого роста параметра  $b+e$  в выражении (2);
- норма не должна быть чрезмерно низка, чтобы уменьшение произведения  $R(L) \times L$  не привело бы к росту затрат согласно (2);
- компромиссные значения норм представлены в нижних строках табл. 2.

## Рабочий план

Определить фактическую скорость цифровой линии экспериментально сравнительно просто – для этого необходимо подключить соответствующие измерительные приборы вместо регенераторов (можно использовать и сами регенераторы, правда, перед этим следует выполнить монтаж всего оборудования на линии). А вот определить экспериментально (в полевых условиях, а не в лаборатории) предельную длину на заданной скорости практически невозможно. Для этого нужно много копать и резать, но это долго и что делать с обрезками кабеля? Именно в этом случае использование представленных скоростных характеристик и программы [xDSLcalc](#) позволяет выполнить определение предельной длины участка для обеспечения необходимой скорости.

Но часто кабель уже поделен на участки. Например, многие линии, выполненные кабелем КСПП, были «нарезаны» под ИКМ-30С примерно по 4000 м. В этом случае программа [xDSLcalc](#) позволяет, оперируя четырьмя взаимосвязанными параметрами – длина участка, скорость, запас помехозащищенности и норма переходного затухания, квалифицированно «переливать» ресурсы этих параметров из одного в другой.

<sup>11</sup> Оценка величины переходного затухания по данным косвенных измерений не может быть использована непосредственно для нормирования кабелей, но замечательно иллюстрирует соответствие расчетной модели, реализованной программой xDSLcalc, экспериментальным данным.

<sup>12</sup> Линия может и просто не работать, но тогда причина будет заключаться в повреждении кабеля.

Таким образом, программа [xDSLcalc](#) открывает новые возможности моделирования линий SHDSL и их скоростной загрузки, что предлагается делать в соответствии с этапами, определенными в табл. 3.

Таблица 3. Этапы реализации проекта установки цифровой линии SHDSL

Наименование этапа		Метод реализации	Примечания	
1	Определить тип используемого кабеля и его параметры	Изучение данных учета	При наличии данных	
2	Определить линейную скорость передачи $R$ , необходимую для решения задачи	Системный анализ	Учесть перспективы развития	
3	Задать норму переходного затухания NEXT( $F=1000$ кГц)	Учесть данные таблицы 2	Использовать стандарты организации	
4	Определить длину регенерационного участка $L$	По данным рис. 4...7 или по программе <b>xDSLcalc</b>	-	
5	Сформировать проектные условия, определить число регенераторов	Применить результаты расчета длины регенерационного участка к данным кабельной трассы	Уточнить значения $L$ по участкам	
6	Выполнить паспортизацию каждого участка по традиционным показателям исправности и дополнительно измерить фактические величины: <ul style="list-style-type: none"> <li>рабочего и переходного затухания,</li> <li>запаса помехозащищенности на требуемой скорости</li> </ul>	Измерительные технологии <b>xDSLГодностьПары</b> и <b>SHDSL_128-ТСРАМ</b> , поддерживаемые анализатором <b>AnCom A-7</b>	После выполнения подготовительных работ до подключения регенераторов	
7	Завершающие мероприятия проекта	при обнаружении повреждения кабельного участка	Выполнить необходимые восстановительные работы на участке	Повторить с п.6
		при обнаружении несоответствия нормам переходного затухания или скорости проектным условиям	Установить на участке дополнительный регенератор	Повторить с п.6
		при полном соответствии параметров проектным условиям	-	Приступить к установке линейного оборудования
		вести учет данных паспортизации	-	В целях накопления опыта и коррекции норм переходного затухания

## Падение скорости при полной загрузке «четверки»

В практике установки SHDSL часты случаи, когда оборудование вначале включается в однопарном варианте использования кабеля «четверочной» скрутки, а через некоторое время кабель «доуплотняется» подключением второй пары в «четверке». При этом вопреки ожиданиям удвоение скорости не наступает по причине недостаточного переходного затухания и рис. 8 показывает, что даже на соответствующем нормам по NEXT кабеле (см. табл. 2) такое падение скорости, начиная с длины участка от 7 км, может быть более чем двукратным. То есть установка дополнительного оборудования или выполнение дополнительных монтажных работ в этом случае не имеет никакого технического смысла и, следовательно, вредна экономически. На участках с длиной до 4 км скорость тоже падает, но лишь до 69% от исходной, поэтому «доуплотнение» четверки повысит скорость не менее чем на 38%, но не на 100%, как того хотелось бы.

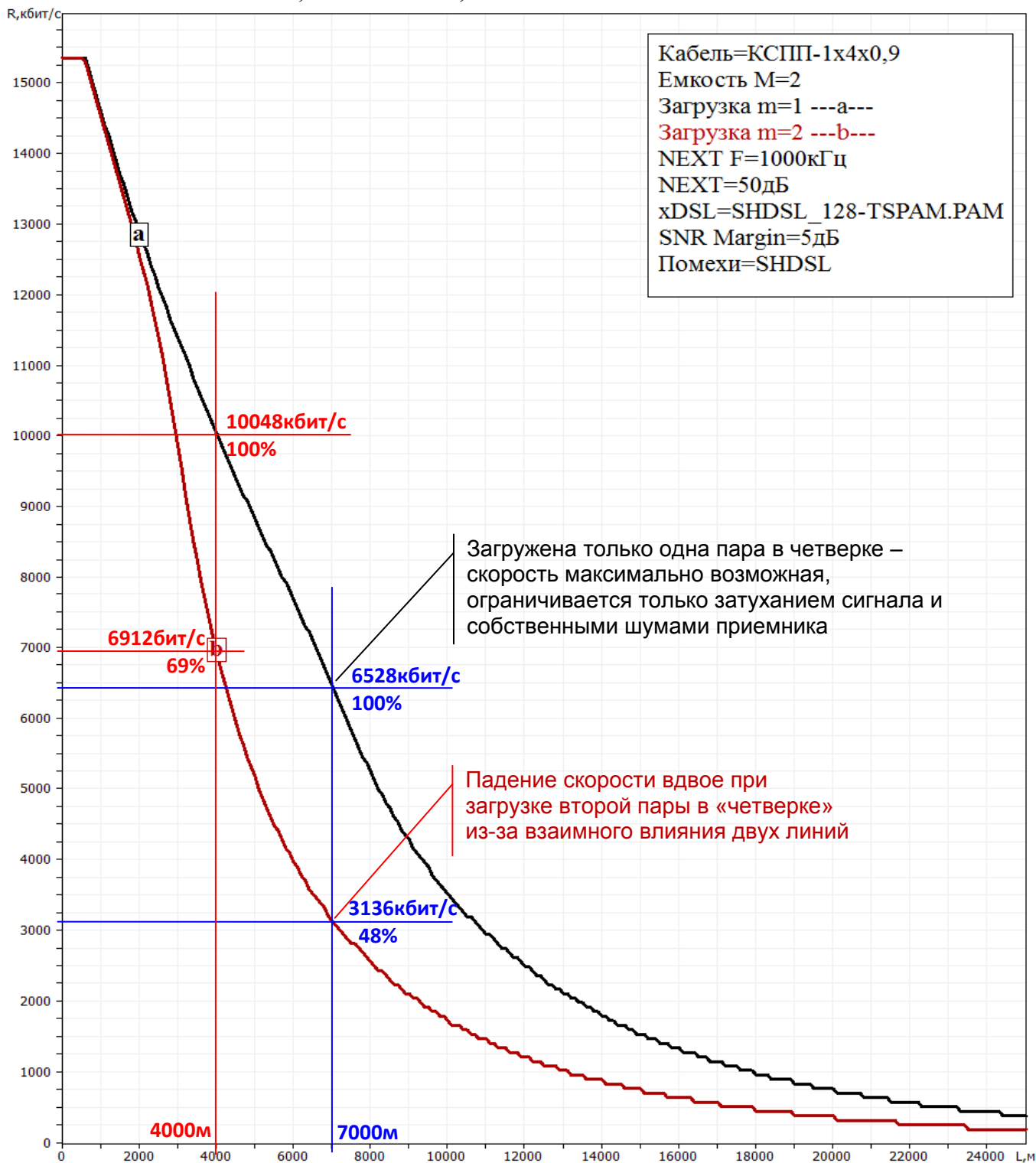


Рис. 8. Скорость SHDSL 128-TSPAM для случаев загрузки **только одной пары и обеих пар в «четверке»** КСПП-1х4х0,9 при норме NEXT(1000 кГц)=50 дБ



## Скоростные характеристики SHDSL при низком качестве кабеля

Если линия состоит из нескольких регенерационных участков, то скорость наихудшего из них будет ограничивать скорость всей линии. Причина снижения скорости может заключаться в существенном падении переходного затухания. Если проведение восстановительных работ затруднительно, а установка на аварийном участке дополнительного регенератора невозможна, то повысить скорость можно изменением показателя модуляции. На рис. 9 представлены скоростные характеристики кабеля, соответствующего рекомендуемой норме по NEXT. Здесь наблюдается ожидаемый эффект – увеличение показателя модуляции способствует повышению скорости. Скорость на аварийном кабеле отражает рис. 10, демонстрируя возможность повышения скорости при упрощении модуляции. Так, для длины выше 550 м наилучшие показатели будут при типе модуляции 32-ТСРАМ.

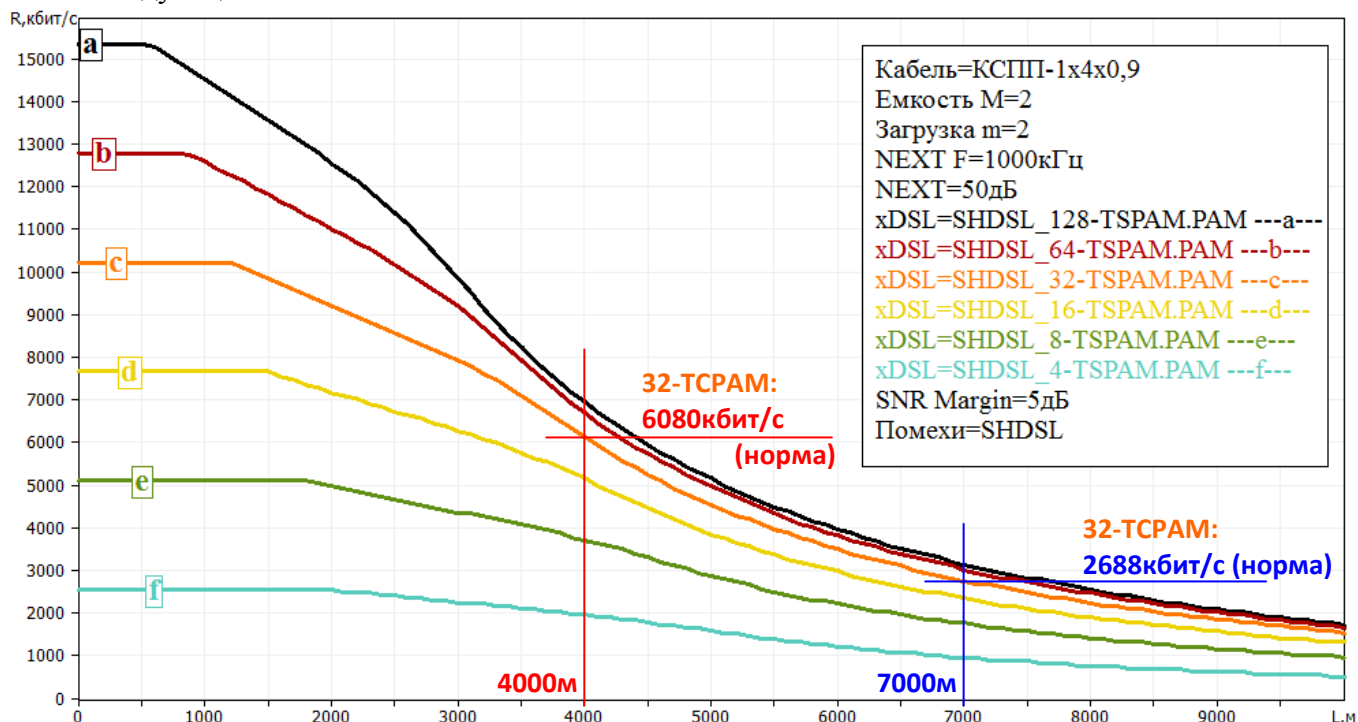


Рис. 9. Скорость SHDSL для показателя модуляции от 4 до 128 при норме NEXT(1000 кГц)=50 дБ

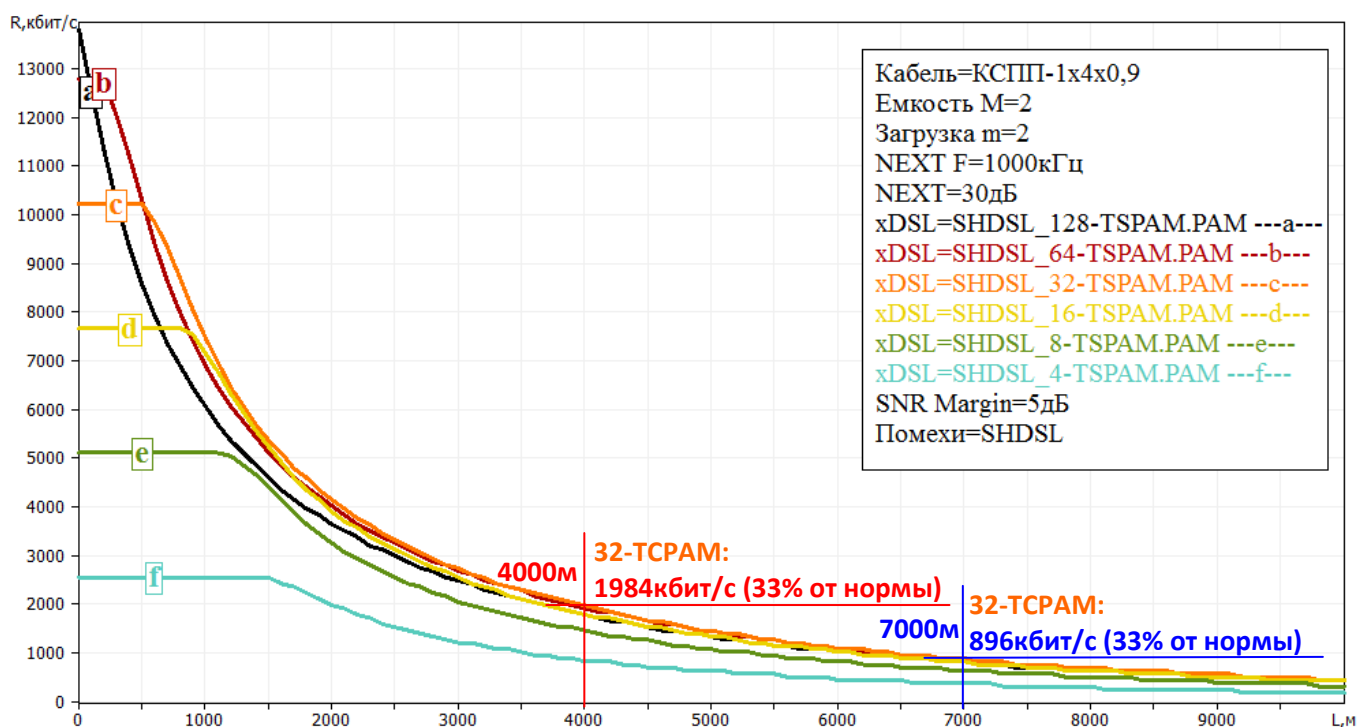


Рис. 10. Скорость SHDSL для показателя модуляции от 4 до 128 при аварийном NEXT(1000 кГц)=30 дБ

Тип модуляции **32-ТСРАМ** представляется **наиболее эффективным**, так как демонстрирует наилучшие показатели на аварийных кабелях (рис. 10). На качественных кабелях (рис. 9) с длиной от 3000 м скоростные характеристики SHDSL с модуляцией 32-ТСРАМ лишь незначительно уступают модуляциям 64- и 128-ТСРАМ.

### Современные кабели для систем xDSL

Если кабельная линия ещё не построена, то для ее прокладки следует применять современные т.н. цифровые кабели, специально разработанные для обеспечения минимизации приведенных затрат. Так, согласно (1), приведенные затраты снижаются при подъеме характеристики  $R(L)$  или при снижении количества регенераторов  $n$  за счет обеспечения роста переходного затухания. Отечественные кабельные заводы выпускают такие кабели, номенклатура которых представлена на сайтах: [www.saranskabel.ru](http://www.saranskabel.ru) - Сарансккабель, [www.elixcable.ru](http://www.elixcable.ru) - Эликс-кабель, [www.odeskabel.com](http://www.odeskabel.com) - Одескабель, [www.informsystema.com](http://www.informsystema.com) - НПП «Информсистема» и других.

Например, электрические характеристики кабелей малопарных высокочастотных для цифровых сетей доступа серии **ТЦП**, выпускаемых НПП «Информсистема», значительно выше требований, предъявляемых **ГОСТ Р 53538-2009** – см. табл. 2. А эксплуатационные характеристики кабелей с водоблокирующими элементами и т.н. монолитной конструкции несколько не хуже характеристик кабелей с гидрофобным заполнением. Кроме кабелей, предназначенных для прокладки непосредственно в грунт и в кабельную канализацию, предприятие выпускает кабели с грузонесущим тросом, предназначенные для подвески на опорах. На рис. 11 приведены скоростные характеристики кабелей ТЦПП 2х2х0,52; ТЦПмПпт 2х2х0,64 и ТЦПмПп 2х2х0,9 применительно к линиям SHDSL 128-ТСРАМ.

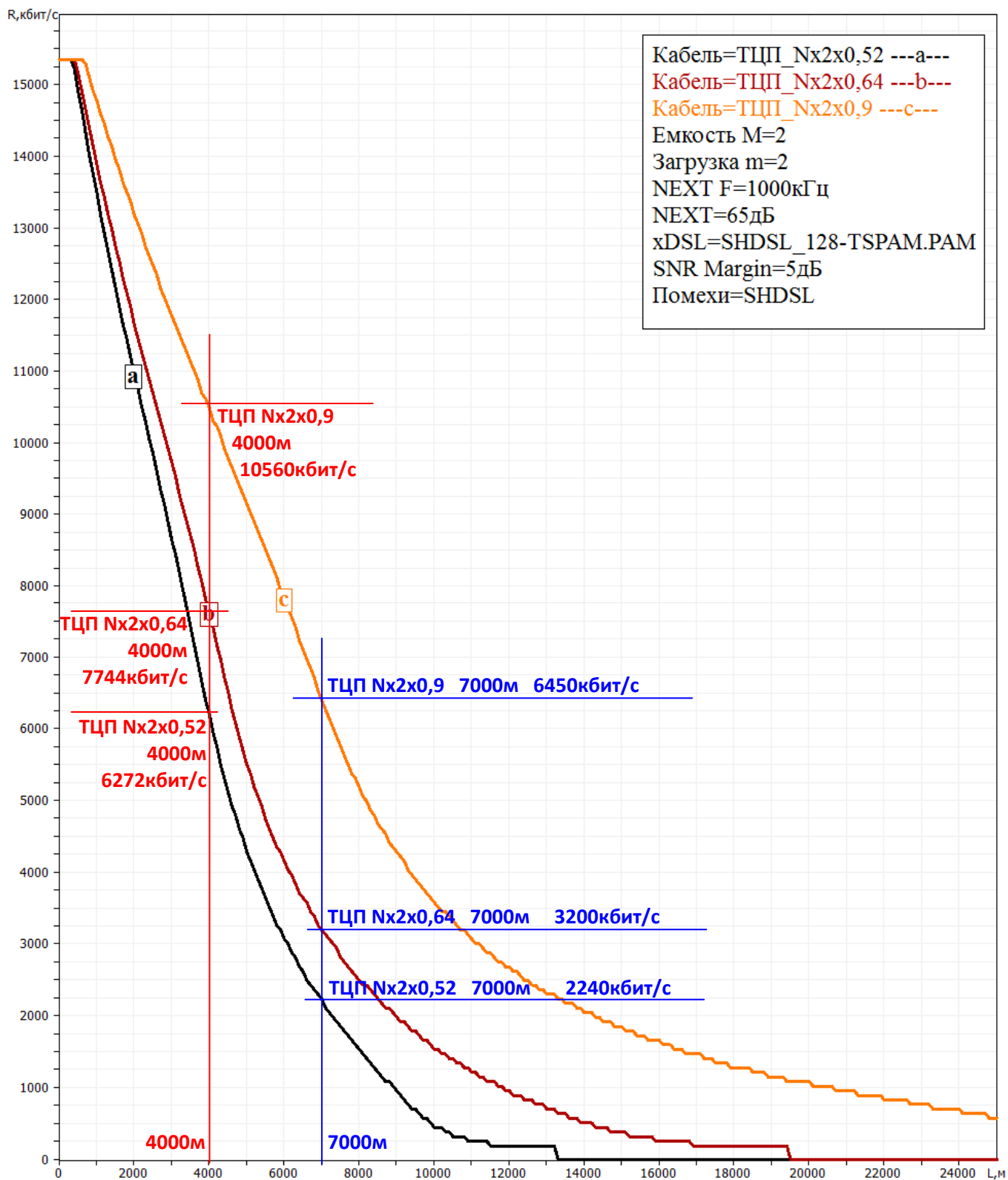


Рис. 11. Скоростные характеристики SHDSL 128-TSPAM на кабелях серии ТЦП

## Выводы

Представленный материал позволяет систематизировать проектирование и реализацию цифровых линий SHDSL на основе расчета их характеристик с использованием программы [xDSLcalc](#).

Приведенные примеры скоростных характеристик подтверждены результатами линейных испытаний оборудования [MC04-DSL](#) (модем [MC04-DSL2.bisM](#)) и количественно демонстрируют влияние на скорость передачи типа кабеля, его загрузки, запаса помехозащищенности и переходного затухания. Примеры не исчерпывают возможностей программы [xDSLcalc](#), которая позволяет:

- использовать модели любых кабелей и известных цифровых линий (SHDSL, ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL2),
- моделировать любую загрузку мало- и многопарных кабелей цифровыми линиями.

Показано, что затраты на создание линии SHDSL и при прокладке нового кабеля, и при использовании имеющейся кабельной линии снижаются не менее чем на **4,5% на каждый децибел** обеспеченного снижения влияния переходных помех (NEXT).

Представлены этапы реализации проекта установки цифровых линий SHDSL направленно обеспечивающие учет, контроль и снижение влияния переходных помех (NEXT), как при проектировании, так и оперативно в процессе реализации проекта.

Материал статьи относится к системам SHDSL, однако ничто не мешает распространить изложенный подход на цифровые линии иных типов и назначения - на ADSL2+ и VDSL2. Расчет и контроль этих линий так же обеспечены программой [xDSLcalc](#) и анализаторами [AnCom](#).