

# **РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ КМ**

*Анализ проблем при разработке проектов реконструкции действующих магистралей*

**Существующая первичная сеть, особенно внутрizonовая, основана в основном на металлических кабелях связи, причем преобладающим типом является симметричный кабель. Бурное развитие информационных потоков, появление новых видов передаваемой информации требует существенного увеличения пропускной способности ЛС на всех участках первичной сети.**

**В связи с этим возникают два варианта проведения реконструкции:**

- перевод трактов на цифровое оборудование с сохранением существующей кабельной системы;**
- строительство новых, волоконно-оптических линий связи, либо по той же трассе, либо, практически, новое строительство.**

ПЕРЕХОД НА ЦСП ВЫНУЖДЕННОЕ, НО БОЛЕЕ  
ДЕШЕВОЕ РЕШЕНИЕ, ПРИ СОХРАНЕНИИ КАБЕЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ, ЧЕМ НОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС, ЕСЛИ  
НЕ ТРЕБУЕТСЯ СУЩЕСТВЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ  
ТРАФИКА

Степень иерархии ЦСП	Скорость передачи, Мгбит/сек
Первичная	2,048
Вторичная	8,448
Третичная	34,368
Четверичная	139,264

Качество передачи цифрового сигнала определяется количеством ошибок, которые он (сигнал) приобретает в процессе прохождения по среде передачи. В частности, при передаче цифрового сигнала по металлической кабельной линии связи возникают ошибки из-за:

- дисперсионных свойств среды распространения сигнала;
- переходных помех между параллельными цепями передачи сигналов;
- неоднородностями кабельных цепей;
- тепловыми шумами цепи.

Параметры ошибок контролируются в процессе запуска системы и ее эксплуатации.

Контроль основан на наблюдении за четырьмя различными событиями ошибок:

- блок с ошибками (errored block, B) – блок в котором имеется одна или несколько ошибок по битам;
- секунда с ошибками (errored second, ES) – отрезок времени в одну секунду, в котором имеется один или несколько блоков с ошибками;
- секунда пораженная ошибками (severly errored second, SES) – отрезок времени в одну секунду, который содержит > 30% блоков с ошибками или, по крайней мере один период с большим количеством ошибок (severly disfurbed period, SDP) или сильно пораженный период;
- фоновая блочная ошибка (background block errored, BBE) – блок с ошибками не относящийся к секунде с ошибками.

По практическим соображениям

целесообразнее работать с относительными величинами, которые определяются как:

- отношение секунд с ошибками к общему числу секунд в измерительном интервале (Errored Second Ratio, ESR);
- отношение секунд с большим количеством ошибок к общему числу секунд в измерительном интервале (Severely Errored Second Ratio, SESR);
- отношение количества блоков с ошибками к общему числу блоков в измерительном интервале (Background Block Errored Ratio, BBER).

*Значения некоторых параметров ошибок  
для опорного тракта протяженностью **27500** км*

---

<b>Скорость передачи, кбит/сек</b>	<b>64</b>	<b>2048</b>	<b>8448</b>	<b>34368</b>	<b>139264</b>
<b>Бит/блок</b>	<b>-</b>	<b>2048</b>	<b>4224</b>	<b>4296</b>	<b>17408</b>
<b>Длительность блока, мкс</b>	<b>-</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>125</b>	<b>125</b>
<b>ESR</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,075</b>	<b>0,16</b>
<b>SESR</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
<b>BBER</b>	<b>-</b>	<b><math>3 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b><math>2 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b><math>2 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b><math>2 \cdot 10^{-4}</math></b>

# **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫЗЫВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОВ ЦСП.**

- ограничение спектра линейного кода в диапазоне частот, характеризующемся повышенным уровнем помех;***
- обеспечение возможности простого и надежного выделения синхросигнала;***
- обеспечение бесперебойной работы линейного тракта при любой статистике входного сигнала;***
- возможность контроля за состоянием линейного тракта и линейных регенераторов в процессе их непрерывной работы.***

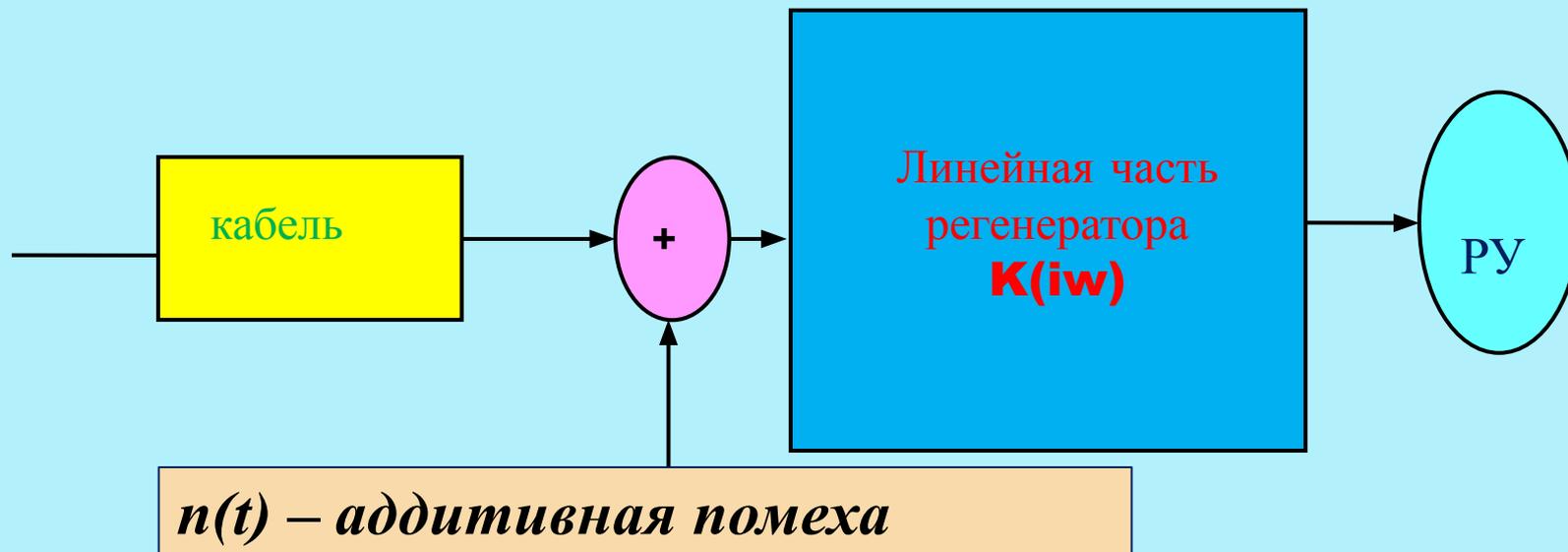
**средняя квадратическая ошибка для выделенного элемента сигнала с уровнем  $c_0$  при воздействии аддитивных помех поступающих на вход регенератора может быть записана следующим образом:**

$$\sigma_{ош} = \sqrt{E \left\{ c_0 r(t_0) - \left[ \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k r(t_0 + kT) + n(t) * g(t) \right]_{t=t_0} \right\}^2}$$

где,  $t_0$  – момент стробирования;

$E$  – символ математического ожидания;

\* - символ свертки двух функций.



**Модель приемной части регенератора.**

В общем случае суммарная мощность линейных помех возникающих в кабельных цепях без учета помех от внешних электромагнитных полей может быть представлена в следующем виде

$$N_{\Sigma} = N_{\text{пвдк}} + N_{\text{пвбк}} + N_{\text{пп}} + N_{\text{тш}}, \text{ где,}$$

- $N_{\text{пвдк}}$  – мощность помех за счет переходных влияний на дальнем конце, обусловленная значением защищенности на дальнем **конце цепи  $A_3$** ;
- $N_{\text{пвбк}}$  – мощность помех за счет переходного влияния на ближнем конце, обусловленная значением защищенности на ближнем **конце цепи  $A_0$** ;
- $N_{\text{пп}}$  – мощность помех за счет попутных и встречных потоков, обусловленная неоднородностями волнового сопротивления линии  **$\Delta Z_v$** ;
- $N_{\text{тш}}$ , - мощность теплового шума, и для различных типов металлических направляющих систем (симметричный или коаксиальный кабель) преобладают те или иные составляющие суммарной мощности помех.

Учитывая, что для большинства линейных кодов (например 5B6B) с амплитудой импульса, равной  $A$ , модуль порогового напряжения  $D \approx A/2$ . В этом случае вероятность ошибки на длине участка регенерации ( $P_{ур}$ ) может быть определена следующим образом:

$$P_{ур} = 1 - \Pi \left( \frac{A}{2\sqrt{N_{\Sigma}}} \right)$$

где,

$\Pi$  – интеграл Лапласа – Гаусса;

$N_{\Sigma}$  – суммарная мощность линейных помех на входе линейного регенератора.

Отношение

$$\frac{A}{2\sqrt{N_{\Sigma}}}$$

принято называть отношением сигнал – шум. Если, в качестве примера, принять вероятность ошибки (значение ВВЕР) на длине участка регенерации  $P_{ур} = 10^{-10}$  решая выражение предыдущее выражение получим  $\frac{A}{2\sqrt{N_{\Sigma}}} = 6,47$ .

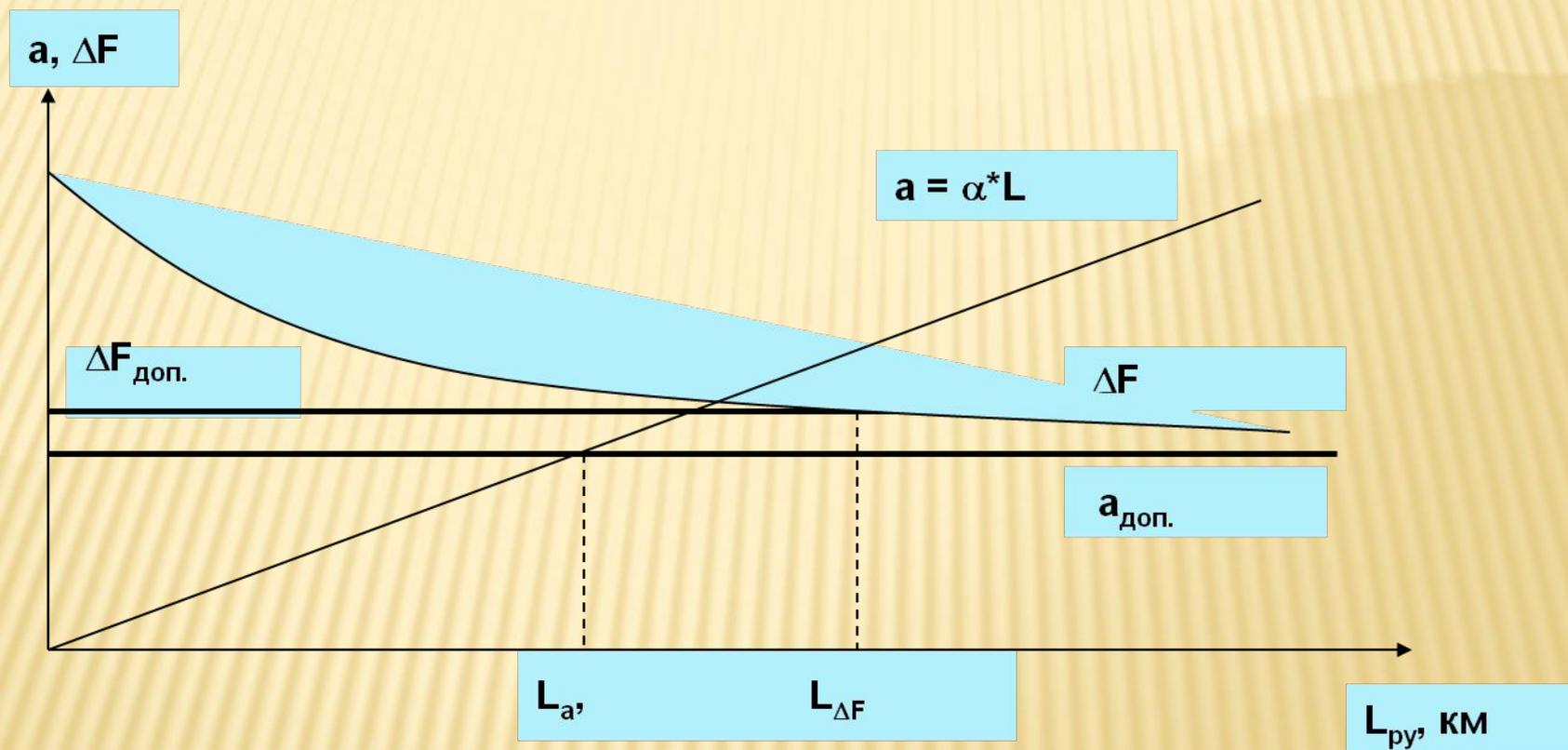
а  $N_{\Sigma} = 0,006A^2$

$$\text{и } 20\lg\left(\frac{A}{2\sqrt{N_{\Sigma}}}\right) = 16,2 \text{ дБ.}$$

Таким образом, для идеального линейного регенератора, у которого отсутствуют межсимвольные искажения, вероятность ошибки на длине участка регенерации не будет превышать значения  $10^{-10}$ , если соотношение сигнал – шум на его входе будет не менее чем 16,2 дБ.

*Практически, с учетом всех дестабилизирующих факторов, а также для обеспечения определенного запаса по помехоустойчивости, отношение сигнал-шум на входе решающего устройства при использовании наиболее распространенных линейных кодов принимают равным не менее 26 дБ. Для высокоскоростных ЦСП соотношение сигнал-шум устанавливается путем анализа особенностей организации работы последних. Установленная величина допустимого соотношения сигнал-шум является основанием для определения длины участка регенерации по критерию обеспечения помехоустойчивости тракта.*

*Основной задачей проекта реконструкции является правильная оценка длин участков регенерации для того или иного кабеля связи при той или иной схеме организации связи .*

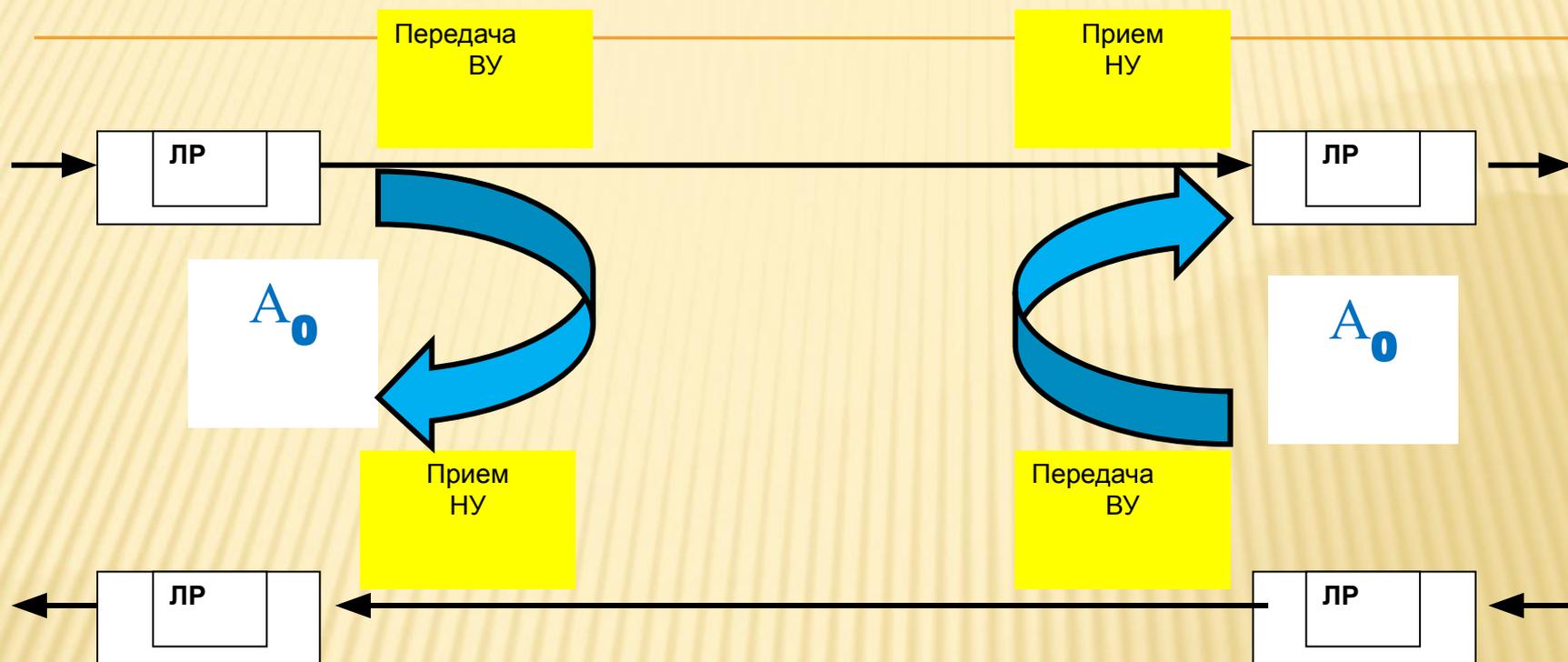


**Возможные варианты сравнительной оценки длин участков регенерации.**

На соединительных линиях, где применяются многопарные низкочастотные кабели связи, цифровые системы передачи работают в однокабельном режиме. В этом случае длину регенерационного участка можно определить из неравенства:

$$\alpha L \leq A_0 - \sigma - 10 \lg n - \delta, \text{ где,}$$

- $A_0$  - среднее значение переходного затухания на ближнем конце для выбранной комбинации взаимовлияющих пар на полутактовой частоте;
- $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение переходного затухания;
- $\alpha L$  – затухание регенерационного участка на полутактовой частоте;
- $n$  – число одновременно работающих систем передачи;
- $\delta$  - требуемое соотношение сигнал помеха.

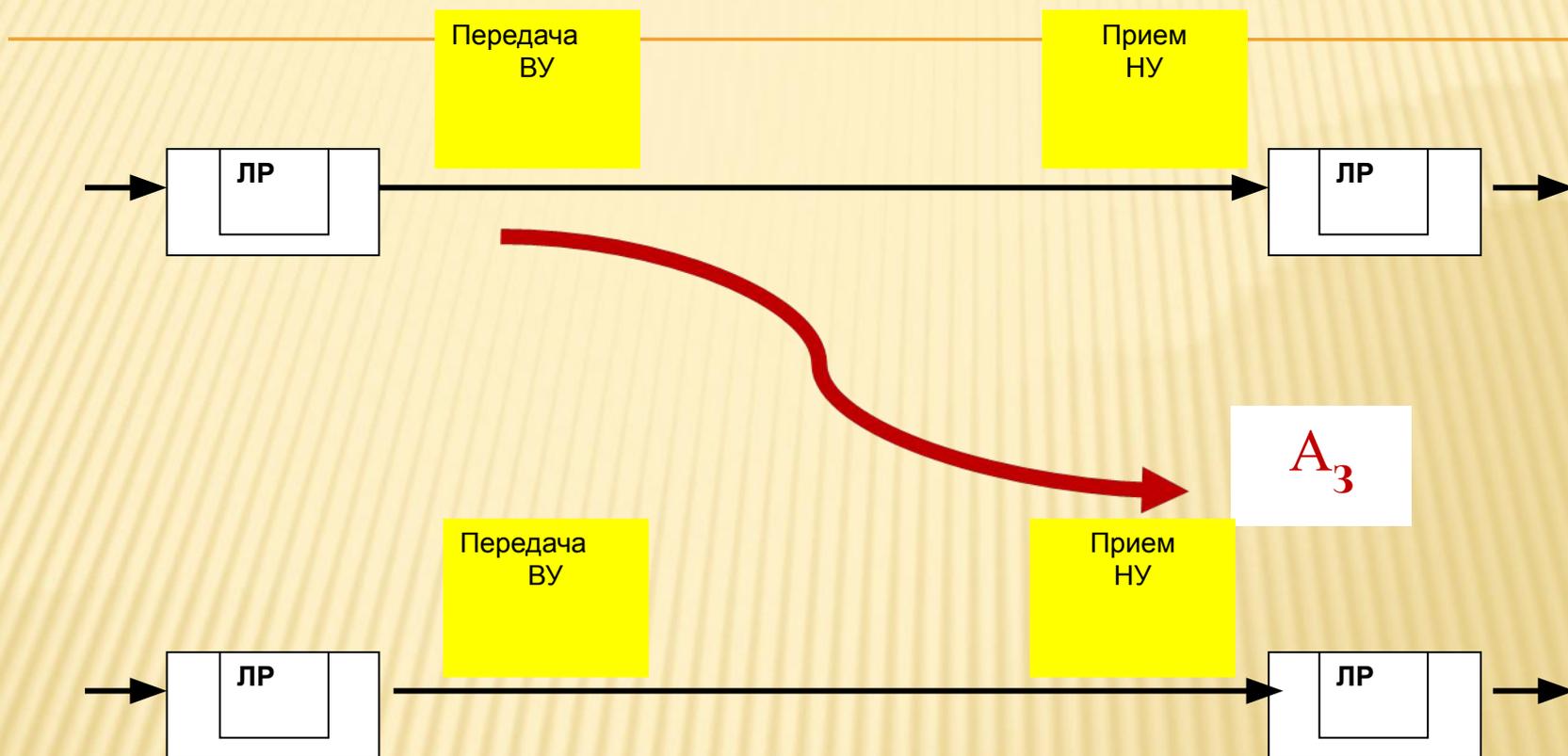


*При однокабельной схеме организации связи основной источник помех – переходное затухание не ближнем конце.*

- Для двухкабельной схемы организации связи, которая повсеместно используется на магистральных и зонавых линиях, допустимую длину регенерационного участка при одновременной работе **n** ЦСП можно определить из неравенства:

$$A_3 - \sigma \geq 10 \lg n + \delta,$$

- где,  $A_3$  – среднее значение защищенности на дальнем конце для выбранной комбинации влияния на полутактовой частоте.



*При двухкабельной схеме организации связи  
основной источник помех – защищенность на  
дальнем конце.*

Поскольку  $A_3$  зависит от длины линии и может быть известно только на определенной ее протяженности, можно пересчитать ее по выражению:

$$A_3(l_{py}) = A_3(l_{изв}) + 10Lg \sqrt{\frac{l_{изв}}{l_{py}}}$$

где  $l_{изв} \geq l_{py}$ , при этом значение  $A_3$  берется на полутаковой частоте, а  $l_{py}$  искомая величина.

Если оно неизвестно, его также можно пересчитать

$$A_3\left(\frac{f_t}{2}\right) = A_3(f_{изв}) - 10Lg \sqrt{\frac{f_t/2}{f_{изв}}}$$

Эти выражения позволяют оценить длину УР в первом приближении, для конкретных ситуаций требуются исследования конкретных кабельных систем.

При реконструкции линий связи на основе коаксиального кабеля основным источником шумов являются собственные шумы линейного тракта, поэтому длину регенерационного участка можно определять из требуемого соотношения сигнал помеха и мощности теплового шума на входе решающего устройства регенератора:

$$\alpha L \leq p - 10 \lg W_{\text{ш}} - \delta, \text{ где,}$$

- $p$  – уровень импульсов на передаче;
- $\alpha L$  – затухание регенерационного участка на полутактовой частоте;
- $W_{\text{ш}}$  – мощность теплового шума на входе решающего устройства;
- $\delta$  - требуемое соотношение сигнал помеха.

Уровень мощность теплового шума можно определить следующим образом:

$$10 \lg W_{\text{ш}} = P_{\text{ш}} + 10 \lg B + F, \text{ где,}$$

- $P_{\text{ш}}$  – уровень мощности шума в полосе частот 1 МГц (для теплового шума в коаксиальном кабеле около  $-114$  дБм);
- $F$  – шум фактор корректирующего усилителя;
- $B$  – эквивалентна полоса частот шума, которая для большинства аппаратуры ЦСП может быть определена как  $0.4f$

# Реконструкция действующих кабельных магистралей на основе строительства ВОЛС.

Точно также как и для металлических кабелей, основной задачей при реконструкции с переходом на ВОЛС является правильная оценка длины участка регенерации.

При проектировании ВОЛС должны рассчитываться отдельно длина участка по затуханию ( $L_a$ ) и длина участка регенерации по широкополосности ( $L_{\text{ш}}$ ), т.к. причины ограничивающие предельные значения указанных длин независимы.

В общем случае целесообразно рассчитывать две величины участка регенерации по затуханию:

$L_{a \max}$  – максимальная проектная длина участка регенерации;

$L_{a \min}$  – минимальная проектная длина участка

Для оценки этих величин используются выражения

$$L_{AMAX} = \frac{(A_{MAX} - M - n * A_{PC})}{\left( \alpha_{OK} + \frac{A_{HC}}{L_{CTP}} \right)}$$

$$L_{AMIN} \geq \frac{A_{MIN}}{\alpha_{OK} + \frac{A_{HC}}{L_{CTP}}}$$

$$L_{III} \leq \frac{4,4 * 10^5}{D * d * B}$$

где:

- $A_{\max}, A_{\min}$  – максимальное и минимальное значения перекрываемого затухания аппаратуры ВОСП, обеспечивающее к концу срока службы значение ВВЕР не более  $1 \cdot 10^{-10}$ ,
- $\alpha_{\text{ок}}$  (дБ/км) – километрическое затухание в оптических волокнах кабеля,
- $A_{\text{нс}}$  (дБ) – среднее значение затухания мощности оптического излучения неразъемного оптического соединителя на стыке между строительными длинами кабеля на участке регенерации,
- $L_{\text{стр}}$  (км) – среднее значение строительной длины кабеля на участке регенерации,
- $A_{\text{рс}}$  (дБ) – затухание мощности оптического излучения разъемного оптического соединителя,
- $n$  – число разъемных оптических соединителей на участке регенерации,
- $D$  (пс/нм\*км) – суммарная дисперсия одномодового оптического волокна,
- $d$  (нм) – ширина спектра источника излучения,
- $B$  (МГц) – широкополосность цифровых сигналов, передаваемых по оптическому тракту,
- $M$  (дБ) – системный запас ВОСП по кабелю на участке регенерации.

Если по результатам расчета получено  $L_{\text{ш}} < L_{a \text{ max}}$ , то для проектирования должны быть выбраны аппаратура или кабель с другими техническими данными ( $D, d$ ), обеспечивающие больший запас по широкополосности на участке регенерации. Расчет должен быть проведен снова. Критерием окончательного выбора аппаратуры или кабеля должно быть выполнение соотношения

$$L_{\text{ш}} > L_{a \text{ max}}$$

Максимальное значение перекрываемого затухания ( $A_{\text{max}}$ ) определяется как разность между минимальным уровнем мощности оптического излучения на передаче и чувствительность приемника.

$$P_{\text{ИЗЛ.МИН.}} - P_{\text{МИН.ПР.}} = A_{\text{MAX}}$$

Минимальное значение перекрываемого затухания ( $A_{\text{min}}$ ) определяется как разность между максимальным уровнем мощности оптического излучения на передаче и перегрузкой приемника.

$$P_{\text{ИЗЛ.МАХ}} - P_{\text{МАХ.ПР.}} = A_{\text{MIN}}$$

---

Системный запас (**M**) учитывает изменение состава оптического кабеля за счет появления дополнительных ремонтных вставок, сварных соединений, а также изменения характеристик оптического кабеля, вызванных воздействием окружающей среды и ухудшением качества оптических соединителей в течение срока службы, и устанавливается при проектировании ВОСП исходя из ее назначения и условий эксплуатации оператором связи, в частности, исходя из статистики повреждения (**обрывов**) кабеля в зоне действия оператора.

Диапазон устанавливаемых значений системного запаса лежит, как правило, в пределах **2 – 6 (дБ)**, что соответствует наиболее или наименее благоприятным условиям эксплуатации ВОЛС.

Реально существует вполне конкретная длина участка сети между населенными пунктами или узлами связи, или объектами.

Эта длина может быть как больше расчетной максимальной, так и меньше.

Структура ВОЛС – конечные пункты, пункты выделения, ответвления потоков, определённые в **Техническом задании**, могут быть расположены самым неопределенным, но вполне конкретным образом.

Это приводит к появлению еще одной оценки длины участка, а именно бюджета ВОЛС, который связывает характеристики предполагаемой к использованию аппаратуры и параметров передачи ВОЛС.

Количественно бюджет линии можно оценить следующим

образом:

$$(P_{\text{ИЗЛ.МАКС}} - \Delta P_{\text{ИЗЛ}}) - P_{\text{ПР.МИН}} \geq \alpha L_{\text{ПУ}} + \Delta a \geq (P_{\text{ИЗЛ.МАКС}} - \Delta P_{\text{ИЗЛ}}) - P_{\text{ПР.МАКС}}$$

$$\Delta a$$

где:  $\Delta a$  – пределы изменения затухания оптического аттенюатора, установленного для регулировки потерь в линии.