



# Надежность — прежде всего

Надежность работы волоконно-оптических сетей важна как для операторов связи с разветвленной сетью большой емкости и протяженности, так и для организаций, эксплуатирующих всего одну волоконно-оптическую линию связи. Как же повысить надежность ВОЛС на этапах их проектирования, строительства и эксплуатации?

Переход от индустриального к информационному обществу влечет за собой трансформацию линий связи в сети, основой которых является оптоволокно. Рост прибыли, по-

Важен контроль как оптических, так и геометрических параметров ОК



лучаемой компаниями, которые эксплуатируют ВОЛС, связан с расширением сетей связи, и соответственно, волоконно-оптических сетей (ВОС). В свою очередь увеличение объемов информации, передаваемых по паре оптических волокон (ОВ) за единицу времени, ужесточает требования к их надежности.

## К вопросу об определениях и расчетах

Рассмотрим оценку надежности по такому комплексному показателю, как коэффициент готовности ( $K_r$ ), который характеризует безотказность и ремонтпригодность. Если оценивается надежность единичной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), то в случае обрыва оптического кабеля (аварии) время восстановления связи ( $t_v$ ) будет равняться времени восстановления данного кабеля. Если конкретный оптический кабель является фрагментом сети ВОЛС, то вполне возможно,  $t_v$  будет равняться времени, необходимому для организации обходных путей. Это время в большинстве случаев значительно меньше, чем время восстановления оптического кабеля.

Необходимо учитывать составляющие времени восстановления связи ( $t_v$ ) на городских теле-

фонных сетях. Основными составляющими  $t_b$  можно считать время: на определение места повреждения, на восстановление кабельной канализации, на прокладку аварийной вставки и на монтаж аварийной вставки с комплексом измерений. Время восстановления кабельной канализации может варьироваться от нуля до нескольких часов в зависимости от характера повреждений. Время прокладки аварийной вставки зависит от ее величины. При аварийных ремонтах сети ВОЛС Киевской городской дирекции ОАО "Укртелеком" величины аварийных вставок варьировались от 50 до 847 м (при аварии на Московском мосту). Время монтажа аварийной вставки на кабеле типа ОК-50 выпуска 1989–1994 гг. практически непредсказуемо по причине неудовлетворительных механических характеристик ОВ. В связи с этим нормировать время восстановления оптического кабеля ( $t_b$ ) на городских линиях связи некорректно.

Любую единичную ВОЛС мы можем считать частным случаем сети ВОЛС без возможности организации обходных путей. Это означает, что единичная ВОЛС имеет те же свойства, что и сеть ВОЛС, ограниченная одним направлением связи. Следовательно, комплекс мероприятий по повышению надежности сети ВОЛС включает в себя комплекс мероприятий по повышению надежности единичной ВОЛС.

Если рассматривать волоконно-оптическую сеть в целом, то есть сеть ВОЛС в комплексе с волоконно-оптическими системами передачи, то при условии, что предусмотрена схема защиты с организацией самовосстанавливающихся кольцевых сетей, обрыв оптического кабеля из разряда аварий переходит в разряд неисправностей. В этом случае  $t_b$  практически равно нулю ( $t_b < 100$  мс). Сеть ВОЛС, являясь транспортной сетью, не может рассматриваться как частный случай ВОС.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что коэффициент готовности (Кг) единичной ВОЛС, сети ВОЛС и ВОС – величины различные, но при определенных условиях могут быть равны.

Конечно, потребителя волнует в первую очередь надежность сети связи в целом. Ему безразлично, где может произойти авария: на линии, в системе передачи либо в системе энергоснабжения. Поэтому определяющими являются показатели надежности сети связи в целом.

Для контроля за качеством компонентов и уровнем технического обслуживания ВОЛС целесообразно проводить оценку надежности сетей ВОЛС.

Эта целесообразность обусловлена еще и тем, что в большинстве случаев срок службы транспортных сетей (сетей ВОЛС) больше, чем срок службы систем передачи. На городских телефонных сетях идет интенсивная замена аппаратуры

волоконно-оптических систем передачи на более высокоскоростную с использованием имеющихся транспортных сетей (в частности, одномодовое оптоволокно, соответствующее рекомендации МСЭ-Т G.652). Это приводит к остановке большего количества каналов при авариях на ВОЛС и ВОСП – волоконно-оптических системах передачи, что повышает требования к надежности волоконно-оптических сетей.

## Завтра начинается сегодня

Основной задачей при проектировании волоконно-оптических сетей является не только обеспечение потребностей сегодняшнего дня, но и гарантия возможности дальнейшего гибкого роста сети с органичным включением ранее построенных фрагментов. При этом сеть должна быть достаточно надежной. Безусловно, уровень надежности проектируемой сети напрямую зависит от вложенных в строительство средств. Проблема



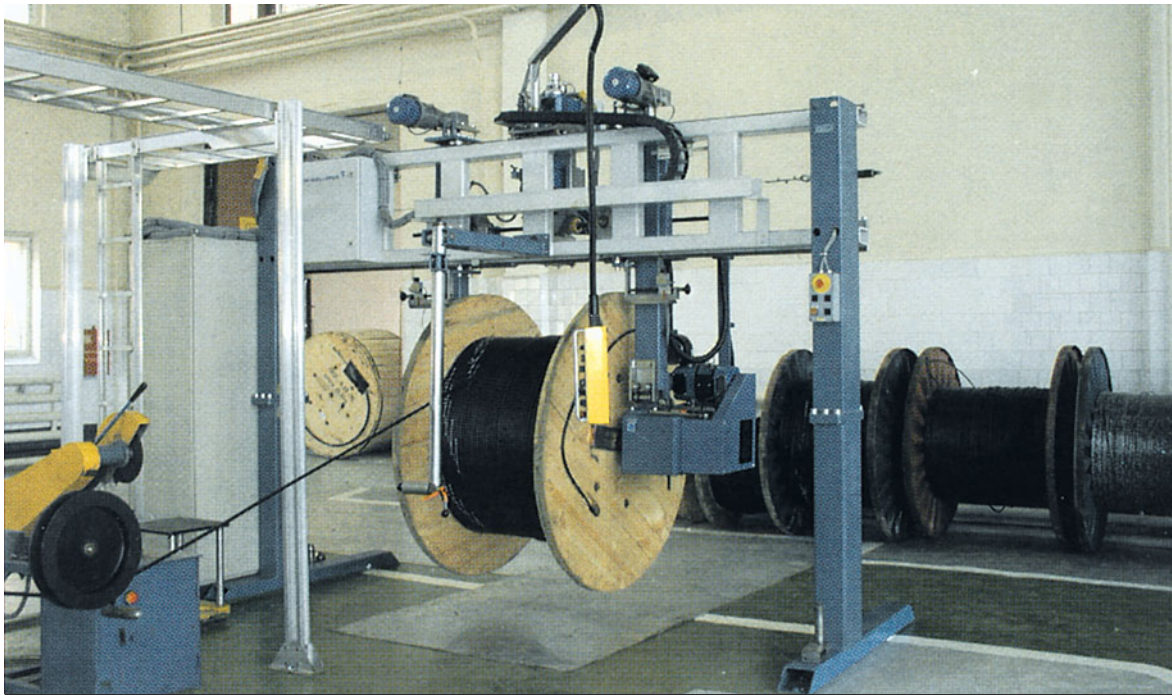
Оптические шнуры должны проверяться на стойкость к механическим и климатическим воздействиям

заключается в том, что долговременное планирование на срок более двух-трех лет практически нецелесообразно в связи с интенсивным прогрессом в области средств связи.

Основными факторами, влияющими на надежность сети, являются: топология сети, надежность волоконно-оптических систем передачи и надежность волоконно-оптических линий связи.

При построении современных волоконно-оптических сетей применяются следующие основные топологии:

- двухточечная;
- звездообразная;
- кольцевая (двойное кольцо).



При проектировании ВОЛС необходимо учитывать различные типы оптических кабелей

Выбор приведенных топологий обусловлен задачами, которые ставятся перед сетью в каждом конкретном случае.

Надежность волоконно-оптических систем передачи зависит от надежности составляющих элементов (мультиплексоров, коммутаторов, маршрутизаторов и т.д.), а также от выбранной схемы защиты, а именно:

- резервирование участков сети по разнесенным трассам (схемы 1+1 и 1:1);
- резервирование при организации самовосстанавливающихся кольцевых сетей (схемы 1+1 и 1:1);
- резервирование терминального оборудования (схемы 1:1 и 1:N);
- восстановление работоспособности сети путем обхода поврежденного узла;
- использование систем оперативного переключения.

Схема 1+1 – основное кольцо активно, а дублирующее пассивно. В случае отказа основного кольца трафик направляется по дублирующему.

Схема 1:1 – основное кольцо используется для передачи высокоприоритетного трафика, а дублирующее – низкоприоритетного. В случае отказа основного кольца высокоприоритетный трафик направляется по дублирующему кольцу, а низкоприоритетный может быть приостановлен.

Схема 1:N – одна линия либо плата могут быть использованы как резервные для n-го количества линий или плат.

Надежность ВОЛС зависит от надежности компонентов (оптический кабель, оптические муфты, оконечные устройства) и уровня технического обслуживания.

При проектировании ВОЛС необходимо учитывать технические характеристики различных типов оптических кабелей, оптических муфт и оконечных устройств. Требования к оконечным устройствам приведены в статье "Укrocение ВОЛС" ("Сит" №8-9, 2003), а требования к оптическим муфтам – в статье "Все дело в муфте" ("Сит" №10, 2003).



Для повышения надежности сетей необходимо жесткое выполнение технологии строительства ВОЛС

Для эффективного и упорядоченного роста волоконно-оптических сетей на этапе проектирования ВОЛС по согласованию с заказчиком необходимо определять следующее:

- марки оптических кабелей и величины строительных длин;
- марки оптических муфт и колодцы кабельной канализации, в которых они будут монтироваться;
- марки оконечных устройств и места их установки с учетом развития.

На телефонных станциях необходимо проектировать оптические кроссы большой емкости с организацией запаса патчкордов и постепенным наращиванием емкости ОВ по мере необходимости. При работе на ВОЛС аппаратуры уровня STM-16 и выше необходимо проектировать оптические кроссы с размещением в кассетах не более двух оптических волокон, что позволит при текущем ремонте любого из ОВ не ухудшать качество передачи информации по остальным волокнам.

При построении волоконно-оптических сетей с использованием кольцевой топологии необходимо проектировать два независимых ввода в здание для прокладки оптического кабеля к аппаратуре волоконно-оптических систем передачи (с разнесением трасс кабеля в кабельной канализации).

На практике для повышения уровня проектов городских линий связи необходимы компьютерные карты городской кабельной канализации с информацией о ее загрузке, паспортами колодцев кабельной канализации и расстояниями между ними.

При конкретном проектировании повысится эффективность использования кабельной канализации и помещений, где устанавливается оконеч-

ное оборудование, а также повысится уровень технического обслуживания ВОЛС и надежность сети связи в целом.



Полировальный станок Seiko Instruments OFL-15

### С надеждой на надежность

Качество строительства ВОЛС влияет на надежность сети связи еще долгое время после окончания строительно-монтажных работ. Нарушение технологии строительства ВОЛС в целом или же при монтаже компонентов приводит к повреждениям во время эксплуатации, снижая надежность сети связи. В таблице ниже показаны основные нарушения технологии строительства ВОЛС, реально допускаемые строителями в раз-

Основные нарушения технологии строительства ВОЛС				
Этапы строительства ВОЛС	Нарушения технологии строительства ВОЛС	Возможные недостатки, вызванные нарушением технологии	Возможные проблемы при сдаче ВОЛС в эксплуатацию	Прогнозируемые проблемы при эксплуатации ВОЛС
1. Входной контроль ОК	Отсутствие входного контроля либо проведение его без буферной катушки ОВ	Обнаружение обрывов либо неоднородностей в процессе монтажа	Монтаж дополнительных вставок ОК	Невыполнение гарантийных обязательств изготовителем ОК
2. Прокладка ОК	Прокладка без группирования строительных длин ОК	Дополнительный расход ОК и увеличение количества муфт на трассе ВОЛС	Дополнительный расход ОК, муфт	Дополнительные затраты на текущий ремонт и снижение надежности ВОЛС в целом
	Нарушение правил погрузки/разгрузки барабанов с ОК	Обрывы либо трещины на ОВ	Монтаж дополнительных вставок ОК	–
	Уменьшение допустимого радиуса изгиба ОК	Обрывы, трещины либо неоднородности на ОВ	–	–
3. Измерения ОК после прокладки	Отсутствие контрольных измерений	Обнаружение обрывов, трещин либо неоднородностей на ОВ	Монтаж дополнительных вставок ОК	Дополнительные затраты на текущий ремонт и снижение надежности ВОЛС в целом
4. Монтаж оконечных устройств	Нарушение технологии монтажа оконечных устройств	Обрывы либо повышенное затухание на оконечном устройстве	Ремонт оконечного устройства	Дополнительные затраты на аварийный либо текущий ремонт оконечного устройства
5. Монтаж оптических муфт	Нарушение технологии монтажа оптических муфт	Обрывы либо повышенное затухание ОВ в муфте	Ремонт оптической муфты	Дополнительные затраты на аварийный либо текущий ремонт оптических муфт
		Недостовверная информация о расстоянии до муфты и потерях на сварке ОВ	Повторные измерения и переоформление документов	Дополнительные затраты времени и материалов при аварийном ремонте ВОЛС
6. Приемно-сдаточные измерения	Нарушение технологии измерения ВОЛС оптическими тестерами и рефлектометром	Недостовверность или недостаточность данных в приемно-сдаточных документах	Повторные измерения параметров ВОЛС и переоформление документов	Дополнительные затраты времени и материалов при аварийном и текущем ремонте

## Некоторые характеристики ВОЛС

**Надежность** – свойство сети связи выполнять заданные функции, то есть обеспечивать возможность передачи требуемой информации на заданных направлениях с установленными нормами достоверностью в течение требуемого промежутка времени.

**Отказ** – повреждение с перерывом связи (авария).

**Неисправность** – повреждение без перерыва связи, то есть такое состояние сети связи, при котором ее характеристики не соответствуют нормам.

**Коэффициент готовности ( $K_r$ )** – вероятность того, что сеть связи в произвольно выбранный момент будет исправна.

$$K_r = T / (T + t_b)$$

$T$  – среднее время между отказами (наработка на отказ);

$t_b$  – среднее время восстановления связи.

личных сочетаниях, а также последствия, к которым это приводит либо может привести.

Как видно из таблицы, любое нарушение технологии при строительстве ВОЛС может привести к дополнительным затратам во время эксплуатации.

Проблема состоит в том, что ряд нарушений, допускаемых при выполнении монтажных работ даже опытными специалистами, не выявляются при приемо-сдаточных измерениях. Если бы стояла задача только построения работоспособной ВОЛС, то, возможно, некоторыми недостатками можно было бы и пренебречь. Однако при строительстве надежной, развивающейся волоконно-оптической сети упомянутые нарушения недопустимы.

Например, категорически недопустимым, но часто встречающимся нарушением технологии монтажа ВОЛС является монтаж муфт без контрольных измерений качества сварки. Конечно, это быстрее и удобнее: можно монтировать муфты в любой последовательности в зависимости от того, где проложен оптический кабель, и не нужен специалист с оптическим рефлектометром на оконечном пункте.

Но обычно могут возникнуть две проблемы.

Первая появляется, когда допускаются сварки оптических волокон с повышенным затуханием, что в большинстве случаев можно выявить при приемо-сдаточных измерениях.

Вторая – когда все сварки нулевые ( $A_{св} = 0$  дБ), что возможно при монтаже двух строительных длин с одного барабана, и расстояние до муфты в паспорте на оптический кабель указывается приблизительно. Эта проблема по ряду объективных причин практически не выявляется во

время приемо-сдаточных измерений. В данном случае при дальнейшей эксплуатации оптического кабеля во время аварийного ремонта затрачивается дополнительное время для определения места повреждения на местности. Иногда также затрачивается дополнительный ОК на аварийную вставку, то есть снижается уровень технического обслуживания и, соответственно, надежность сети ВОЛС.

Работа по строительству и эксплуатации ВОЛС требует от специалистов навыков и линейщика, и измерителя-аналитика, а это совсем не просто. И если наши строители неоднократно подтверждали свою высокую квалификацию линейщиков, то их профессионализм измерителей, а тем более аналитиков еще далек от необходимого уровня.

Если качество строительства ВОЛС будет оставаться на том же уровне, что и сегодня, возникнет потребность в организации института независимых экспертов для привлечения их к комплексу мероприятий при сдаче ВОЛС в эксплуатацию. Это особенно актуально для организаций, эксплуатирующих ВОЛС, но не имеющих квалифицированных специалистов в области волоконной оптики.

Для повышения надежности сетей связи необходимо жесткое выполнение технологии строительства ВОЛС.

## О пользе профилактики

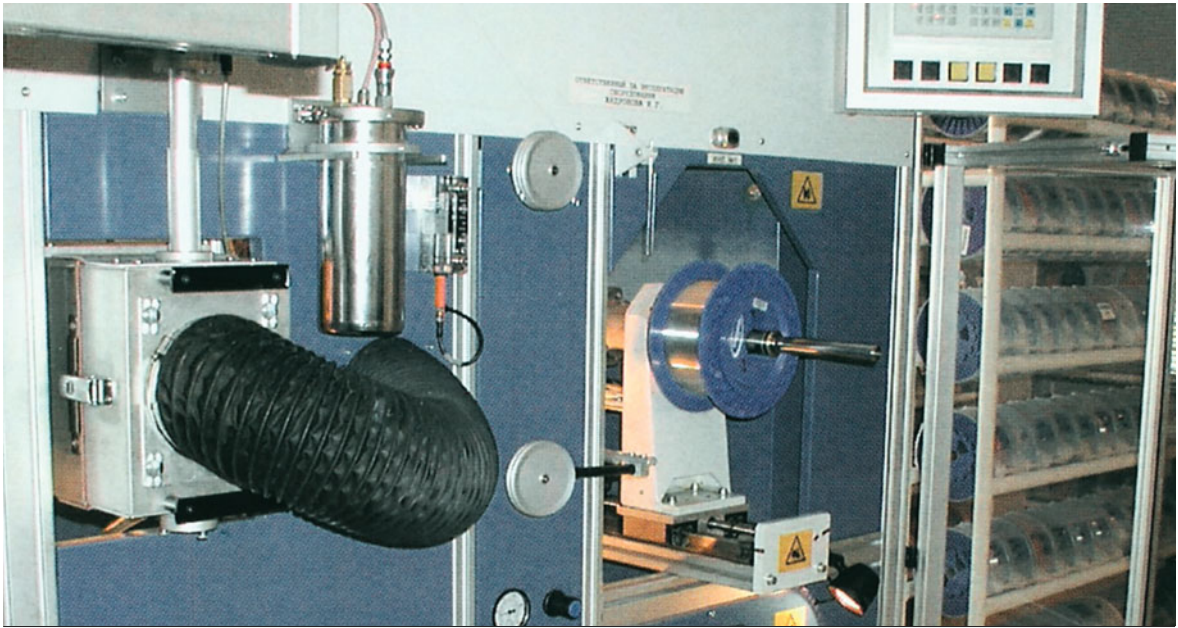
Необходимо отметить, что на каком бы этапе ни допускались нарушения технологий либо другие недостатки, будь то проектирование, строительно-монтажные работы или производство компонентов ВОЛС – все это бьет исключительно по службе эксплуатации.

Уровень надежности технического обслуживания зависит от скорости восстановления оптического кабеля при аварийных повреждениях и от своевременного устранения текущих повреждений для предотвращения аварий.

На скорость восстановления ОК при аварийных повреждениях влияет целый ряд факторов. Основными можно считать следующие:

- техническая оснащенность аварийно-восстановительной бригады (АВБ);
- состав и квалификация персонала АВБ;
- состав аварийного запаса и материалов для ремонта оптического кабеля;
- уровень базы данных сети ВОЛС.

Техническая оснащенность АВБ может изменяться от необходимого минимума до желательного максимума и зависит от объемов обслужи-



Целесообразно проводить оценку надежности сетей ВОЛС

ваемой сети ВОЛС и экономической состоятельности организации.

Минимальный состав АВБ определяется требованиями правил техники безопасности и технологии монтажа ВОЛС (два инженера, один кабельщик, один водитель). Состав АВБ зависит от объемов обслуживаемой сети ВОЛС, а высокая квалификация определяется полной взаимозаменяемостью специалистов (исключая водителей) при выполнении работ.

Аварийный запас оптического кабеля и материалов восполняется по мере расходования на аварийные и текущие ремонты ВОЛС. Аварийный запас кабеля должен включать как минимум аварийные вставки (250 м) всех типов обслуживаемых кабелей максимальной емкости.

При больших объемах сети ВОЛС целесообразно иметь аварийные вставки различной емкости для каждого типа оптического кабеля.

База данных должна содержать информацию о состоянии каждого метра всех обслуживаемых оптических волокон (оптические и механические характеристики) с привязкой трасс оптического кабеля и муфт на них к местности при помощи компьютерной карты. База данных должна предоставлять информацию о возможностях как сети ВОЛС в целом, так и любого из ее фрагментов с учетом состояния кабельной канализации.

Качество текущего ремонта сети ВОЛС зависит от тех же факторов, что и качество и скорость аварийного ремонта. Своевременность технического ремонта, влияющая на предотвращение части аварий, зависит от своевременности обнаружения повреждений, что в свою очередь зависит от периодичности эксплуатационных измерений.

Согласно действующим нормативным документам, измерения проводятся не реже двух раз в год. Такая их периодичность позволяет, в частности, поддерживать работоспособность сети ВОЛС КГД ОАО "Укртелеком", а это около 15 тыс. км в одноволоконном исчислении, при наличии в штате группы ВОЛС всего пяти инженеров и трех кабельщиков-спайщиков, чего явно недостаточно при возрастающих требованиях к надежности сетей связи.

В настоящее время на киевской сети связи достаточно многие организации располагают ВОЛС, на которых вообще не проводятся эксплуатационные измерения и технический ремонт. При этом аварийный ремонт осуществляется не по предварительному заключенному договору на техническое обслуживание ВОЛС, а в спешном порядке, по договорам с фирмами, первыми откликнувшимися на информацию об аварии. При дальнейшем ужесточении требований к надежности ВОС этот подход к техническому обслуживанию ВОЛС можно считать неквалифицированным и не имеющим будущего. Варианты организации технического обслуживания сетей ВОЛС в зависимости от их объемов приведены в статье "Оптоволокно: поддержка жизнеспособности" ("Сит" №12, 2003).

На фоне обоснованно позитивного отношения пользователей к темпам развития сетей связи специалисты должны четко видеть неизбежные при таком бурном развитии недостатки и пути их устранения. В первую очередь должно быть осознание необходимости повышения квалификации и ответственности на каждом конкретном рабочем месте.

**Сергей Кабыш**  
vols@ukr.net