

**АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ
МАГИСТРАЛЕЙ И ТРАКТОВ
ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ И
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ
ПО СОКРАЩЕНИЮ ВРЕМЕНИ
ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ.**

Мероприятия по оптимизации работы СТЭЛСС можно разделить на две большие группы:

- организационные мероприятия, заключающиеся в улучшении системы и структуры эксплуатационной службы кабельных магистралей (КМ), повышении квалификации обслуживающего персонала, что особенно важно в структуре эксплуатации волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), и т.п.;
- мероприятия технического характера, состоящие в разработке и внедрении новых методов и устройств, обеспечивающих улучшение эксплуатационных и технических характеристик подсистем магистральной связи.

Выбор критериев оптимизации СТЭЛСС и разработка технических мероприятий должны базироваться на основе статистических исследований повреждений КМ, результаты которых, безусловно, будут различны для различных регионов.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ КМ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТЭЛСС.

Причины повреждений, которые чаще всего фигурируют в отчетах:

- **дефекты строительства и монтажа;**
- **механические воздействия;**
- **неправильная эксплуатация;**
- **коррозия как металлических оболочек кабеля, так о пластмассовых оболочек воздушных ВОК, особенно под воздействием солнечной радиации;**
- **пробой высоким напряжением, в т.ч. от токов молнии;**
- **сдвиг и давление почвы;**
- **повреждения от грызунов;**
- **старение;**
- **прочие.**

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Плотность повреждений (плотность отказов),
приходящихся на 100 км трассы в год:

$$n = \frac{100N}{KL}$$

где N – число отказов на магистрали связи
длиной L за K лет.

Значение n может определяться отдельно для:

- ▣ всех видов отказов, возникающих в системе ЛСС;
- ▣ отказов, приводящих к перерыву связи;
- ▣ отказов, вызывающих неисправности;
- ▣ отказов только линии связи;
- ▣ отказов только станционных устройств;
- ▣ отказов различных подсистем ЛСС, и т.д.

Поток отказов, определяется средней плотностью отказов на 1 км трассы КМ в час:

$$\Lambda_{CP} = \frac{n}{100 * 8760}$$

где 8760 – число часов в году,
100 протяженность трассы (км), при которой определяется значение.

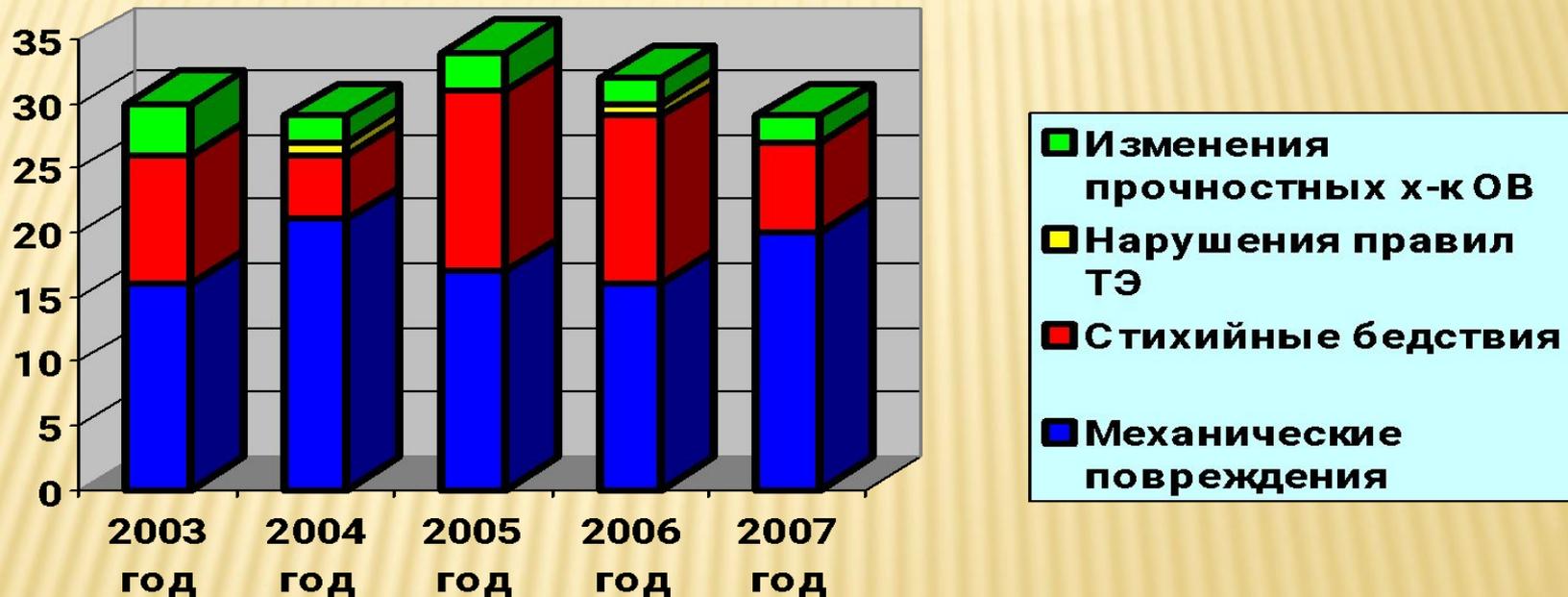
Значения интенсивности потока отказов - λ на отдельных участках магистрали могут существенно различаться в зависимости от условий эксплуатации на этих участках. Кроме того, существует зависимость Λ_{CP} от времени года.

В общем случае $\lambda = \sum_{i=1}^n \Lambda_{CPi} * L_i$, при этом

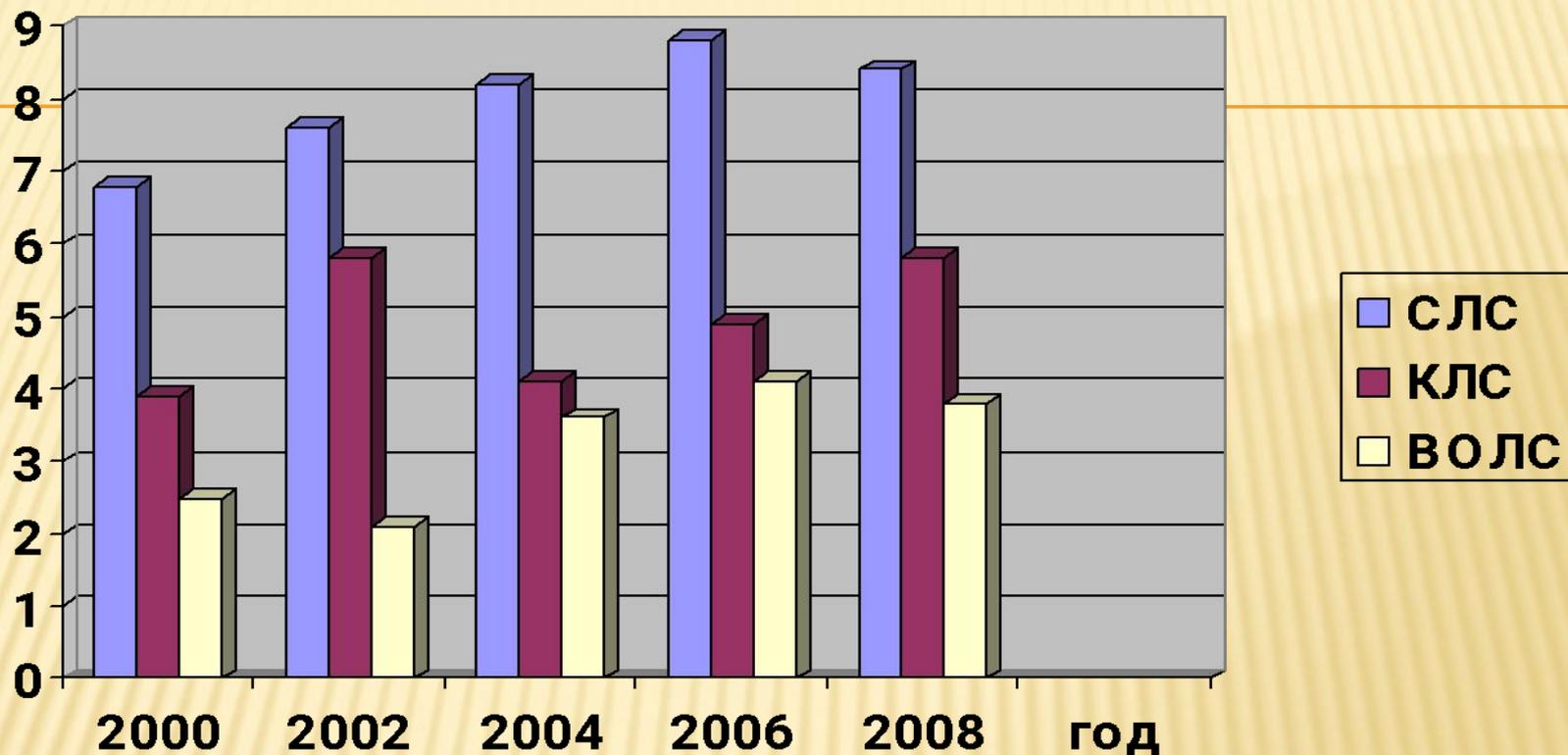
вероятность безотказной работы за время t определяется, как показывают исследования, показательной функцией

$$P = e^{-\lambda t}$$

Отказы на КМ могут возникать как в результате внешних воздействий, так и от внутренних причин.



Статистика повреждений



Распределение повреждений по различным линиям связи.

При этом, протяженность ЛС, организованных по симметричным кабелям (СЛС) СЛС=1800км; по коаксиальным (КЛС) КЛС=1400км и протяженность ВОЛС ВОЛС=1800км. Это, можно сказать, суммарная протяженность участков сети с учетом магистральных, внутризоновых и сельских линий.

Процесс устранения отказов на КМ характеризуется средним временем восстановления $T_{CP.B}$, которое складывается из среднего времени обнаружения неисправности $T_{CP.O}$ среднего времени определения характера и места повреждения $T_{CP.ИЗМ}$ и среднего времени ремонта $T_{CP.РЕМ}$. В случае повреждения кабельной линии или НРП (НУП) к этим составляющим добавляется еще время, необходимое для прибытия аварийной бригады $T_{CP.ТР}$ на место повреждения линии. Таким образом,

$$T_{CP.B} = T_{CP.O} + T_{CP.ИЗМ} + T_{CP.РЕМ} + T_{CP.ТР}$$

Для КМ время восстановления много меньше времени безотказной работы T_0 , из этого следует, что $\lambda \approx 1/T_0$ и что восстановление исправного состояния КМ происходит в течении случайного времени $T_{CP.B}$, распределенному по показательному закону с параметром $\mu = 1/T_{CP.B}$ и плотностью

$$\Psi(t) = \mu * e^{-\mu t}$$

Параметр μ называют производительностью подсистемы восстановления работы кабельных магистралей, так как он равен числу устраняемых отказов в единицу времени.

КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ

Одним из основных параметров надежности КМ, является коэффициент готовности K_g , который определяется как отношение суммарного времени исправной работы КМ к общему времени наблюдений. Этот параметр учитывает все составляющие системы эксплуатации и может быть рассчитан для каждой подсистемы отдельно.

$$K_g = \frac{\left(T_0 - \sum_{i=1}^n T_n * n_i \right)}{T_0} = \frac{\left(T_0 - T_B * n \right)}{T_0}$$

Коэффициент готовности должен оцениваться на стадии проектирования ВОЛС.

ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВОЛС РАЗЛИЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Для местной первичной сети, $L_{\text{мпс}} \approx 200$ км.

<i>Показатель надежности</i>	<i>Канал ТЧ или ОЦК</i>	<i>Канал ОЦК на перспективной цифровой сети</i>	<i>Оборудование линейного тракта</i>
<i>Коэффициент готовности</i>	<i>>0,997</i>	<i>>0,9994</i>	<i>>0,9987</i>
<i>Среднее время между отказами, час</i>	<i>>400</i>	<i>>7000</i>	<i>>2500</i>
<i>Время восстановления</i>	<i><1,1</i>	<i><4,24</i>	<i>См. примечание</i>

Для внутризоновой первичной сети, $L_{\text{впс}} = 1400$ км.

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,99	>0,998	>0,99
Среднее время между отказами, час	>111,4	>2050	>350
Время восстановления	<1,1	<4,24	См. примечание

Для магистральной первичной сети, $L_{\text{МГПС}} = 12500$ км.

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,92	>0,982	>0,92
Среднее время между отказами, час	>12,54	>230	>40
Время восстановления	<1,1	<4,24	См. примечание

Примечание.

Для оборудования линейных трактов время восстановления должно лежать в пределах следующих значений:

- время восстановления необслуживаемого регенерационного пункта (НРП) – $T_{\text{в}}(\text{НРП}) < 2,5$ час. (в том числе время подъезда – 2 часа);**
- время восстановления обслуживаемого регенерационного пункта и оконечного пункта (ОРП, ОП) – $T_{\text{в}}(\text{ОРП}) < 0,5$ часа;**
- время восстановления симметричного кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{\text{в}}(\text{СК})$ в пределах 6 – 8 часов (в том числе время подъезда – 2 часа);**
- время восстановления коаксиального кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{\text{в}}(\text{КК})$ в пределах 4,6 – 8,8 часов (в том числе время подъезда – 2 часа);**
- время восстановления оптического кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{\text{в}}(\text{ОК})$ в пределах 10 – 16 часов (в том числе время подъезда – 3,5 часа).**

Реальные значения продолжительности повреждений и времени восстановления для ВОЛС, представлены на диаграмме.



Статистика восстановления ВОЛС.

Среднее значение интенсивности отказов за год λ на 100км кабельной линии, для реальных значений количества отказов, приведенных на диаграммах, получим:

$$\lambda_{слс}=0,62, \lambda_{клс}=0,91, \lambda_{волс}=0,5.$$

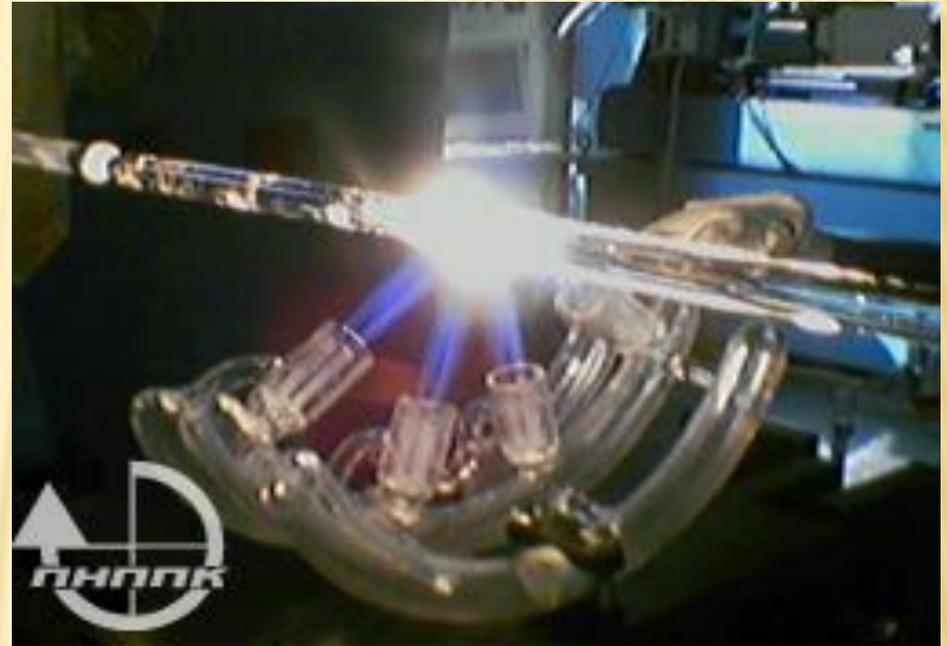
Расчет среднего значения коэффициента готовности (K_g) реальных кабельных магистралей с учетом среднего времени восстановления и соответствующих длин магистралей, дает следующие результаты:

- на местной первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,987, K_{гклс}=0,989, K_{гволс}=0,992$;**
- на внутризонавой первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,982, K_{гклс}=0,984, K_{гволс}=0,986$;**
 - ▣ - на магистральной первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,86, K_{гклс}=0,864, K_{гволс}=0,862$.**

Реальные значения K_g достаточно далеки от рекомендуемых, что и вызывает необходимость поиска путей повышения значений последних.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОЛС В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ.

В процессе производства



Станки для изготовления преформ оптоволокна методом MCVD

Башня вытяжки

оптоволоконна



Вытяжка оптических
волокон из
заготовки.

Главное – отсутствие механических напряжений, которые могут возникать в волокне.

Возможные причины появления механических напряжений внутри оптического волокна - нарушение технологического процесса их производства. В результате нарушения технологии изготовления заготовки или в процессе вытяжки волокна, в нем могут возникнуть локальные «вмороженные» неоднородности кварца, которые и являются центрами внутренних напряжений. Подобные напряжения делают оптическое волокно уязвимым даже к небольшим по амплитуде вибрациям или изгибам.

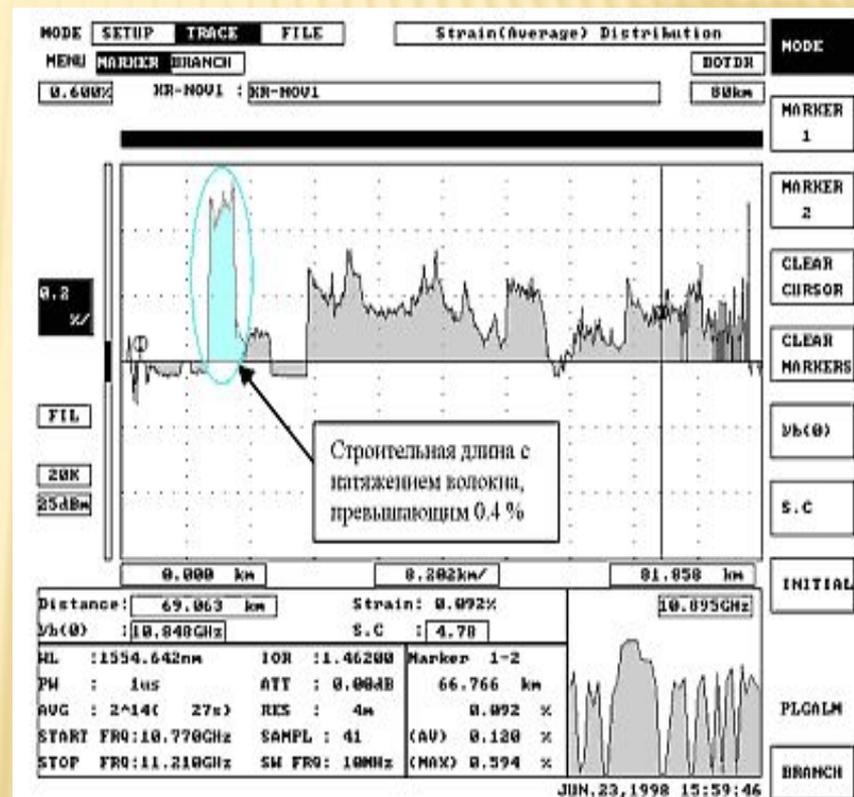
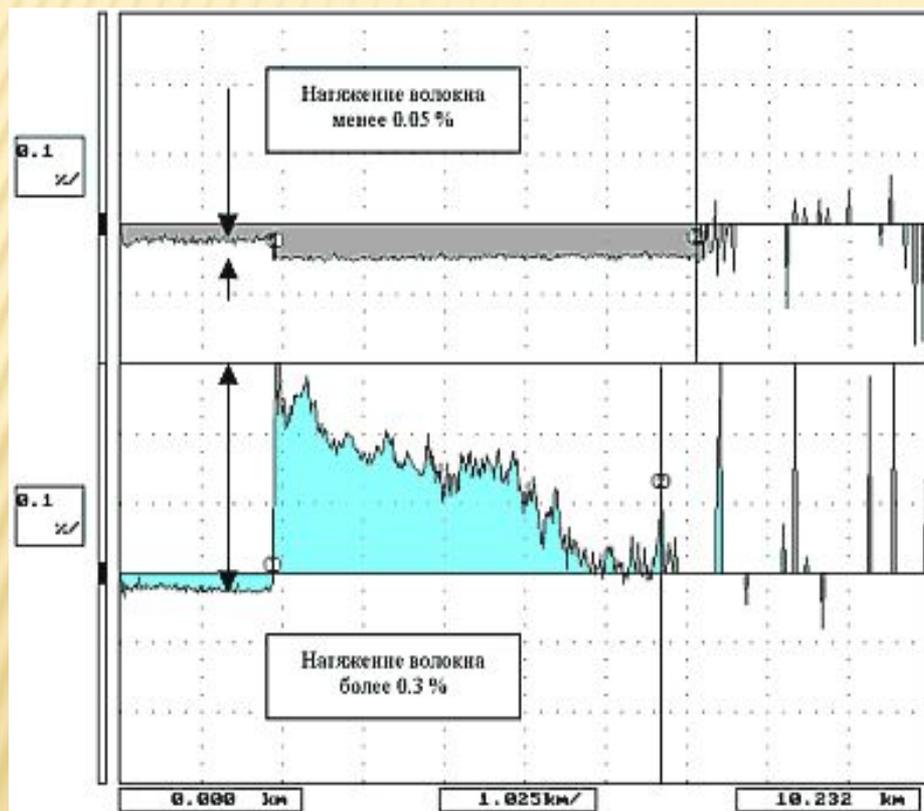
Повышенное натяжение волокна в кабеле вызывает деградацию его прочностных характеристик, что в конце концов приводит к разрыву волокна. Даже незначительное увеличение натяжения волокна может привести к многократному уменьшению его срока службы. Время жизни волокна в нормальных условиях эксплуатации (при относительном удлинении волокна меньше 0,3 %) составляет 25 лет и более, в то время, как уже при относительном удлинении 0,6-0,7% разрыв волокна произойдет в течении 1 (одного)!!! года. Поэтому надежность волоконно-оптических линий связи невозможно оценить, не имея достоверной информации о натяжении волокна в кабеле. Обычные оптические рефлектометры не в состоянии определить степень натяжения волокна, поскольку величина оптических потерь при возникновении напряжений в волокне, как правило, остается в



Созданный на острие передовых технологий новый бриллюэновский рефлектометр Yokogawa AQ8603 предназначен для обнаружения и анализа механических напряжений волокна в оптическом кабеле как в процессе его производства, так и в процессе его прокладки и эксплуатации.

Значительно возросшая по сравнению с предыдущей моделью точность измерений напряжения в волокне позволяет с высокой достоверностью определить надежность оптического кабеля и вовремя предотвратить ухудшение связи и разрыв волокна. Бриллюэновский рефлектометр Yokogawa AQ8603 незаменим на предприятиях по производству оптического кабеля и для крупных операторов связи, масштабы сетей и объемы передачи данных которых делают вопросы качества и надежности связи определяющими.

Исследование неоднородностей плотности оптического волокна Бриллюновским рефлектометром



В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА.

Это нарушение норм, регулирующих процессы прокладки оптического кабеля. К сожалению, избежать оплошностей и ошибок при прокладке кабеля невозможно.

Все изгибы кабеля с радиусом меньше рекомендованной величины, различного рода заземления или неправильный крепеж кабеля обернутся в итоге повышенным натяжением волокна в кабеле и его прежде



время.

Плохая подготовка траншеи, наличие камней и неоднородностей грунта



Необходимо учитывать возможность смещения слоев грунта в результате его вспучивания (таяние вечной мерзлоты, селевые потоки, оползни и пр.).

Перемещение грунта в результате землетрясения, размывов в весенне-летний период, неправильно организованный сток дождевой воды, образование ручьев, размывающих траншею с кабелем



В таких условиях вечной мерзлоты прокладка кабеля в грунт практически невозможна.



Прокладка и монтаж кабеля в мороз –
недопустима!

Прокладка и монтаж ОК в мороз и без передвижной лаборатории.

В мороз изменяется вязкость гидрофобного наполнителя, что приводит к дополнительным изгибам и напряжениям в волокне. Прокладка ОК допускается при температурах окружающей среды не ниже -10°C .

Монтаж должен осуществляться при комнатных температурах т.к. подавляющее большинство сварочных аппаратов обеспечивают требуемые параметры сварных соединений при температуре не ниже 13°C .



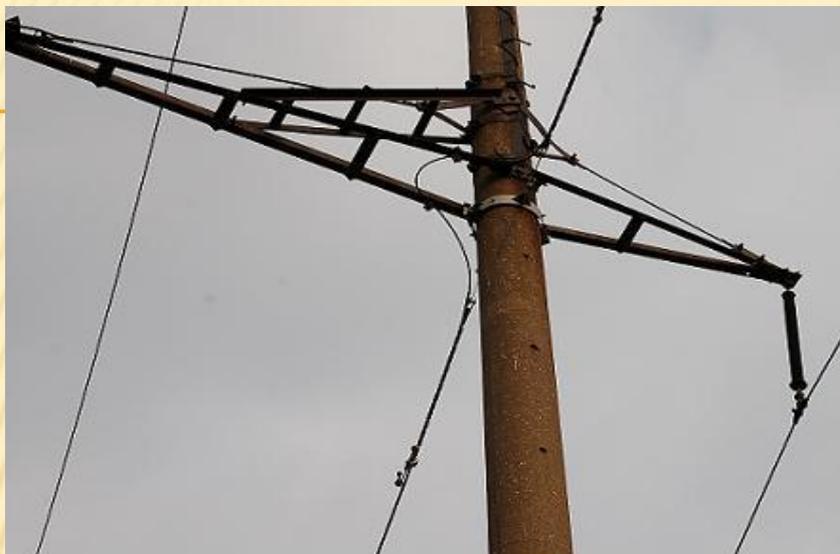
Просаживание грунта и повреждение кабельной канализации.
В городских условиях, это, прежде всего, просаживание каналов кабельной канализации в результате различного рода протечек городских коммуникаций.

При прокладке волоконно-оптического кабеля в городской черте широко используются канализационные коммуникации, которые в свою очередь подвержены деформациям в результате, например, просадки грунта.

Так как кабель внутри них обычно жестко фиксируется, то в результате деформаций канализационных ходов могут возникать локальные деформации оптических волокон.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ВОЛС И ПРИЧИНЫ ИХ ВЫЗЫВАЮЩИЕ.

Слабым местом воздушных способов строительства является некорректное крепление кабеля к телу опоры. В результате воздействия ветровых нагрузок с течением времени на оболочке кабеля появляются трещины, которые вызывают дальнейшее ее разрушение. Отсутствие защитного контейнера в местах соединения строительных длин приводит к тому, что в осеннее – зимний период между витками технологического запаса кабеля накапливается влага, которая, естественно, замерзает и увеличивается в объеме. Это вызывает постоянное перемещение витков кабеля относительно друг друга, дополнительные изгибы и напряжения.

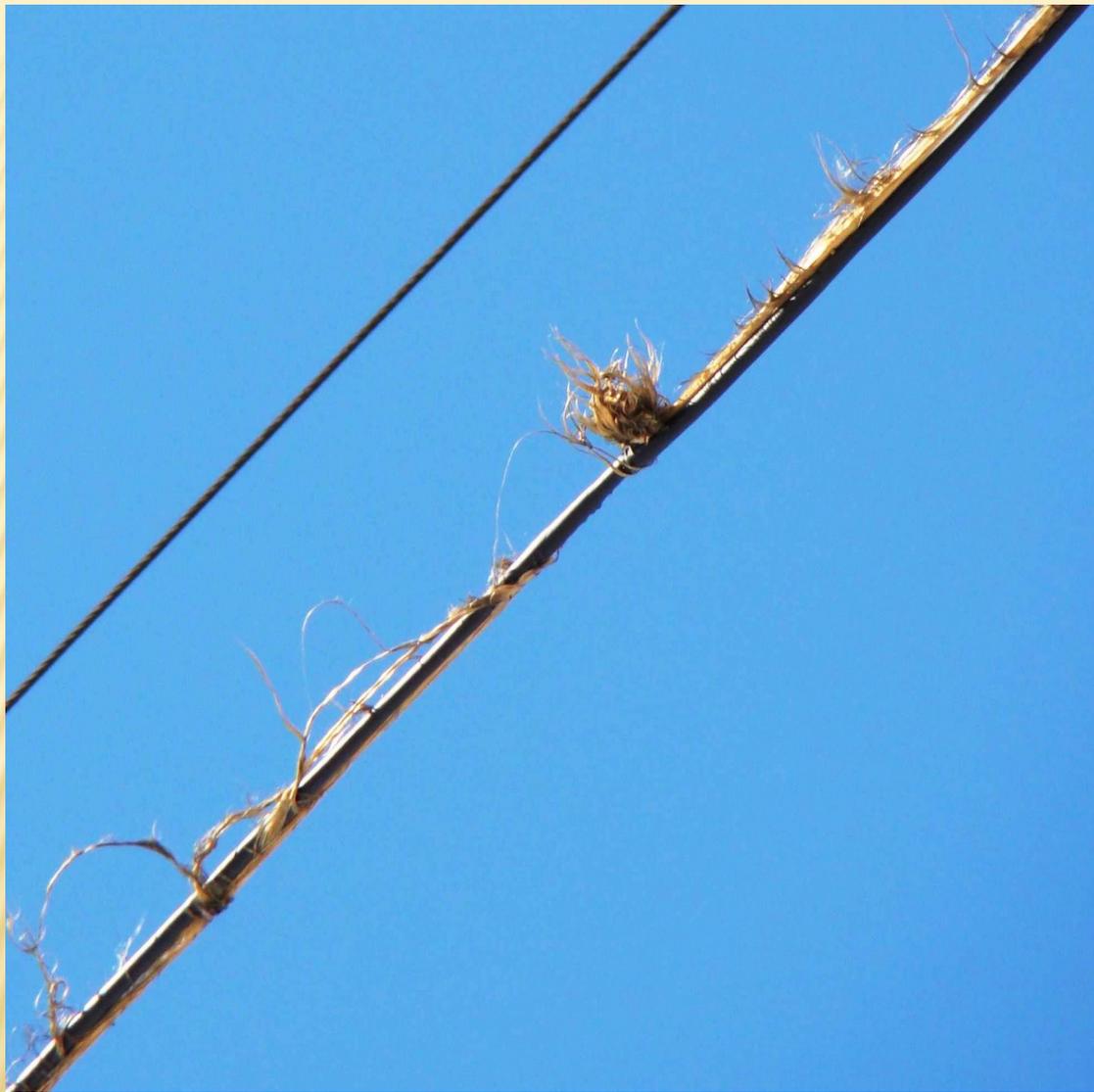


Неудачное крепление самонесущего ВОК. В месте крепления троса к опоре и кабеля к тросу, при ветровых нагрузках повреждение неотвратимо.



Отсутствие защитного контейнера для муфты и технологического запаса ВОК.

Крепление самонесущего ВОК к опоре



Подвеска кабеля в мощном электрическом поле чревата развитием трекинг-процесса (возникновением поверхностных токов - треков, протекающих по микротрещинам в оболочке кабеля), который вызывает достаточно быстрое разрушение (сгорание) всего кабеля.

ПЕРЕПАДЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (СЕЗОННЫЕ И СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ).



Обледенение ВОК.

Так как кварц, элементы кабельного сердечника, защитная оболочка волоконного кабеля, средства его крепежа имеют различные коэффициенты теплового расширения, то в случае резкого перепада температуры могут возникать существенные напряжения внутри оптического волокна из-за неравномерного расширения соприкасающихся материалов. В результате большие среднесуточные колебания температуры окружающей среды могут привести к разрушению волокна.

УРАГАННЫЕ НАГРУЗКИ НА ОПОРЫ И ПОДВЕСНЫЕ КАБЕЛИ.



В последнее время все более популярным становятся воздушные методы прокладки оптического кабеля с подвешиванием его, на различного рода опорах - телеграфных и высоковольтных столбах линий электропередач, контактных сетей электрофицированных железных дорог и пр.

Повреждения опор ЛЭП и ВОЛС, на них подвешенной.

Однако все опоры рассчитаны на определенные нагрузки и при возникновении нештатных ситуаций они могут быть повреждены

ПРОСАЖИВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ, МОСТОВ, ЭСТАКАД И ПРОЧИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.



Обрушение и просаживание фундаментов зданий.

Проблемы, аналогичные описанным выше, возникнут с волокном в случае просаживания фундаментов инженерных строений или при деформации их отдельных частей. Повышенное натяжение волокна в кабеле вызывает деградацию его прочностных характеристик, что в конечном итоге приводит к разрыву волокна. Даже незначительное увеличение натяжения волокна может привести к многократному уменьшению его срока службы.

Разрушение мостов и эстакад в результате наводнений, оползней.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЛС



Повреждения ВОЛС устраняются примерно в такой машине, где внутри тепло и уютно. Самое главное – чтобы она смогла подъехать туда куда это необходимо.

**А если этих труб еще больше???, крутые морозы, по
уши в грязи, а том тепло и можно выпить.....**



Вдумайтесь:

- **время жизни волокна в нормальных условиях эксплуатации (при относительном удлинении волокна меньше 0,3 %) составляет 25 лет и более, в то время как уже при относительном удлинении 0,6 – 0,7% разрыв волокна произойдет в течение **1 (одного)!!!** года.**
Таким образом, надежность волоконно-оптических линий связи невозможно оценить, не имея достоверной информации о
- **натяжении волокна в кабеле.**
- **Необходимо, однако, отметить, что зачастую все вышеперечисленные явления являются относительно медленными во времени процессами. И с момента появления напряжений в волокне до момента обрыва пройдет не один месяц, а возможно и год.**

Безусловно, основной мерой оценки надежности ВОЛС может служить статистическая информация о причинах, характере и количестве повреждений на линиях, работающих в различных условиях.

Эту информацию в современных трактах, основанных как на металлических кабелях, так и волоконно-оптических, собирают системы мониторинга.

Эти системы в той или иной мере отвечают потребностям СТЭЛСС, но они достаточно дороги и если трафик на заданном участке невелик, то используют самые простейшие системы. Определить место повреждения ВОК или отказавший узел в аппаратуре это только половина дела.

Другая задача и, пожалуй, главная в СТЭЛЛС – это устранить этот отказ в самое короткое время. И вот здесь мы вплотную подходим к вопросу оптимизации СТЭЛСС

Оптимизации СТЭЛСС должна базироваться на фактических данных по конкретной ВОЛС.

Эти данные должны включать следующие сведения:

- **объем трафика на данном участке** – скорости информационных потоков, предполагаемые потери предприятий купивших эти потоки, виды информационных потоков и неприятности от их исчезновения, количественные характеристики потерь;
- **приоритетность восстановления** и оценка возможностей СТЭЛСС обеспечить приемлемые (согласованные) сроки восстановления;
- **возможное время восстановления трафика** (не путать с временем восстановления ВОЛС) предполагает разработку мероприятий как организационных, так и технических и их анализ;
- **анализ затрат** на мероприятия по восстановлению трафика и их сравнение с потерями доходов;
- **количество и состав инженерно-технического персонала**, обслуживающего данную ВОЛС необходимость и достаточность тех или иных специалистов;
- **оснащенность техническими средствами** для ремонта и измерения, прежде всего по количественному составу – ведь при монтаже постоянной вставки на ВОЛС одним комплектом сварочного аппарата время восстановления составит 32 часа, при наличии 2-х – 16 часов;

- **оснащенность запасным оборудованием** (кабелем, пассивными компонентами, аппаратурой и ее блоками, узлами, платами и пр. элементами), перебор, в этом смысле, чреват большим объемом замороженных на складе средств, тем более что техника быстро стареет;
- ▣ **транспортные проблемы** - подъехать к месту аварии не всегда очень просто, тем более там развернуть передвижную лабораторию, и это требует от организаторов СТЭЛСС индивидуального подхода к условиям региона, где проложена ВОЛС .
- ▣ Перечисленные вопросы, задачи, проблемы, как их не назови, постоянно возникают в практике эксплуатации ЛСС и в каждом регионе, области они имеют свои особенности, которые надо изучать, систематизировать и делать выводы, только в этом случае ваши ВОЛС будут **работать, работать и работать.**