

**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.

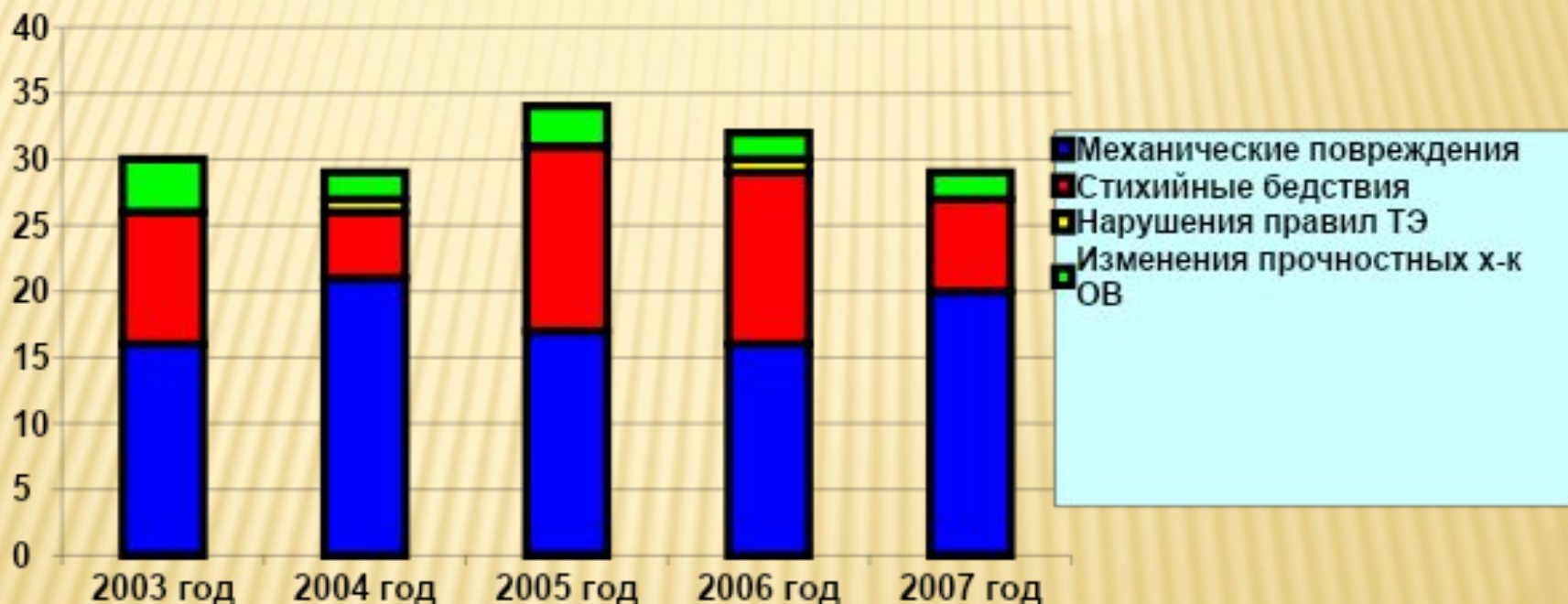
Значения интенсивности потока отказов -  $\lambda$  на отдельных участках магистрали могут существенно различаться в зависимости от условий эксплуатации на этих участках. Кроме того, существует зависимость  $\Lambda_{CP}$  от времени года.

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 типам линий связи.

При этом, протяженность ЛС, организованных по симметричным кабелям (СЛС) СЛС=1800км; по коаксиальным (КЛС) КЛС=1400км и протяженность ВОЛС L 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 авт.

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

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  $\Psi(t) = \mu e^{-\mu t}$  с параметром  $\mu = 1/T_{CP.B}$  и плотностью

Параметр  $\mu$  называют производительностью подсистемы восстановления работы кабельных магистралей, так как он равен числу устраняемых отказов в



# 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>&gt;0,997</i>	<i>&gt;0,9994</i>	<i>&gt;0,9987</i>
<i>Среднее время между отказами, час</i>	<i>&gt;400</i>	<i>&gt;7000</i>	<i>&gt;2500</i>
<i>Время восстановления</i>	<i>&lt;1,1</i>	<i>&lt;4,24</i>	<i>См. примечание</i>

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

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

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

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

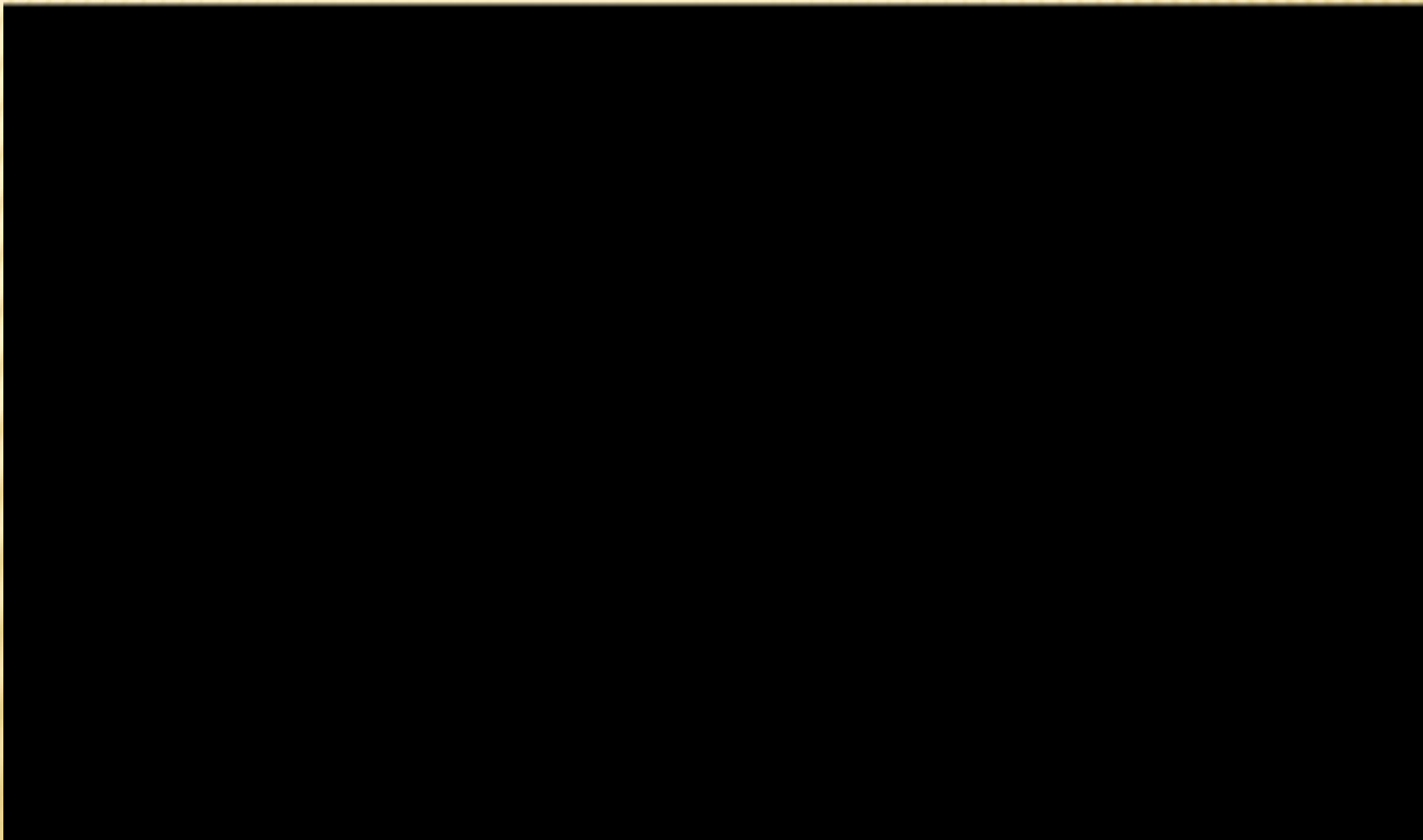
## Примечание.

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

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

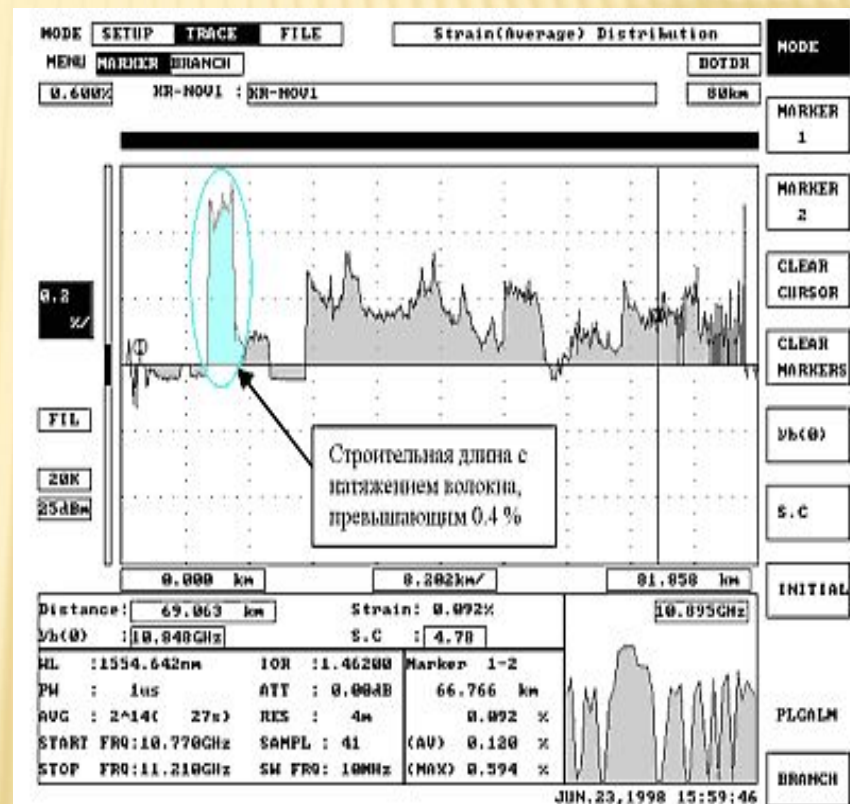
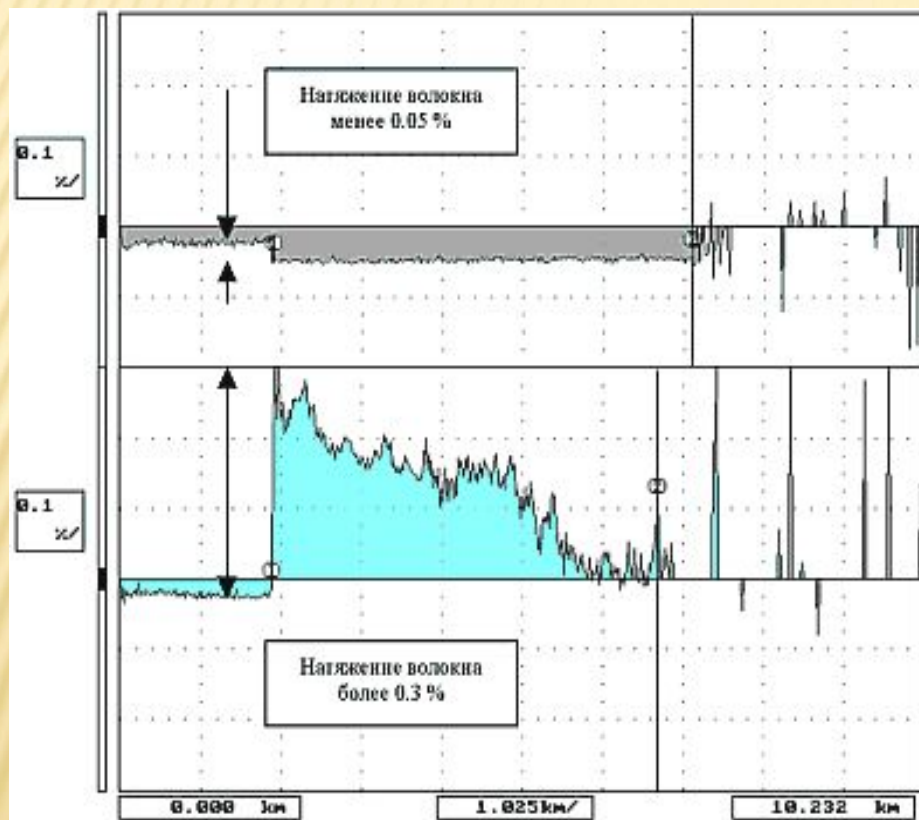
Повышенное натяжение волокна в кабеле вызывает деградацию его прочностных характеристик, что в конце концов приводит к разрыву волокна. Даже незначительное увеличение натяжения волокна может привести к многократному уменьшению его срока службы. Время жизни волокна в нормальных условиях эксплуатации (при 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  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Монтаж должен осуществляться при комнатных температурах т.к. подавляющее большинство сварочных аппаратов обеспечивают требуемые параметры сварных соединений при температуре не ниже  $13^{\circ}\text{C}$ .



### **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.**

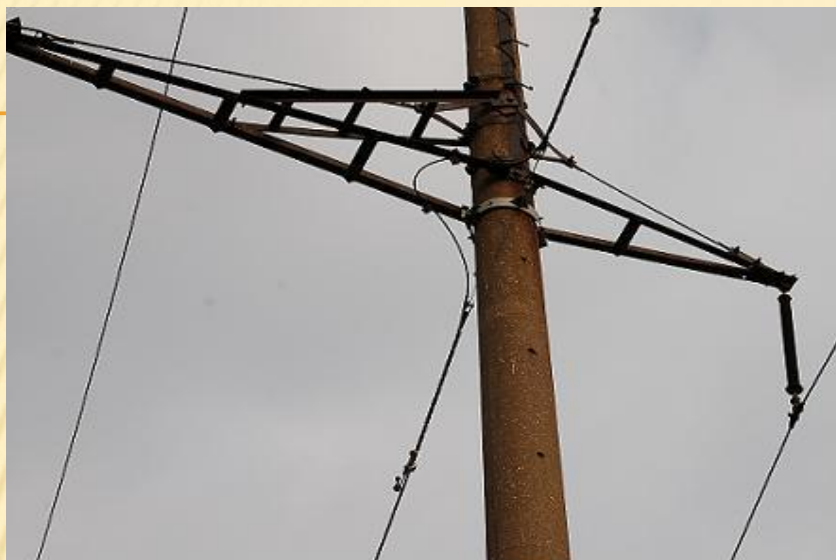
**Так как кабель внутри них обычно жестко фиксируется, то в результате деформаций канализационных ходов могут возникать локальные деформации оптических волокон.**



# **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

# 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.**