

Старение оптического волокна и деградация ВОЛС, часть 2

Введение

Напомним, что вопрос старения оптического волокна уже был частично затронут в [статье](#).

Как уже было отмечено, данная тема является достаточно обширной и многогранной. Если мы сталкиваемся с проблемой старения ВОЛС, то для выполнения достоверного исследования необходимо будет учесть множество факторов. Сейчас мы будем затрагивать данную проблему с разных сторон по частям. Всецело и подробно изучить данную проблему в рамках одной статьи невозможно. Еще раз отметим, что мы ни в коем случае не заявляем о всеобщей полноте раскрытия обсуждаемой проблемы, однако конечно постараемся рассмотреть ее с разных позиций.

Разберем сначала пару важных моментов, которые, судя по комментариям к предыдущей статье, требуют пояснения.

Во-первых, для чего проводить тестирование ОВ на разрыв после серии климатических воздействий на кабель? Разве оно не защищено от деформаций с помощью различных конструктивных элементов кабеля? Да, в теории, если кабель не был подвержен сверх допустимым нагрузкам, то волокно в нем должно хорошо сохраниться и проработать в течение всего заявленного срока эксплуатации и более. Однако как в действительности ведет себя волокно по прошествии длительного периода времени, да еще при воздействии агрессивной окружающей среды на ОК, никто точно не знает. Станет ли волокно более ломким на растяжение или на изгиб? Насколько могут ухудшиться его характеристики за 10 лет эксплуатации, а за 20 лет? Может быть, оно еще будет работать, однако из-за ухудшения его механической прочности невозможно будет осуществлять его повторный монтаж и соответственно проводить аварийно-восстановительные работы и т.д. Для ответа на эти вопросы исследователи, в том числе и известной компании Corning, проводят различные лабораторные испытания. Эти испытания часто проводят с помощью методов ускоренного старения волокна. Конечно, результаты такого подхода могут отличаться от практики, однако ничего лучше пока не придумали, а ждать 10-20 лет и проверять соответствуют ли то или иное волокно в отдельно взятом типе кабеля установленным параметрам коммерчески нецелесообразно.

Также, как оказалось, требует пояснения необходимость воздействия на кабель и волокно при испытаниях высоких температур. Конечно, для полного термического разрушения волокна нужна очень высокая температура (напомним, что температура плавления кварцевого стекла порядка 2000 градусов). Однако даже незначительно повышенные температурные воздействия, как и естественное старение ОВ, приводят к появлению дефектов (рис. 1), тем самым волокно становится более хрупким, увеличивается его коэффициент затухания и т.д. То есть с помощью критической температуры просто убыстряют процесс образования этих самых дефектов. Поэтому тот факт, что волокно остается целым после пожаров в кабельной канализации еще не гарантирует сохранения всех его прежних свойств в допустимых пределах и возможности его дальнейшей длительной эксплуатации без каких-либо сюрпризов.

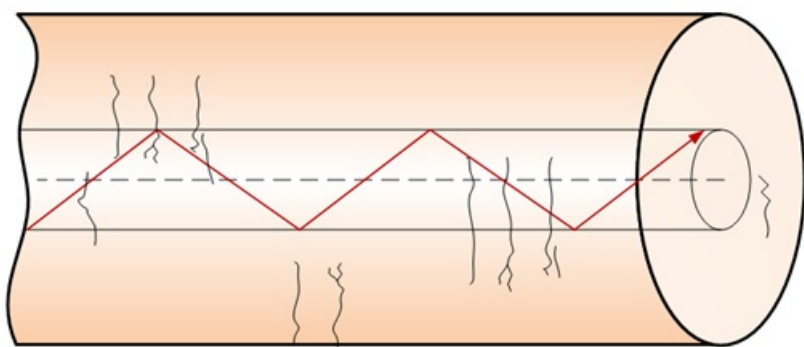


Рис. 1 - Образование дефектов в ОВ

Исследование пригодности старого ОВ к повторному монтажу

Под пригодностью старого ОВ к монтажу подразумевается возможность беззаботного выполнения над ним всех основных операций: протирка от грязи, снятие защитного покрытия волокна, скол, сварка и др. Здесь может возникнуть вопрос: причем тут старость волокна? Дело в том, что во время оконцевания ОВ и сварки, растягивающее напряжение в сочетании с изгибом ОВ может достигать довольно большой величины в 140 - 210 кгс/мм² (это около 2 кН/мм²). Считается, что такого рода нагрузка может возникнуть, например, во время снятия стриппером защитного покрытия. Поэтому, в

дополнение к таким внешним факторам как повреждение ОВ от инструмента при снятии защитного покрытия (например, образование микротрещин из-за соприкосновения металлического инструмента с волокном) все исследователи, работающие в данной области, используют следующие критерии:

1. общая прочность ОВ;
2. предельно допустимая сила для снятия защитного покрытия (другими словами сила, которую можно приложить к зачищаемому волокну для снятия защитного покрытия при этом, не сломав и не повредив ОВ).

Достаточная прочность ОВ гарантирует возможность его нормальной эксплуатации, а значение предельно допустимой силы в установленных пределах говорит о возможности осуществления с ним монтажа без каких-либо проблем связанных с чрезмерной ломкостью, например, в случае аварийно-восстановительных работ.



Рис. 2 – К пояснению предельно допустимой силы для снятия защитного покрытия

Таким образом, испытание на прочность и определение предельно допустимой силы, прикладываемой для снятия защитного покрытия – две характеристики, по которым может быть оценена пригодность старого ОВ к дальнейшей эксплуатации. Стоит отметить, что эти тесты могут быть выполнены как на каблечкованном ОВ, так и на беззащитном.

В табл. 1 приведено среднее значение силы, прикладываемой для снятия защитного покрытия с нового ОВ. Результаты были получены для различных стрипперов. Поскольку исследуемая величина является случайной, результат приведен с указанием среднеквадратического отклонения. Число реализаций, по которым проводилось усреднение, равнялось 10.

Таблица 1 – Среднее значение силы (в Ньютонах), прикладываемой для зачистки волокна

Стриппер	Среднее значение прикладываемой силы, Н	Среднеквадратическое отклонение
Siemens 0.18/0.30	1.18	0.01
Micro-strip 0.0055	1.53	0.04
Sumitomo JR-22	2.32	0.08

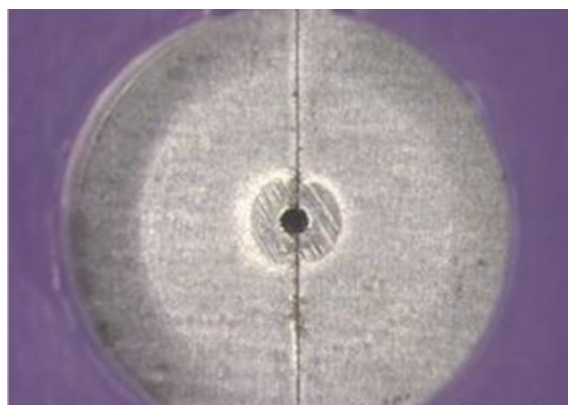


Рис. 3 – Калиброванный зазор стриппера Micro-strip под микроскопом

Рассмотрим далее результаты исследования пригодностью старого ОВ к монтажу. Целью настоящего исследования являлось испытание волокна на прочность – получения предельных значений силы снятия защитного покрытия коротких отрезков оптических волокон. Для этого самонесущий оптический кабель, как и положено, с целью ускорения старения подвергался различным

воздействиям. В первую очередь – воздействию повышенной температуры и влажности. Подробности выполнения такого процесса были описаны в прошлой статье.

В дополнение к тесту предельных значений силы снятия защитного покрытия, была исследована динамическая усталость волокон. Волокна были извлечены из этого же кабеля и еще держались в течение двух месяцев в условиях воздействия окружающей среды при относительной влажности 100% и температуре 23°C. Далее было проведено тестирование на растяжение на четырех различных скоростях: растяжение длины образца от 25% до 0.025% в минуту.

Результаты эксперимента предельно допустимой силы зачистки волокна приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения предельно допустимой силы зачистки волокна

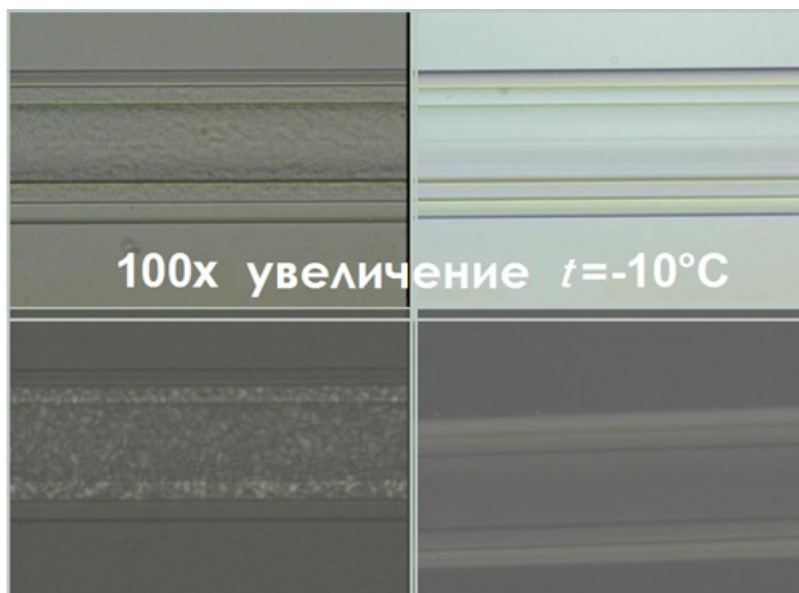
Тип волокна	Образцы волокон (цвет покрытия)	Среднее значение силы испытываемых волокон, кгс (Н)	Типичное среднее значение силы новых волокон, кгс (Н)
Стандартное	Синий	0.25±0.03 (2.45±0.31)	0.25±0.02 (2.45±0.18)
Стандартное	Зеленый	0.24±0.04 (2.40±0.45)	
Стандартное	Оранжевый	0.23±0.02 (2.22±0.22)	
Стандартное	Коричневый	0.24±0.04 (2.40±0.36)	
Волокна с оболочкой легированной титаном	Красный	0.48±0.13 (4.67±1.29)	0.48±0.07 (4.67±0.68)

Как видно из результатов, для всех испытываемых кварцевых волокон допустимая сила зачистки составляет приблизительно 0.24 кгс, что немного ниже значения допустимой силы зачистки новых волокон. Волокно утратило свою прочность, но не на много. По полученным результатам можно сделать вывод, что со временем происходит небольшое увеличение допустимой силы зачистки волокон, однако волокна остаются пригодны для монтажа и эксплуатации. По результатам исследования динамической усталости ОВ можно сделать аналогичные выводы.

Результаты деградации защитного покрытия

Несмотря на то, что результаты приведенного выше эксперимента получились весьма оптимистичными, в последнее время предметом активного изучения стал процесс старения защитного покрытия. Действительно, имеются практические случаи ухудшения свойств оптического волокна и даже его разрушение в результате деградации акрилового защитного покрытия. Если покрытие уже не выполняет своей функции, простой контакт волокна с твердой поверхностью может повредить его.

В зиму 2008-2009 гг., на одной из старых ВОЛС, действующей в районе азиатской части континента, было замечено значительное увеличение затухания. Как оказалось, это было обусловлено деградацией защитного покрытия (Рис 4, слева). На рисунке виден результат ухудшения волокна из-за некачественного покрытия. Несомненно, процесс старения ВОЛС тесно связан с качеством кабельных волоконных компонентов. Чтобы такие случаи не повторялись, производители ОВ начали разработку нового типа покрытия и новых способов его нанесения. На Рис 4, справа, показано как ведет себя волокно с покрытием нового поколения, если бы на него воздействовали такие же условия, как на упомянутой выше дефектной ВОЛС.



**Азиатские волокна,
вызвавшие увеличение
затухания**

**Волокна нового
поколения**

Рис 4. – Результат деградации защитного покрытия

В таблицах 3,4 приведены значения коэффициента затухания рассматриваемой ВОЛС и новых волокон. В том числе показано, каким был бы коэффициент затухания волокон с покрытием нового поколения, если бы на них воздействовали такие же условия.

Таблица 3. Начальный коэффициент затухания (дБ/км)

Волокна	Покрытие	1310 нм	1550 нм	1625 нм
№1	Нового поколения	0.31	0.19	0.21
№2	Азиатские ОВ старого поколения	0.32	0.23	0.38

Таблица 4. Значение коэффициента затухания после эксплуатации (дБ/км)

Волокна	Покрытие	1310 нм	1550 нм	1625 нм
№1	Нового поколения	0.37	0.30	0.35
№2	Азиатские ОВ старого поколения	0.78	1.18	1.67

Как видно, коэффициент затухания на старой ВОЛС увеличился значительно: от 0,23 дБ/км до 1,18 дБ/км.

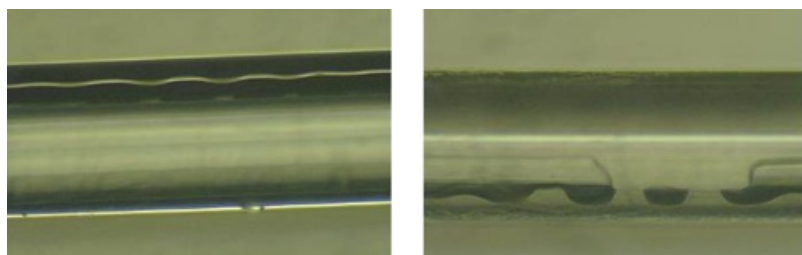


Рис. 5 –Дегерация защитного покрытия волокна

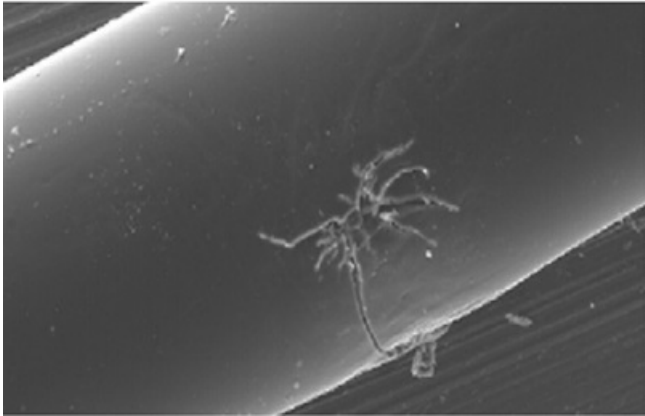
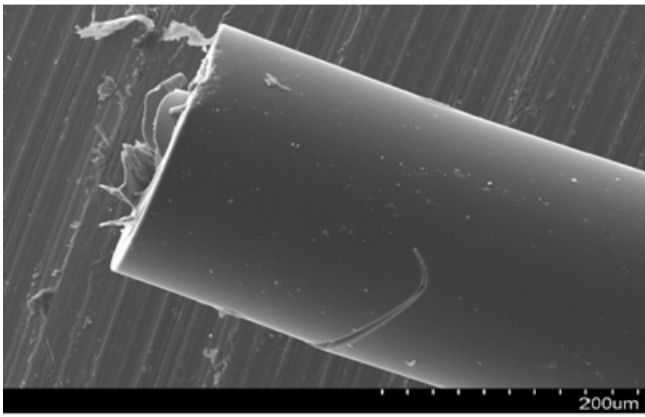


Рис. 6 – Результат деградации акрилового защитного покрытия – расщепление стеклянной оболочки ОВ

Как видно, какие-то параметры волокна не сильно критичны к времени, какие-то наоборот критичны. В действительности, конечно, многое будет зависеть от типа кабеля, климатических условий, производителя волокна.

Результаты других воздействий на оптический кабель и их влияние со временем на волокно будут рассмотрены позже.