

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

В. С. Иванов, Б. К. Никитин, Р. Я. Пирмагомедов

СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ

ЧАСТЬ 2

Учебное пособие

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015**

УДК 681.7(075.8)
ББК 3286я73
И20

Рецензенты:
директор НОУ «Лентелефонстрой – УВЦ» ОАО «ЛЕНТЕЛЕФОНСТРОЙ»
Т. И. Васильева,
главный инженер ГУП НАО «Ненецкая компания электросвязи»
П. А. Окладников

*Утверждено редакционно-издательским советом СПбГУТ
в качестве учебного пособия*

Иванов, В. С.

И20 Строительство ВОЛС. Современные технологии и организация.
Часть 2 : учебное пособие / В. С. Иванов, Б. К. Никитин, Р. Я. Пирмагомедов ; СПбГУТ. – СПб., 2015. – 76 с.

Написано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Проектирование и строительство ВОЛС».

Рассматриваются некоторые вопросы организации строительства волоконно-оптических линий связи, как на первичной сети, так и для обеспечения потребностей передачи информации в мультисервисных сетях. Рассмотрены варианты строительства ВОЛС – подземные, воздушные, реализация ВОЛС на «последней миле». Приводятся сведения по различным способам прокладки кабеля.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также слушателей ФПК СПбГУТ.

**УДК 681.7(075.8)
ББК 3286я73**

© Иванов В. С., Никитин Б. К., Пирмагомедов Р. Я., 2015
© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2015

Содержание

5. ТЕХНОЛОГИИ ПОДВЕСКИ ВОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОЛС	4
5.1. Подвеска ВОК типа 8-ки	5
5.2. ВОК в грозозащитном тросе	7
5.3. Подвеска самонесущего ВОК на ЛЭП	8
5.4. Особенности подвески самонесущего ВОК на опоры контактной сети ЭЖД	14
5.5. Навивная технология строительства ВЛОС	17
5.6. ВОК для прокладки в грунт, подвески на опорах различного типа и назначения	22
5.7. Выбор технологии строительства ВОЛС-ВЛ	27
6. МОНТАЖ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ	31
6.1. Разделка ВОК и требования к неразъемным соединениям ОВ	31
6.2. Сварка ОВ	33
6.3. Механическое соединение волокон	37
6.4. Муфты для монтажа оптических кабелей	39
6.5. Приемо-сдаточные испытания	46
7. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛС	48
7.1. Входной контроль	48
7.2. Оценка качества строительных работ	50
8. ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛС В РОССИИ	55
8.1. Начальный период строительства	55
8.2. Период активного строительства ВОЛС	56
8.3. Переход на WDM технологии	59
8.4. Строительство ведомственных сетей на основе ВОЛС	66
8.5. Выбор оптических волокон и кабелей для различных технологий строительства ВОЛС в России	69
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	74

5. ТЕХНОЛОГИИ ПОДВЕСКИ ВОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОЛС

Требования к сооружениям и технологиям подвески ОК на несущих тросах по столбам и стоечным опорам на крышах зданий, а также к самонесущим кабелям не отличаются от требований для электрических кабелей связи.

Реализация строительства ВОЛС с подвеской ВОК на различного типа опоры может быть выполнена по нескольким технологиям, которые имеют свои преимущества и недостатки (СО 153-34.48.519-2002. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4–35 кВ).

Основными технологиями подвески ВОК являются:

- подвеска ВОК типа 8-ки;
- подвеска самонесущих ВОК на различных опорах ЛЭП;
- подвеска ОК без несущих силовых элементов, с креплением их к существующим несущим элементам (тросам, проводам и др.);
- размещение сердечника ВОК внутри грозозащитного троса, устанавливаемого на магистральных ЛЭП;
- навивная технология и подвеска ВОК с креплением его к существующим несущим элементам (тросам, проводам и др.) линий электропередач.

Во всех случаях условия подвески должны быть такими, чтобы несущие конструкции были способны воспринимать все действующие дополнительные нагрузки от подвешиваемого кабеля, а его расположение не препятствовало нормальному техническому обслуживанию линии, на которой он подвешивается. Широко используется подвеска ОК на опорах линий электропередач различного напряжения, опорах контактной сети и автоблокировки железнодорожного транспорта, а также опорах осветительной сети, опорах силовых сетей наземного электрического транспорта и других опорах. На рис. 5.1 приведены опоры, которые могут быть использованы для строительства воздушных ВОЛС.

Требования к сооружениям и технологиям подвески ОК на несущих тросах по столбам и стоечным опорам на крышах зданий, а также к самонесущим кабелям не отличаются от требований для электрических кабелей связи [9, 21, 22].

Особенно перспективно применение ВОЛС, подвешиваемых на опорах воздушных линий (ВЛ) электропередачи высокого напряжения (ВОЛС-ВЛ), имеющих наивысшую надежность по сравнению с другими видами ВОЛС.

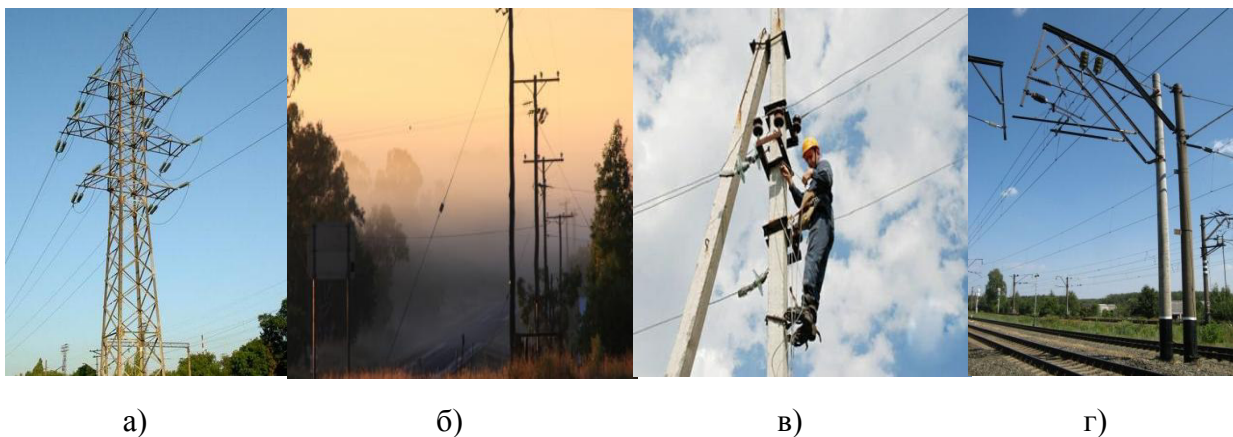


Рис. 5.1. Опоры, которые могут быть использованы для строительства воздушных ВОЛС:

- а) опоры линий электропередачи с напряжением от 35 кВ и выше; б) опоры воздушных линий связи (если они в нормальном состоянии или новые); в) опоры распределительных ЛЭП до 10 кВ; г) опоры контактных сетей ЭЖД

ВОЛС-ВЛ обладают целым рядом неоспоримых преимуществ перед прокладкой в грунт, которые заключаются в следующем:

- отсутствие необходимости отвода земель под трассу и, как следствие, – необходимости копать землю;
- снижение стоимости строительно-монтажных работ в два и более раз;
- существенное сокращение сроков строительства, поскольку сооружение ВОЛС способом подвески ВОК проще и технологичнее, чем прокладка в грунт;
- уменьшение числа механических повреждений по сравнению с ВОК, проложенными в грунте или в канализации.

Выбор метода подвески определяется спецификой выполнения работ, которая зависит от назначения ВОЛС, климатических условий региона, рельефа местности, наличия пересечений, профиля трассы ЛЭП, типа опор или тросов.

В настоящее время известны несколько основных видов ОК-ВЛ, получивших наибольшее распространение. Это оптический кабель в грозозащитном тросе (ОКГТ), оптический кабель в фазовом проводе (ОКФП), полностью диэлектрический самонесущий кабель (ОКСН) и оптический навивной кабель (ОКН).

5.1. Подвеска ВОК типа 8-ки

Самый простой способ, который с успехом применялся и при строительстве металлических линий связи простейших вариантов – подвеска ВОК типа 8-ки. Наиболее широко распространенный вариант для ВОЛС это использование кабеля типа 8-ки (рис. 5.2) [4, 6, 19, 37].

Оптические модули изготовлены на основе полибутилентерефталата (ПБТ) производства фирмы EMS Chemie AG (Швейцария) или фирмы BASF (Германия).

Подвеска осуществляется с использованием консоли, закрепленной на опоре, и кабельного зажима, свободно одеваемого на крючок консоли (рис. 5.3).

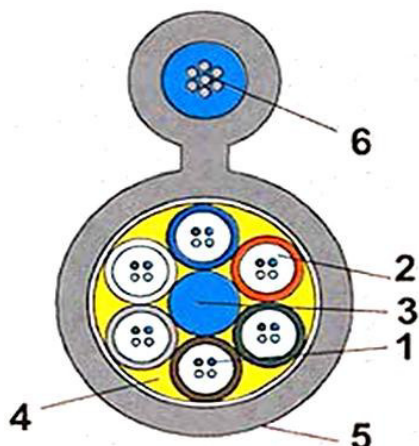


Рис. 5.2. Конструкция ВОК типа 8-ки.

1. Оптическое волокно; 2, 4. Гидрофобные заполнители; 3. Центральный силовой элемент; 5. Внешняя оболочка; 6. Внешний силовой элемент: стальной или диэлектрический трос



Рис. 5.3. Подвеска ВОК типа 8-ки

К недостаткам этого способа следует отнести:

- высокую парусность ВОЛС, что приводит к сильной вибрации, в результате происходит отрыв троса от сердечника ВОК;
- обледенение кабеля в зимний период и обрыв линии;
- невозможность подвески кабеля с металлическим тросом в условиях высоких напряженностей электрического поля (особенно, переменного) в связи с протеканием по тросу достаточно мощных наведенных вихревых токов;
- воздействие солнечной радиации и прочих атмосферных факторов, приводящих к коррозии внешней влагозащитной оболочки ВОК.

Все это приводит к тому, что срок службы подобного типа линий не превышает 17–18 лет. Однако здесь используется самый дешевый кабель (в районе 1800–2400 \$/км) и скорость строительства высока: до 5–6 км в смену.

5.2. ВОК в грозозащитном тросе

При подвеске ОК на опорах линий электропередач используется технология, когда сердечник оптического кабеля встраивается в грозозащитный трос. Такой трос подвешивается обычно при замене демонтируемого грозозащитного троса, либо при новом строительстве ЛЭП [4, 9, 37].

Один из самых дорогих вариантов строительства ВОЛС (рис. 5.4). Сам кабель очень дорогой, так как содержит достаточно много упрочняющих элементов. Его стоимость лежит в пределах 5000–7000 \$/км.

Кабель предназначен для подвески на опорах воздушных линий электропередач от 35 кВ и выше. Некоторые варианты конструкций кабеля и механизмов для его прокладки приведены на рис. 5.4.

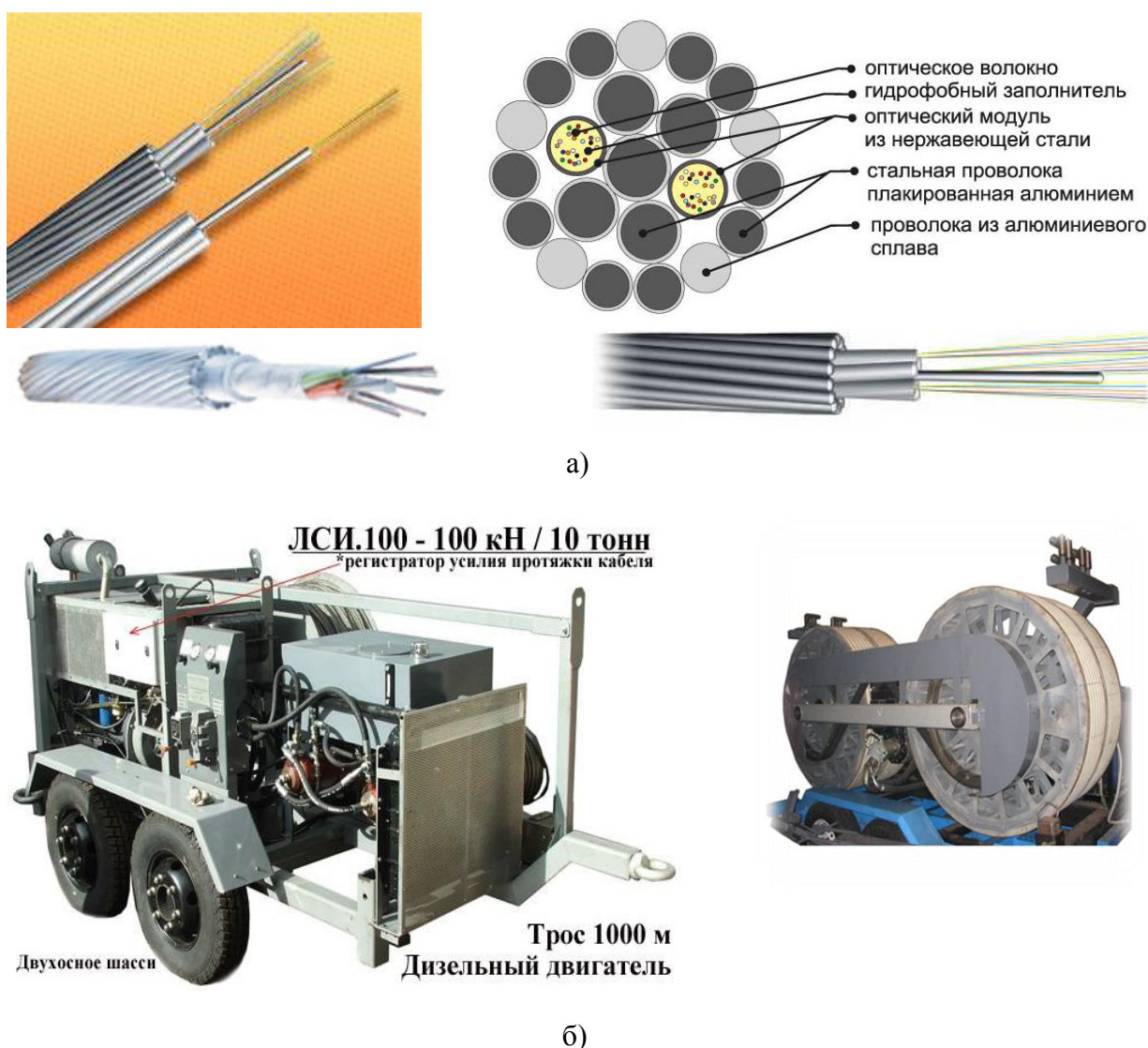


Рис. 5.4. Конструкции кабеля типа ОКГТ и механизмы для его прокладки:
а) конструкции кабелей; б) механизмы подвески кабелей

Следует отметить, что в условиях России требования к ВОК, встроенным в грозотрос, отличаются рядом особенностей. Эти особенности заключаются прежде всего в том, что климатические условия требуют обеспечения рабочего диапазона температур от -60°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Это означает, что гидрофобные заполнители модулей и сердечника кабеля должны сохранять свои параметры в указанном диапазоне. Кроме того, температурные коэффициенты расширения элементов кабеля и грозотроса должны быть очень близкими друг к другу.

Грозозащитный трос, имеющий один или два слоя из ASC и содержащий оптический сердечник, монтируется наверху ЛЭП и несет двойную функцию грозотроса и кабеля связи. Процесс строительства таких ВОЛС – сложная техническая задача, связанная с применением мощных натяжных механизмов, а скорость строительства и технология замены существующего троса на волоконно-оптический в очень сильной степени зависят от профиля ЛЭП, т. е. местности, по которой она проходит. При нормальных условиях рабочая бригада прокладывает до 5 км волоконно-оптического кабеля в день.

Основным преимуществом ВОЛС, реализованной по этой технологии, является высокая надежность линии связи, которая обусловлена мощными несущими элементами ЛЭП, рассчитанными на срок службы до 50 лет. Следует отметить, что при осуществлении первых проектов строительства ВОЛС в грозозащитном тросе по ЛЭП использовался ОК зарубежных производителей. Однако в настоящее время все больше применяется отечественный кабель типа ОКГТ производства «Саранскабель оптика», «Москабель-Фуджикура» и других российских производителей.

Высокая надежность ВОЛС, реализованных на базе грозозащитного троса, объясняется тем, что несущие конструкции ЛЭП рассчитаны на длительный срок службы (до 50 лет) и выдерживают внешние разрушающие нагрузки, вплоть до ураганных. Кроме того, вряд ли возможны механические повреждения ВОЛС, которая расположена на высоте 10-этажного дома в очень прочной металлической оболочке. Этим объясняется их строительство в труднодоступных регионах, которых в нашей стране предостаточно.

5.3. Подвеска самонесущего ВОК на ЛЭП

Этот способ строительства нашел наиболее широкое применение на ведомственных сетях, таких как ЭЖД, «Газпром», «Энергосистем» и других ведомств. Обусловлено это тем, что сам способ строительства достаточно прост, а данные компании являются собственниками различного вида опор [6, 9, 10].

Для строительства ВОЛС методом подвески на опорах высоковольтных ЛЭП и железнодорожного транспорта используется диэлектрический самонесущий ОК при условии, что его несущая способность достаточна, а расположение самого ОК не препятствует нормальному техническому обслуживанию линии, на которой он подвешивается.

Указанный способ строительства используется в основном там, где длина пролетов невелика. Это контактные сети ЭЖД ($L_{\text{прол.}} \approx 70$ м), распределительные сети ЛЭП ($L_{\text{прол.}} = 50 \div 70$ м), опоры ВЛС ($L_{\text{прол.}} = 50 \div 70$ м). Для строительства магистральных ВОЛС, где в основном большие пролеты, используются кабели с усиленными механическими характеристиками, параметры которых должны определяться расчетом на основе данных по климатическим характеристикам региона, где будет расположена проектируемая ВОЛС.

Все работы по подвеске ОК на опорах выполняются в соответствии с действующими правилами, нормами и техническими условиями, заложенными в проектах.

Способ подвески ВОК на ЛЭП сопряжен с определенными трудностями, связанными в первую очередь с тем, что ЛЭП постоянно находится под напряжением. Поэтому при подвеске кабеля необходимо получить от владельцев ЛЭП разрешение на выполнение работ, в том числе и на отключение напряжения. Кроме того персонал должен быть обучен и иметь соответствующую группу по электробезопасности. Наиболее эффективной в этом случае является совместная работа строительных организаций связи и представителей энергетики, по опорам ЛЭП которых осуществляется подвеска ВОК.

Ведение строительных работ по подвеске ОК осуществляется при температуре не ниже -10 °С. Лишь в исключительных случаях допускается проведение работ при температуре ниже -10 °С, при этом необходимо соблюдать все меры предосторожности.

При строительстве ВОЛС по ЛЭП в настоящее время успешно применяются как новейшие технологии проектных изысканий, позволяющие обследовать линию с целью определения возможности подвески на них ВОК, выбрать маршрут подвески кабеля и его конструкцию, так и новейшее технологическое оборудование, которое позволяет в срок и качественно выполнять строительные-монтажные работы.

Проектирование и строительство ВОЛС по ЛЭП регламентируется следующими документами.

1. «Правила подвески и монтажа самонесущего волоконно-оптического кабеля на опорах контактной сети и высоковольтных линий автоблокировки» (утв. МПС РФ 16.08.1999 N ЦЭ/ЦИС-677). *Примечание:* текст документа по состоянию на январь 2011 г.

2. «Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4–35 кВ.» СО 153-34.48.519-2002.

Раскатка и подвеска ВОК на ЛЭП производится под тяжением с предварительной протяжкой троса-лидера (каната) по раскаточным роликам. До начала выполнения работ по раскатке и подвеске ВОК нужно установить необходимые механизмы – тормозная и натяжная машина, передвижная монтажная лаборатория, – ЛИОК и проч.

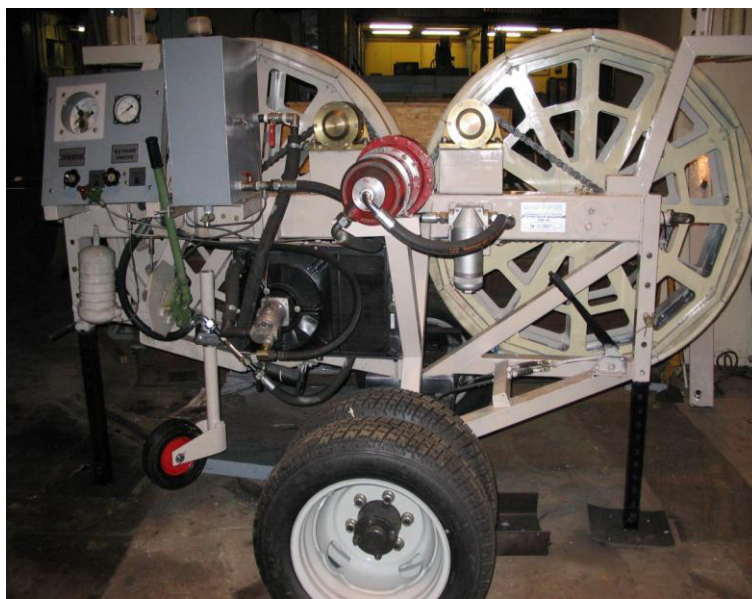


Рис. 5.5. Натяжная и тормозная машина для самонесущего ВОК

На всех опорах участка ЛЭП, где подвешиваются ОК, монтируются узлы крепления кабеля, рядом подвешиваются раскаточные ролики, по которым протягивается диэлектрический трос-лидер. Ролики должны соответствовать диаметру ОК. Для подвески самонесущего ОК широко применяются ролики двух типоразмеров: малые, с внешним диаметром 200 мм и внутренним – 138 мм, и большие, с внешним диаметром 676 мм и внутренним – 604 мм.



Рис. 5.6. ЛИОК передвижная лаборатория

Раскаточные ролики должны иметь низкий коэффициент трения, обладать конструкцией, обеспечивающей легкую их установку. Они должны также обеспечить надежную защиту оптического кабеля от заклинивания в теле ролика и защиту от торможения ролика в случае касания его элементов крепления (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Монтаж самонесущего ВОК

В качестве трос-лидера, применяемого при подвеске ОК, используют специальный диэлектрический канатик, имеющий высокую прочность, малый коэффициент растяжения и низкий коэффициент кручения. Стандартная длина трос-лидера составляет 1 или 0,5 км, что позволяет при помощи специальных соединителей комплектовать его в соответствии со строительными длинами кабеля. При этом длина трос-лидера должна на одну стандартную длину превышать строительную длину ВОК.

Трос-лидер разматывается с барабана лебедки и на каждой опоре пропускается через желобки каждого ролика. Трос-лидер протягивается до тормозной машины, пропускается через нее и соединяется через вертлюг и кабельный чулок с концом ВОК на барабане, установленном на подъемно-тормозном устройстве.

Протяжка троса-лидера с прикрепленным к нему ВОК производится лебедкой путем наматывания троса-лидера на барабан лебедки. При этом в процессе протягивания кабеля выполняется визуальный контроль за стрелой провеса и отсутствием закручивания ВОК по трассе.

Скорость протяжки составляет в среднем порядка 1,8 км/ч. При подходе, во время протяжки стыка троса-лидера и ВОК к раскаточному ролику, скорость протяжки снижают до минимума. Раскатка заканчивается, когда ОК пройдет через раскаточный ролик на концевой опоре на расстояние, равное высоте подвеса ролика, плюс 15–20 м.



Рис. 5.8. Применение натяжного зажима

После раскатки на опоре, около которой расположен барабан с ОК, кабель закрепляется с помощью натяжного зажима (рис. 5.8). Путем натяжения кабеля задается определенная проектом стрела провеса ОК в пролетах, и кабель крепится к другой граничной опоре монтируемого участка с помощью натяжного зажима.

Тормозной машиной регулируется усилие торможения, чтобы обеспечить постоянное усилие, обеспечивающее

стрелу провеса. Стрела провеса ОК не должна выходить за пятипроцентный допуск в большую или в меньшую сторону от проектного задания.

После закрепления ОК на концевых опорах он снимается с роликов и крепится в поддерживающих зажимах.

Работы по закреплению ВОК в расчетном положении производят не позднее, чем через 48 часов после его раскатки. В ходе этих работ выполняют:

- крепление ВОК на опорах натяжными зажимами;
- переключивание ВОК с роликов в поддерживающие зажимы;
- укладка и закрепление на опорах технологических запасов длин ОК.

Примеры крепления ОК в зависимости от типа опор и конструкции арматуры приведены на рис. 5.9.

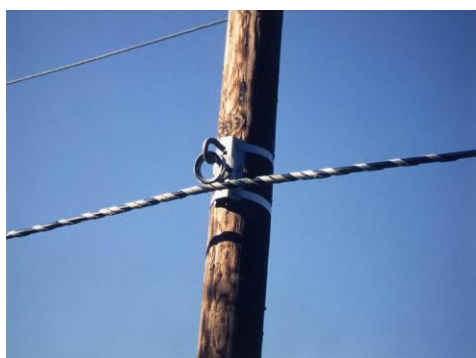


Рис. 5.9. Зажимы для крепления ВОК

Спуск ОК с опор ВЛ выполняется с целью обеспечения производства сварки оптических волокон и оптических измерений кабеля без подъема сварочной и измерительной техники. Спуски выполняются тем же кабелем, который монтируется на ВЛ. Кабель спуска крепится к телу опоры с помощью специальных конструкций с зажимами, высота расположения самой муфты должна быть не менее 5,0 м от земли.

Монтаж муфт выполняется аналогично монтажу ВОК, прокладываемых в грунт, в специально оснащенных автомашинах (рис. 5.6). Смонтированные муфты и технологический запас длины ВОК размещаются в защитных контейнерах, закрепленных на теле опоры на расстоянии не менее 6 м от уровня грунта. При спуске диэлектрический подвесной ВОК, вводимый в помещение объекта связи или переход на подземный ВОК, вводят в защитную пластмассовую (металлическую) трубу, закрепленную на теле опоры с герметизацией торцов трубы с кабелем с помощью термоусаживаемой трубки.

Оптические кабели для подвески по ЛЭП изготавливает ряд российских заводов. большой опыт в производстве самонесущих ВОК для подвески по ЛЭП имеет ЗАО «Народная фирма Электропровод» (Москва), одним из первых в России начавшее выпуск ВОК. Хорошо зарекомендовали себя самонесущие диэлектрические кабели, изготавливаемые ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» (г. Самара) и «Трансвок» (г. Боровск, Калужская область) [4, 7, 19, 37, 38].

Типовая конструкция самонесущего ВОК представляет собой сердечник модульной скрутки, защищенный арамидными нитями, которые используются в качестве армирующих элементов (рис. 5.10). При этом ОВ находятся внутри трубок (модулей), выполненных из прочного полибутилентерефталата или полиамида, которые заполнены водоотталкивающим гелем. Различные компании используют, как правило, 5- или 6-элементную скрутку на центральный элемент, выполненный в виде стеклопластикового стержня. Поверх скрученных модулей накладывается полиэтиленовая оболочка типа ПЭВП или ПЭНП, в зависимости от необходимой стойкости к раздавливанию. На промежуточную оболочку накладываются арамидные нити, которые укладываются, как правило, в два слоя противоположного поворота.



Рис. 5.10. Основные типы самонесущих ВОК:
а) кабель со стеклопластиковыми жгутами; б) кабель с арамидными нитями

Прочная внешняя оболочка обеспечивает защиту ВОК от внешних воздействий.

Предусмотрены варианты оболочки с повышенной стойкостью к электрическому пробое и агрессивным средам.

Одними из важных характеристик конструктивного исполнения самонесущих кабелей являются допустимые внешние механические нагрузки, такие как ветровая, гололедная и нагрузка собственного веса. Поэтому одним из наиболее важных решений при строительстве ВОЛС является выбор ВОК соответствующей конструкции, который мог бы выдержать различные напряжения, возникающие в кабеле в процессе строительства и эксплуатации. Эти параметры кабеля могут быть определены по методике, предложенной ЗАО «Инкаб».

Скорость строительства очень высока. Можно за одну смену подвесить одну или две строительные длины кабеля.

Стоимость кабеля так же не очень велика и составляет, в среднем, для легких вариантов строительства от 2800 до 3600 \$/км.

Построив таким образом ВОЛС, необходимо задуматься сколько она простоит и что нужно делать, чтобы она стояла дольше? ВОЛС на основе самонесущего кабеля подвергается самым разнообразным воздействиям, прежде всего это атмосферные факторы – ветровые нагрузки, солнечная радиация, осадки, обледенение, механические повреждения, вызванные ремонтными работами на других проводах, или хищения кабеля. Более того, если кабель висит в электрическом поле (что происходит повсеместно), то в результате воздействия солнечной радиации на поверхности внешней влагозащитной оболочки кабеля начинают возникать микротрещины, в которых накапливается грязь, влага и начинает развиваться трекинг-процесс – протекание поверхностных токов – треков. С течением времени плотность этих токов растет и кабель постепенно начинает гореть. Особенно это проявляется в местах крепления кабеля к опорам, так как в пролете кабель не заземлен и образуется достаточно высокая плотность треков, а на опоре кабель заземлен и поверхностные токи, естественно, стекают по опоре. Единственная рекомендация, обеспечивающая снижение влияния данного фактора, это применение трекинг-эррозионностойкой влагозащитной оболочки на основе фторполимерных материалов.

В результате срок службы ВОЛС на основе самонесущих ВОК не превышает 18–20 лет.

5.4. Особенности подвески самонесущего ВОК на опоры контактной сети ЭЖД

Подвеска самонесущих волоконно-оптических кабелей связи на опоры контактной сети и высоковольтные линии автоблокировки производится с учетом требований «Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог», утвержденных МПС России.

Подвеска ВОК производится на эксплуатируемые металлические или железобетонные опоры контактной сети при условии, что несущая способность этих опор достаточна для восприятия всех действующих нагрузок от подвешиваемого ВОК, а расположение ВОК на опорах обеспечивает возможность производства работ на нем при наличии напряжения в контактной сети [39].

Подвеску ВОК на опорах контактной сети осуществляют с полевой стороны. В исключительных случаях по согласованию со службой электроснабжения железной дороги допускается подвеска ВОК с внутренней стороны опор (со стороны пути). Расстояния от нижней точки ВОК при максимальной стреле провеса до поверхности земли, а также расстояние до других проводов и частей контактной сети должны быть не менее установленных значений.

Подвеска ВОК на опорах контактной сети осуществляется на кронштейнах, расположение которых на опорах определяется проектом. Кронштейны на опорах вдоль трассы устанавливаются, как правило, на одной высоте от головки рельса. Крепление кронштейнов к железобетонным опорам производится с помощью хомутов. При использовании ВОК с металлическим сердечником или с металлической броней все кронштейны должны быть присоединены к защитной цепи заземления. При подвеске ВОК с диэлектрическим сердечником заземление не производится. Крепление кронштейнов на металлических опорах производится с помощью крюковых болтов или специальных деталей.

Работы по подвеске и монтажу ВОК могут быть начаты только при наличии утвержденного заказчиком рабочего проекта на строительство ВОЛС и разрешения службы электроснабжения железной дороги на производство работ в зоне контактной сети и высоковольтной линии автоблокировки.

Работы по протяжке ВОК могут вестись «с пути» со снятием напряжения, либо «с поля» без снятия напряжения.

При работе «с пути» со снятием напряжения используются высокопроизводительные специализированные комплексы машин, в состав которых включаются:

- автомотриса типа АГД для буксирования грузовых прицепов, питания тягово-тормозных модулей и оборудованная гидроподъемником типа АГП для работы на высоте;
- два грузовых прицепа, оборудованных тягово-тормозными модулями с поворотными устройствами, для установки барабанов с ВОК и катушек с трос-лидером.

Тягово-тормозные модули должны иметь устройства регулирования силы натяжения ВОК и автоматического их отключения при превышении силой натяжения установленной для данной марки ВОК предельной величины натяжения.

При работе «с поля» используется комплекс специальных механизмов, включающий:

- лебедку с регулируемой силой натяжения для протяжки трос-лидера и ВОК под натяжением;
- подъемно-тормозное устройство для подъема и регулирования высоты кабельного барабана;
- устройство для установки и торможения катушек с трос-лидером;

При использовании специализированного комплекса машин для работы «с пути» подвеска ВОК осуществляется в следующей последовательности.

По заранее подвешенным на кронштейны роликам протягивается трос-лидер. Для этого после занятия комплексом перегона и снятия напряжения один грузовой прицеп с катушками трос-лидера устанавливается в начале анкерного участка за 25–30 м от анкерной опоры, а второй прицеп в сцепе с автотрисой начинает медленно двигаться к первой анкерной опоре. Напротив первой анкерной опоры автотриса останавливается, монтажная люлька с двумя монтерами поднимается к кронштейну с роликом. Трос-лидер открепляется от люльки, пропускается через ролик и снова прикрепляется к люльке. В таком положении автотриса медленно передвигается к следующей опоре. На следующей опоре трос-лидер снова пропускается через ролик и движение автотрисы возобновляется. Таким образом трос-лидер протягивается по всему участку. После пропуска трос-лидера через ролик крайней анкерной опоры автотриса с находящимся впереди нее прицепом с кабельными барабанами передвигается на расстояние 25–30 м за последнюю опору и останавливается. Во время протяжки трос-лидера монтеры, управляющие тягово-тормозным устройством с катушками, подтормаживают катушки, обеспечивая раскатку трос-лидера под натяжением.

В крайнем положении трос-лидер через вертлюг, с помощью кабельного зажима «чулок» соединяется с ВОК, находящимся в барабане на грузовом прицепе. Автотриса отцепляется от прицепа с кабельным барабаном и возвращается к первому прицепу со свободными от трос-лидера катушками. От автотрисы с помощью гидропривода включаются двигатели тягового модуля и начинается медленная протяжка ВОК. При этом барабан, с которого раскатывается ВОК, притормаживается так, чтобы обеспечивались требуемые стрелы провеса ВОК в пролетах.

При работе «с поля» с использованием комплекса механизмов с боковой стороны пути за габаритом опор контактной сети в начале и конце ан-

керного участка на расстоянии 25–30 м от крайних анкерных опор выбираются горизонтальные площадки. На одной из них размещается устройство для установки и торможения катушек с трос-лидером. На противоположном конце анкерного участка на выбранной площадке устанавливается тяговая лебедка для протяжки ВОК и трос-лидера. После протяжки трос-лидера по всему анкерному участку концы его закрепляются на крайних опорах.

Для протяжки ВОК на площадке, где находилось устройство для катушек с трос-лидером, устанавливается подъемно-тормозное устройство с кабельным барабаном и далее аналогично: включается лебедка и производится протяжка ВОК по анкерному участку.

При работе с комплексом специальных механизмов скорость протяжки ВОК должна быть в пределах 1,8 км/ч. Во время протяжки ВОК при подходе зажима «чулок» к ролику и проходе его через ролик скорость протяжки снижается до минимума, практически до полной остановки. Протягивание ВОК по роликам независимо от применения машин и механизмов выполняется плавно с минимальным тяговым усилием.

После протяжки ВОК приступают к работам по его закреплению с использованием различных зажимов. Работы начинают с анкеровки ВОК на крайней от барабана опоре.

После подвески ВОК на опорах контактной сети или опорах высоковольтных линий автоблокировки выполняются специальные работы, необходимые для функционирования ВОЛС. К таким работам относятся:

- сооружение вводов ВОК в здания домов связи и постов ЭЦ;
- монтаж соединительных и разветвительных муфт, включая сварку волокон и контроль качества сварки с помощью приборов;
- крепление муфт на опорах или других устройствах с выкладкой и закреплением технологического запаса ВОК;
- контрольно-измерительные работы на смонтированных участках ВОК между регенераторами.

5.5. Навивная технология строительства ВОЛС

Навивка сравнительно легкого и недорогого ОК без армирования силовыми элементами на фазовые провода ЛЭП является одним из оригинальных и дешевых способов строительства ВОЛС.

Навивная технология строительства ВОЛС – это альтернативный способ прокладки ОК в грозозащитном тросе. Но, в отличие от прокладки ОК в грозозащитном тросе, в этом случае нет необходимости замены грозозащитного троса и вывода ЛЭП из рабочего состояния [10, 21, 22, 36].



Рис. 5.11. Реализация навивочных машин

проводу ЛЭП и одновременно вращает катушку с кабелем вокруг провода, обеспечивая балансировку и натяжение кабеля при минимальном воздействии на несущий провод. В результате кабель (рис. 5.12) спирально накручивается на провод с постоянным шагом навива.

Первоначально масса машинки с кабелем не превышала 37 кг, максимальный размах вращения катушки – 0,4 м, запас кабеля на одной катушке – 1000 м (для кабеля $d = 6,5$ мм), т. е. при использовании кассеты из двух катушек максимальная строительная длина составляет 1 км. Машинка приводится в движение с помощью буксировочного троса, вручную, с земли. Скорость движения машинки по проводу составляет порядка 0,5–1 м/с, переход через опору занимает не более 10 мин. Поднятие машинки на опору, буксировка, переходы через опору могут производиться бригадой монтажников, состоящей из 3–4 человек. Таким образом, на прокладку прямолинейного участка длиной в 1 км требуется всего около 3–5 часов.

Строительные длины навитого ВОК соединяются друг с другом с использованием подвесных сварочных муфт. Сварные соединения закрепляются в стандартной сварочной кассете, затем кассета вместе с катушкой с запасом кабеля, помещается в герметичную муфту, которая подвешивается на проводе с помощью стандартных креплений (рис. 5.13).

ОК равномерно, с помощью специальных механизмов наматывается с определенным шагом вокруг существующего грозозащитного троса или фазного провода специальной навивочной машиной (рис. 5.11, рис. 5.15). Навивочная машина может перемещаться по грозозащитному тросу как с помощью радиоуправляемого самодвижущего механизма, так и вручную, с помощью специальной лебедки. Для перехода навивной машины через опоры ЛЭП применяется специальное подъемное устройство.

Суть способа навивки заключается в следующем. Катушка с кабелем устанавливается на навивочной машинке, машинка катится

по



Рис. 5.12. Навивные волоконно-оптические кабели – ДПО, ДВО

Вес муфты с запасом кабеля и пластиной-организатором не превышает 5 кг. Соединительная муфта имеет обтекаемую форму, подобную диску, подвешенному на проводе параллельно поверхности земли, для того, чтобы не оказывать большого сопротивления ветру, и не увеличивать ветровую нагрузку на опоры. И, кроме того, в процессе эксплуатации линии все муфты находятся под высоким напряжением, что исключает несанкционированный доступ к ним или проявление вандализма. Все металлические детали муфты, имеющие контакт с атмосферой, надежно защищены атмосферостойким покрытием в соответствии с требованиями стандартов. Для защиты корпуса муфты от прострела дробью нижняя крышка выполнена из утолщенной стали.

Несмотря на то, что в конструкции кабеля применены только диэлектрические материалы, возможно стекание токов короткого замыкания по поверхности оболочки кабеля. Для перехода волоконно-оптического кабеля с высоковольтного провода на заземленные конструкции опоры в начале и конце навивного участка применяется сводной изолятор, внешний вид которого показан на рис. 5.14. По продольной оси сводной изолятор имеет канал для пропускания волоконно-оптического навивного кабеля. На концах изолятора расположены герметичные разъемы, при помощи которых ввод и вывод кабеля надежно защищены от попадания атмосферных осадков в канал изолятора. Сверху сводной изолятор крепится к проводу ВЛ, а снизу, с помощью кронштейна, – к опоре ЛЭП.



Рис. 5.13. Подвесная соединительная муфта для навивного ОК



Рис. 5.14. Сводной изолятор

Навитый на грозозащитный трос ОК способен противостоять любым воздействиям окружающей среды: гололед, ветровая нагрузка, перепады

температур, а также токи короткого замыкания на линии, удары молний, вибрацию и др. Этот метод строительства применяют на ВЛ от 35 кВ и выше (рис. 5.15).



Рис. 5.15. Подмотка волоконно-оптического кабеля к тросу грозозащиты

Для этого типа инсталляции разработаны специализированные устройства – навивочные машины. Их принцип действия состоит в следующем: один механизм (тяговый) позволяет устройству равномерно перемещаться вдоль троса, второй механизм (навивочный) при этом вращает закрепленный на машине барабан со строительной длиной кабеля вокруг троса. Волоконно-оптический кабель одновременно сматывается с барабана и навивается на трос. Перед проходом очередного пролета на опорах укрепляются специальные «рабочие лестницы», необходимые для подготовки механизмов к работе. Навивочная машина поднимается на опору и вешается на трос тяговым устройством в направлении движения. На машину устанавливается барабан с кабелем. В местах сближения с опорой кабель фиксируется специальным зажимом, препятствующим его разматыванию с троса. После этого запускаются тяговое и навивочное устройства. Осуществляется навивка строительной длины кабеля на пролете между двумя опорами. При приближении навивочной машины к следующей опоре (за 5–7 м) кабель вновь фиксируется зажимом, препятствующим его разматыванию, после чего машина демонтируется и может быть использована на очередном пролете. На самой опоре кабель фиксируется в обе стороны анкерными зажимами. Таким образом формируется проходной узел натяжения – так называемый «джампер».

Совершенствование конструкции машин для навивки волоконно-оптического кабеля позволило создать устройство, принцип функционирования которого подобен веретену. Вес такого устройства составляет не более 15 кг, а полезная нагрузка – до 180 кг, что позволяет навивать ОК на пролеты длиной до 6 км (рис. 5.16).

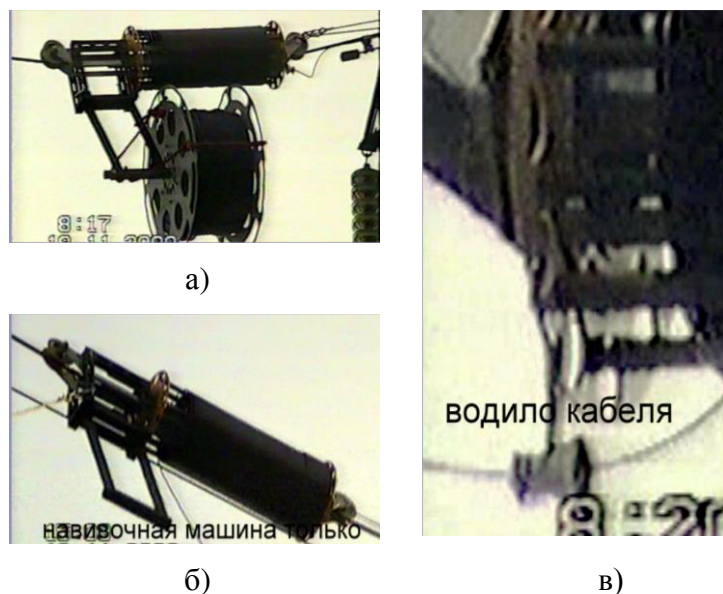


Рис. 5.16. Навивочная машина:
 а) с базовым барабаном; б) с длиной кабеля, равной длине пролета;
 в) водило кабеля – основной элемент

Это устройство использовалось для строительства навивных ВОЛС на территории Российской Федерации. Для повышения надежности ВОЛС в процессе эксплуатации было предложено следующее решение: до середины пролета кабель навивается в одну сторону, а затем – в противоположную. В середине пролета волоконно-оптический кабель крепится специальным зажимом, который в случае обрыва несущего провода или троса освобождает кабель и тем самым позволяет избежать его обрыва.

Достоинства навивной технологии неоспоримы. Прежде всего, это возможность строить ВОЛС практически в любых условиях, как пересеченной местности (горы, тундра, тайга там, где построены ЛЭП), так и различных промышленных преград (железные и автомобильные дороги, фидерные линии различного назначения, дома, огороды, овраги и проч.) без дополнительных приспособлений и помостов.

Навивка оптического кабеля на фазный провод практически исключает его обледенение, которое так же, как и вибрации на пролетах между опорами из-за ветровых нагрузок, является основной причиной обрыва воздушных проводов. Достигается это благодаря разогреванию обвитой вокруг провода влагозащитной полиэтиленовой оболочки оптического кабеля под действием электромагнитного поля ЛЭП. Кроме того, увеличение турбулентности воздушных потоков, обтекающих систему «Оптический кабель – провод ЛЭП» на 40–60 % снижает уровень вибрации.

Рассматриваемая технология обеспечивает среднюю скорость навивки ОК до 5–6 км в смену, позволяет проходить сложные и недоступные участки трассы.

Использование навивной технологии при строительстве ВОЛС позволяет несколько снизить затраты на волоконно-оптический кабель за счет снижения роли силовых элементов, поскольку основную функцию – несущего элемента – выполняет в этом случае несущий трос. Однако следует учитывать, что несущий трос должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать нагрузку барабана со строительной длиной кабеля и устройства для навивки, которые будут перемещаться по его длине в процессе инсталляции.

Существует и другое ограничение: трос должен быть предварительно подвешен не более чем за полгода до инсталляционных работ. Кроме того, данный способ подвеса предъявляет дополнительные требования к оболочке волоконно-оптического кабеля, которая должна сохранять свойства при одновременном воздействии температуры окружающей среды и повышенной температуры несущего проводника. К недостаткам этого способа относится также значительное увеличение нагрузки на опоры вследствие увеличения парусности, а также при обледенении.

Универсальных рекомендаций по выбору технологии строительства ВОЛС-ВЛ не существует. Однако можно рекомендовать применение той или другой технологии ВОЛС-ВЛ, исходя из обеспечения необходимой надежности ВОЛС и минимальных общих затрат на строительство ВОЛС по сравнению с другими видами ОК. В настоящее время при строительстве ВОЛС-ВЛ наибольшее применение находят ОКГТ (60–70 % объемов), и ОКСН (20–30 %) и несколько меньше – ОКН (10 %).

5.6. ВОК для прокладки в грунт, подвески на опорах различного типа и назначения

В качестве иллюстрации можно привести типы выпускаемых отечественными производителями волоконно-оптических кабелей и вариант их маркировки, табл. 5.1. [4, 37, 38].

Таблица 5.1

Типы ВОК для прокладки в грунт

№ п/п	ВОК для непосредственной прокладки в грунт	
1	ДПС ОВ от 2 до 16	Центральный силовой элемент – диэлектрический. Броня из стальных оцинкованных проволок
2	ДПН от 2 до 16	То же
3	ДПГ от 2 до 16	То же
4	СПС от 2 до 16	Центральный силовой элемент – стальной. Броня из стальных оцинкованных проволок

№ п/п	ВОК для непосредственной прокладки в грунт	
5	СПН от 2 до 16	Центральный силовой элемент – стальной. Броня из стальных оцинкованных проволок
6	СПГ от 2 до 16	То же
7	ТОС от 2 до 24	Предназначен для прокладки в грунтах всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям, полиэтиленовая оболочка
8	ОПС от 2 до 144	Трубчатый сердечник кабеля, однослойная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
9	ОПУ от 2 до 144	Трубчатый сердечник кабеля, однослойная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
10	ДПС от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, броня из гофрированной стальной ленты, внешняя полиэтиленовая оболочка
11	ДПУ от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, однослойная усиленная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
12	ДП2 от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, двухслойная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
ВОК для пневмопрокладки		
13	ДПЛ от 2 до 16	Диэлектрический, стальная гофрированная лента с полимерным покрытием
14	ДПО от 2 до 16	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка
15	ДПО от 2 до 144	То же
16	ДОЛ от 2 до 216	Предназначен для прокладки в кабельной канализации, блоках, трубах (включая метод пневмопрокладки) при опасности повреждения грызунами. По мостам и эстакадам. Гофрированная броня
17	ДАО от 2 до 216	В кабельной канализации, блоках, трубах (включая метод пневмопрокладки). Гофрированная броня

Таблица 5.2

Марки ВОК для воздушных способов строительства

Подвесной ВОК типа 8-ки		
18	ОПД от 2 до 64	Кабели содержат (ЦСЭ) из стеклопластика, вокруг ЦСЭ скручены оптические модули с волокнами и кордели. В качестве периферийного силового элемента использован стеклопластиковый пруток
19	ОПВ от 2 до 24	Предназначен для подвески на опорах линий связи, контактной сети железных дорог, линий электропередач
20	ОКТс от 2 до 48	Несущий элемент – стальной трос
21	ДПВ от 2 до 16	Вынесенный силовой элемент: – диэлектрический (ДПИ); – стальной (ДПВ)

Самонесущие ВОК		
22	ОКА-М6П-16А-4,0(с)	Кабель оптический самонесущий 16 волокон одномодовых 4 кН, электропровод
23	ОКА-М6П-16А-6,0(с)	Кабель оптический самонесущий 16 волокон одномодовых 6 кН, электропровод
24	ОКК от 2 до 144	Диэлектрический самонесущий с силовым элементом и броней из высокомодульных арамидных нитей (Саранскабель-Оптика)
25	ДПМ от 2 до 16	Предназначен для подвески на опорах линий электропередачи, контактной сети железных дорог, воздушных линий связи. Повив из несущих силовых элементов из диэлектрических стержней (Оптен)
26	ДПТ от 2 до 16	Предназначен для подвески на опорах линий электропередачи, контактной сети железных дорог, воздушных линий связи. Повив из силовых элементов из высокомодульных пряжей (Оптен)
27	ПЗВ_О (СИП_О)	Одновременная передача электрической энергии и оптических сигналов связи. Монтируется методом подвески на воздушных линиях электропередачи напряжением 10 кВ
Волоконно-оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос (OPGW)		
28	ОКГТ-Ц от 2 до 48	С центральной модульной трубкой. для подвески на опорах воздушных линий электропередач от 35 кВ и выше
29	ОКГТ-С от 2 до 288	Встроенный в грозозащитный трос с оптическими модулями в повиве
ВОК для навивной технологии		
30	ОКН(ГТ) до 48	Навивной на грозотрос 35–220 кВ
31	ОКН(ФТ) до 16	Навивной на фазовый провод 35–110 кВ без расщепленной фазы

Основные требования и некоторые характеристики кабелей для морской прокладки

Оптические кабели типов **ОПП** и **ОПР**.

Назначение

Для прокладки и эксплуатации на морских (прибрежных шельфовых и глубоководных) участках – до 2000 м для кабеля марки ОПП и до 5000 м для кабеля марки ОПР), а также через проливы и фьюорды. Содержат сердечник трубчатой конструкции, в случае необходимости – электрический проводник (токопроводящие жилы, для обеспечения дистанционного питания регенераторов (рис. 5.17)). Кабели могут поставляться на барабанах, строительными длинами до 25 км или иным способом.

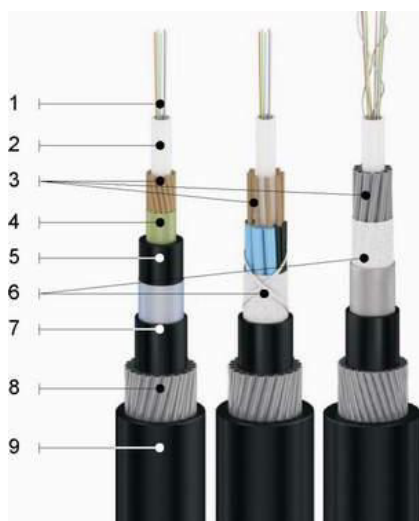


Рис. 5.17. Конструкция ВОК для морской прокладки

Характеристики кабелей

Количество оптических волокон в кабеле – до 48.

Стойкость к растягивающим усилиям кабелей:

– допустимое долговременное (NPTS) – от 25 до 250 кН в течение всего срока службы;

– при прокладке или ремонте (NOTS) – от 40 до 400 кН в течение 48 часов, с вероятностью отсутствия повреждения ОВ более 95 %;

– кратковременное (NTTS) – от 50 до 500 кН в течение 1 часа с вероятностью отсутствия повреждения ОВ более 95 %;

– растягивающее усилие при обрыве ОК или ОВ (BTS) – от 60 до 750 кН;

– стойкость к раздавливающим усилиям – 1,5 кН/см;

– стойкость к ударным воздействиям – 50 дЖ;

– допустимый радиус изгиба – от 260 до 600 мм.

Стойкость к избыточному гидростатическому давлению:

– от 2 до 25 МПа – для кабеля ОПП;

– от 2 до 50 МПа – для кабеля ОПР.

Допустимая глубина прокладки, эксплуатации и ремонтпригодности кабеля:

– до 2500 м – для кабеля ОПП;

– до 5000 м – для кабеля ОПР.

Электрическое сопротивление жил дистанционного питания – от 0,5 до 16 Ом/км.

Диаметр, масса и допустимый радиус изгиба кабеля являются справочными величинами.

Структура кабеля (рис. 5.17)

1. Оптические волокна различной окраски, сгруппированные в пучки или уложенные свободно.

2. Центральная полимерная (для кабеля марки **ОПП**) либо стальная (для кабеля марки ОПР) трубка, заполненная гидрофобным компаундом.

3. Повив изолированных либо неизолированных медных проволок – для кабеля с токопроводящей (-ми) жилой (-ми), либо повив из стальных оцинкованных проволок с временным сопротивлением разрыву не менее 1670 МПа.

4. Медная лента (при необходимости) для кабеля с токопроводящей жилой.

5. Внутренняя (промежуточная) полиэтиленовая оболочка.

6. Водоблокирующая лента.

7. Алюмополиэтиленовая либо полиэтиленовая оболочка.

8. Бронеповив (-ы) из стальных оцинкованных проволок с временным сопротивлением разрыву не менее 1670 МПа.

9. Наружная полиэтиленовая оболочка.

Свободное пространство бронепокровов заполнено гидрофобным компаундом.

Сводная таблица оптических кабелей

На территории России располагается несколько производств волоконно-оптических кабелей связи. Волоконно-оптические кабели в зависимости от области применения могут значительно отличаться. Единого классификатора оптических кабелей нет и каждый производитель использует собственную маркировку кабелей. В табл. 5.3 приведено соответствие основных типов оптических кабелей у различных производителей.

Таблица 5.3

Типы ВОК и их производители

Производитель	Для прокладки в трубах и коллекторах	С броней из гофрированной стальной ленты	С броней из круглых стальных проволок	Подвесные самонесущие	С усиленной броней
Еврокабель – I	ОТД, ОТМ, ОТЦ, ОТЦм	ОКД, ОКМ, ОКЦ	ОГД, ОГМ, ОГЦ	ОПД, ОСД	ОГД, ОГМ
Москабель-Фуджикура	ОККТМ, ОККТЦ, ОККТЦГ	ОКСТМ, ОКСТЦ	ОМЗКГМ	ОКСНМ	ОМЗКГМ
ОКС – 01	ДПО, ДАО	ДПП	ОПС, ОАС, ДПС, ДАС	ДПМ, ДПТ	ОА2, ДАУ, ДП2, ДА2
ОФС-Связьстрой – 1	ДП, СП, ДПа, СПа	ДБП	ДКП-03	ДС, ДТ	ДКП-07, ДКП-20
Самарская Оптическая Кабельная Компания	ОКЛ	ОКЛст	ОКЛК	ОКЛЖ	–
Сарансккабель-Оптика	ОКГ	ОКЛ	ОКБ	ОКК	–
Севкабель-оптик	ДПО	ДПЛ	ДПС	ДПТ	ДПУ, ДА2
Трансвок	ОКМТ	ОКЗ	ОКБ	ОКМС	ОКБу
Электропровод	ОК	ОКС	ОКБ	ОКА	–
Эликс-кабель	ДПО	ДПЛ, СПЛ	ДПС	ДПТ	ДПУ, ДА2

Маркообразование оптических кабелей – позволит правильно выбрать конструкцию и параметры оптического кабеля.

В связи с переработкой технических условий в «Севкабель-Оптика» принят новый способ маркирования оптических кабелей.

Пример

СКО_ДПС_020А/004Н_06_А08x2/04x1/Н04x1_Э2_15_.....

1	2	3	4	5	6	7	8
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Группы символов в маркировке

1. Код разработчика или изготовителя (всегда СКО).
2. Тип кабеля.
3. Количество и тип волокон в кабеле (от 2 до 288 волокон; типы E, A, H, C, D, MA, MB, MD).
4. Количество элементов сердечника (от 01 до 18).
5. Распределение волокон в модулях и пучках.
6. Обозначение и количество электрических жил в кабеле (от Э1 до Э8).
7. Длительно допустимая растягивающая нагрузка кабеля в кН.
8. Исполнение кабеля (НГ, LS, HF, FR, Д).

Типы волокон

- E – одномодовое с несмещенной дисперсией («стандартное»)
A – одномодовое с уменьшенными потерями в диапазоне длин волн 1383–1480 нм пика поглощения гидроксильных групп (ОН)
H – одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией
C – одномодовое с отрицательной смещенной ненулевой дисперсией
D – одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией и с нормированной хроматической дисперсией в диапазоне длин волн 1460–1625 нм
MA – многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 50 мкм
MB – многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 62,5 мкм
MD – многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 100 мкм

Виды исполнения кабеля

- НГ – не распространяющее горение
LS – с низким дымо- и газовыделением
HF – с пониженной коррозионной активностью продуктов дымо- и газовыделения
FR – огнестойкое
Д – дугостойкое (стойкие к медленной электрокоррозии).

5.7. Выбор технологии строительства ВОЛС-ВЛ

В процессе планирования и принятия решения по выбору технологии ВОЛС-ВЛ следует учитывать и принимать во внимание различные факторы, такие как конструкция, класс напряжения и состояние ВЛ, географические особенности региона, климат, желательное время инсталляции, вопросы связанные с последующем гарантийным обслуживанием, общая стоимость проекта и надежность системы [6, 9, 21, 39].

При выборе практической реализации ВОЛС-ВЛ приходится сталкиваться со следующими основными вопросами, касающимися исходных данных по строительству ВОЛС-ВЛ:

- будет ли ВОЛС-ВЛ строится с нуля или на основе уже существующей ВЛ электропередачи?
- если планируется использовать существующую ВЛ, то нуждается ли в замене грозотрос?

В случае, когда ВЛ только создается и необходимо проложить новый грозотрос, либо когда грозотрос нуждается в замене в ближайшие 5 лет, то наиболее рациональным и экономичным решением будет применение кабеля типа ОКГТ.

Разумеется, в случае, если грозотрос не предусмотрен на ВЛ, то лучшим решением для строящейся линии можно считать применение кабеля типа ОКСН.

Следующий вопрос – какое на ВЛ рабочее напряжение?

Для кабеля ОКСН существует рекомендуемое ограничение по типу ВЛ. Так, ОКСН не может применяться на ВЛ напряжением более 150 кВ, что обусловлено риском разрушения оболочки из-за наведенных соседними фазовыми проводами электрических зарядов и возрастающих токов. Применение технологии навивки ОК на фазных проводах ограничено напряжением примерно 175 кВ. Более высокое напряжение ВЛ может вызвать электромагнитную эрозию кабеля, хотя следует отметить, что при этом ОВ остаются неповрежденными.

Еще один вопрос – какова длина пролетов на ВЛ?

Длинные пролеты ВЛ могут ограничить применение кабеля ОКСН и даже ОКГТ, так как заложенный запас прочности может оказаться недостаточным в условиях предельных климатических нагрузок от гололеда и ветра.

Другим важным фактором при подвеске ОКСН является высота его подвеса. Расстояние от ОКСН до земли должно быть не меньше определенного минимального, что может оказаться весьма важным при сложных рельефных особенностях местности, в местах пересечения ВЛ со сложными инженерными сооружениями, такими как магистральные дороги, железные дороги и т. п., и на речных переходах.

При выборе технологии строительства ВОЛС-ВЛ также не мешает знать основные возможные причины отказов введенной в эксплуатацию ОК-ВЛ.

Существует ряд основных причин повреждения и выхода из строя ОК-ВЛ.

1. Скрытый брак при производстве ОК.
2. Некачественный монтаж.
3. Неподходящая арматура.
4. Повреждения из-за влияния электромагнитного поля.
5. Вандализм.
6. Природные явления.
7. Самопроизвольный обрыв ОВ.

Скрытый брак при производстве ОК – маловероятный случай ввиду того, что практически все производители ОК сертифицированы по системе ISO 9000, и контроль на стадии производства гораздо легче организовать, чем на более поздних стадиях. Это может произойти с любой из технологий.

Некачественный монтаж обычно вскрывается при введении ВОЛС в эксплуатацию, и в большинстве случаев может быть исправлен и устранен в сжатые сроки. Это может произойти со всеми тремя типами ОК-ВЛ.

Неподходящая арматура – это в основном проблема для ОКСН, реже для ОКГТ. Известно три механизма отказа ВОЛС по причине неподходящей арматуры:

- выскальзывание кабеля из натяжных зажимов;
- вибрация, приводящая к обрыву, из-за неправильного выбора и/или расположения крепления гасителей вибрации;
- раздавливание кабеля в зажимах (ОКГТ).

Для того, чтобы избежать этих отказов, необходимо на этапе проектирования уделять внимание совместимости арматуры и кабеля, а также следить за тем, что монтажные бригады подрядчика укомплектованы необходимым оборудованием (динамометрические ключи и проч.).

Отказы, возникающие вследствие влияния электромагнитного поля – это в основном проблема ОКСН, и только на ВЛ выше 110 кВ. Следует отметить, что многие ВОЛС на ОКСН, введенные в эксплуатацию в начале 90-х гг. вышли из строя по этой причине. Для исключения этого рекомендуется не применять ОКСН на линиях 220 кВ и выше и контролировать степень компетентности проектной организации, а методики расчета согласовывать с изготовителем кабеля.

Примерно треть всех повреждений, как правило, возникает в результате вандализма, в основном из-за стрельбы из охотничьих ружей. Наиболее уязвим здесь ОКСН, поскольку расположен ниже других кабелей. ОКН ввиду его малого диаметра повреждается существенно реже. ОКГТ практически неуязвим для дробы.

Известны также случаи повреждения кабеля в результате падения опоры из-за столкновения автомобиля с ней, но вероятность подобных случаев пренебрежимо мала. Довольно частой проблемой является воровство ОК. Вредители воруют в основном ОКГТ из-за большого содержания алюминия в нем.

ОКСН, как правило, разрубают по подозрению на содержание меди и оставляют на месте, что может быть смертельно опасно из-за индуцированных на нем токов. ОКН в данном случае «защищен лучше», поскольку из-за малого диаметра вызывает меньший интерес в этом смысле.

Во избежание описанных случаев рекомендуется учитывать при выборе технологии ВОЛС-ВЛ специфику местного населения, его душевой доход, наличие доступных пунктов по приему лома цветных металлов, близость к ВЛ жилых построек, особенно дачных участков.

Природные явления и стихийные бедствия под ВЛ, например, такие как пожар, могут повредить любой тип ОК-ВЛ. Но здесь опять ОКСН

является наиболее уязвимым. Известны случаи, когда кабель ОКГТ и кабель ОКН успешно пережили несколько пожаров вблизи и под линией.

Усталость, накапливаемая ОВ, приводит к их обрыву в ОК. Этому явлению более подвержены ОК с плотной упаковкой волокон и существенно реже остальные типы ОК. Для предотвращения подобных случаев в расчетах времени жизни ОВ при проектировании ВОЛС-ВЛ необходимо задавать требуемую вероятность обрыва ОВ.

В заключение следует отметить, что выбор технологии строительства ВОЛС-ВЛ – непростое и нелегкое дело, требующее серьезного как технического, так финансово-экономического анализа, рассчитать стоимость внедрения будущей ВОЛС-ВЛ довольно трудно.

Главный вывод состоит в том, что каждый проект ВОЛС по-своему уникален и однозначного единого подхода к решению задачи не существует.

6. МОНТАЖ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Волоконно-оптические линии связи строятся на основе отдельных строительных длин ОК. Соединение строительных длин производится в специальных оптических муфтах и включает в себя сращивание ОВ, восстановление бронепокровов и наружной оболочки. Для выполнения этих операций используются соединительные муфты [3, 7, 13, 16, 19, 36].

При сращивании ОВ необходимо, чтобы надежность стыков была не ниже, чем самих волокон. Поэтому, соединение ОВ должно обладать достаточной механической прочностью, а возможность возникновения дефектов в процессе подготовки концов ОВ и их сращивании – сведена к минимуму.

Качество соединения ОВ определяется потерями мощности оптического излучения. Величина потерь в месте стыка ОВ зависит как от параметров соединяемых волокон, так и от уровня выбранной технологии сращивания.

6.1. Разделка ВОК и требования к неразъемным соединениям ОВ

Процесс разделки ВОК и подготовки ОВ к сращиванию включает в себя операции разделки кабеля, подготовки волокон сварки и укладки их в муфте, для чего используется набор инструментов, например «НИМ-25» (рис. 6.1). В нем содержатся все нужные **стрипперы**, **тросокусы**, отвертки, бокорезы, плоскогубцы, **макетный нож** и прочий инструмент, а также помпа или пузырек для спирта, запас растворителя гидрофоба «D-Gel», нетканые безворсовые салфетки, изолента, самоклеящиеся цифры-маркеры для кабелей и модулей и прочие расходные материалы.



Рис. 6.1. Стандартизованный набор инструментов для подготовки оптического волокна

Оптические волокна, подвергающиеся сварке, имеют, как правило, защитное покрытие из различных эпоксиакрилатных лаков. Защитное покрытие снимается механическим способом. Первоначально для удаления наружного защитного покрытия использовался механический метод при помощи лезвия, толщиной 0,3 мм, но данный метод имел существенный недостаток, приводил к появлению различных микротрещин на поверхности оболочки волокна и, как следствие, уменьшение надежности соединения.

В настоящее время для снятия защитной оболочки используются специальные инструменты – стрипперы. Они наносят минимальные повреждения волокну. Поэтому надежность соединения при их использовании очень высока.



Рис. 6.2. Термостриппер S-218

Компанией «Furukawa» разработан и производится термостриппер S-218 (рис. 6.2), в котором защитное покрытие удаляется за счет термического нагрева. Устройство может использоваться для ОВ любого диаметра.

Перед свариванием ОВ выполняется скалывание, необходимое для получения чистой и ровной поверхности торцов. Кроме того, поверхность скола должна быть перпендикулярна к оси волокна с погрешностью менее одного

градуса. Для скалывания ОВ немного растягивают и изгибают, а затем прикасаются к нему алмазным резцом. При этом волокно мягко скалывается в точке касания. Все это делается при помощи специального инструмента – прецизионных скалывателей.

В настоящее время скалыватели выпускаются многими фирмами. В качестве примера на рис. 6.3 показан общий вид скалывателя модели СТ-30.

Современные прецизионные скалыватели (рис. 6.3) предназначены для высококачественного скалывания ($0,5^\circ$) одномодовых и многомодовых волокон, особенно в случаях, когда предъявляются повышенные требования к сварным соединениям, например, при монтаже магистральных линий связи.

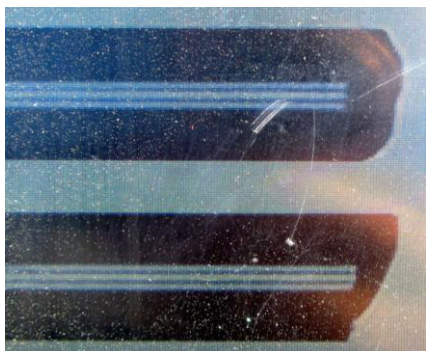


Рис. 6.4. Плохое качество скола

От работы скалывателя зависит качество торцов ОВ и потери в месте соединения (рис. 6.4).

В тех случаях, когда не требуются минимальные показатели потерь в местах стыков, например, при строительстве локальных компьютерных сетей, используют механические скальватели.

Длина очищенного от покрытий и сколотого конца ОВ составляет 8–16 мм.

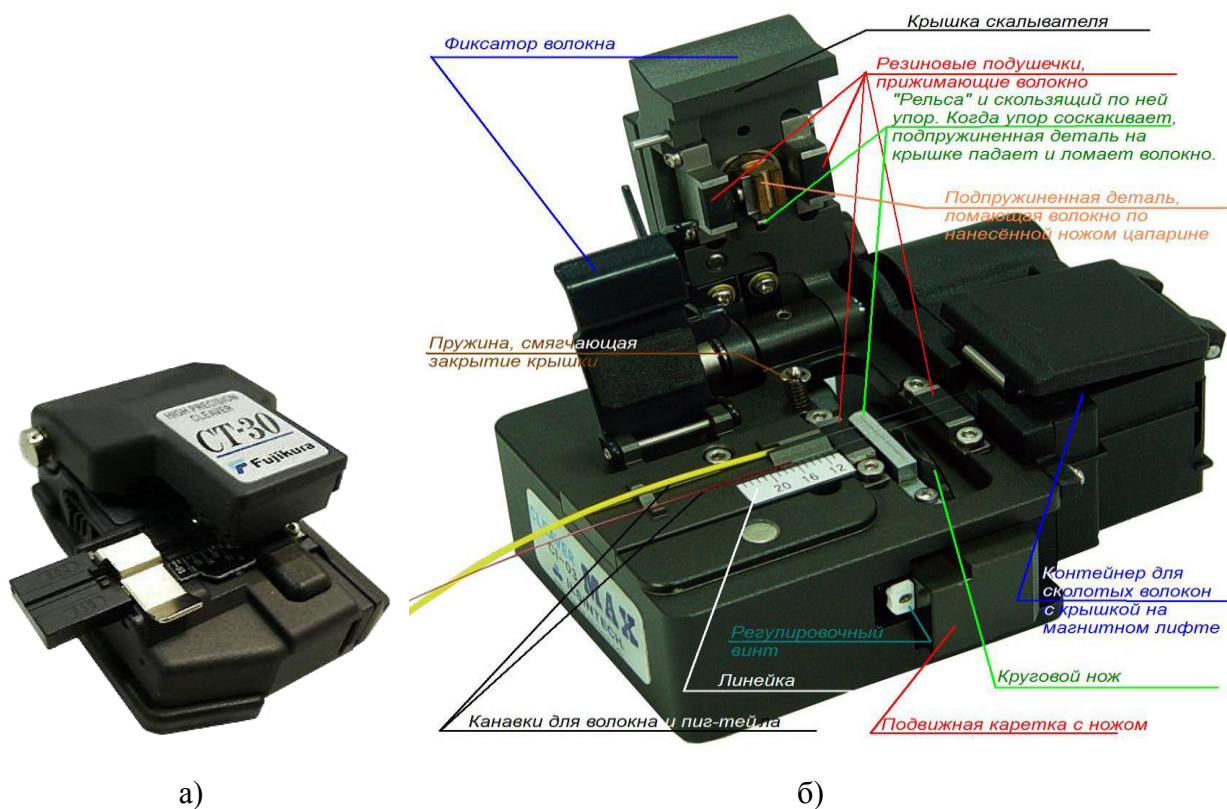


Рис. 6.3. Общее устройство скальвателя ОВ (а) и вид модели СТ-30 (б)

6.2. Сварка ОВ

Сварка ОВ при помощи электрической дуги является одним из основных методов их соединения. Это вызвано прежде всего преимуществом, которое дает сварка как метод сращивания ОВ. Сам принцип сварки обеспечивает наименьшее значение потерь и отражений сигнала в сварном соединении, а также высокую надежность соединения (рис. 6.5).

Процесс сварки ОВ в современных сварочных аппаратах представлен на рис. 6.6. Концы волокон устанавливаются друг относительно друга, каждое волокно фиксируется в подвижном V-образном блоке. Процесс юстировки контролирует угол скола и чистоту концов волокна. Концы волокон нагреваются с помощью электрической дуги между двумя точечными электродами и затем соединяются вместе, образуя единое целое.



Рис. 6.5. Юстировка и сварка оптических волокон

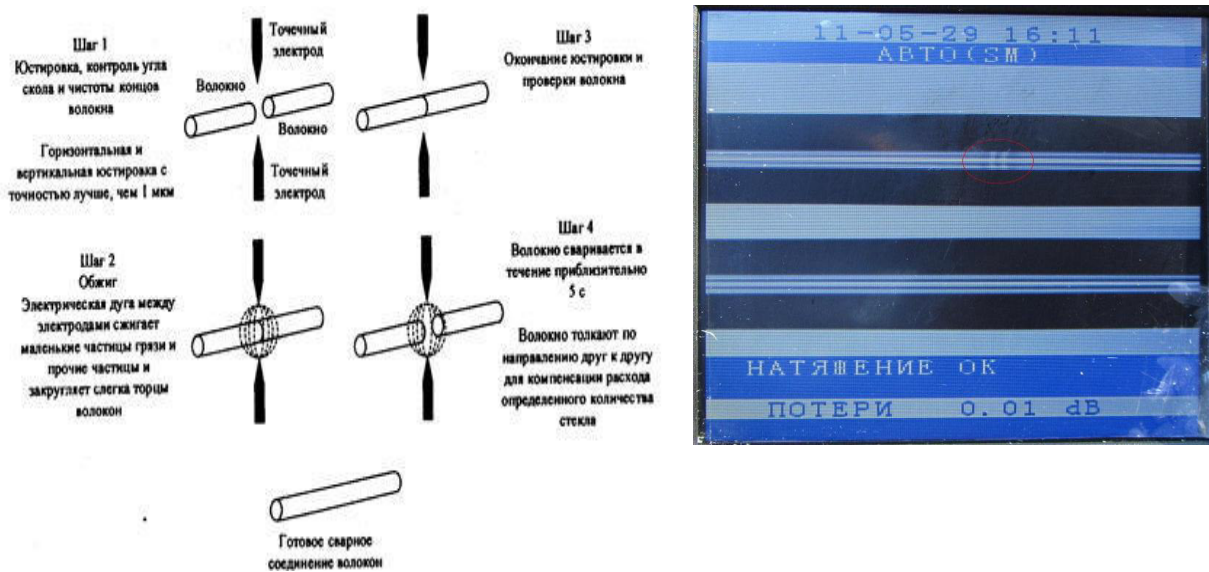


Рис. 6.6. Иллюстрация наиболее важных шагов сварного соединения и результат

В большинстве современных сварочных аппаратов процесс сварки является автоматическим. С помощью микропроцессора и электронной технологии сканирования концы волокон юстируются друг относительно друга с точностью $1/10\,000$ мм. Качество сварного соединения зависит от подготовки торцевой поверхности ОВ, обеспечиваемой устройством скалывания ОВ, и режима сварки, задаваемого оператором по одной из имеющихся в памяти сварочного аппарата программе или устанавливаемого вручную.

Сварочные аппараты с автоматической юстировкой по оболочке волокон (как правило, осуществляемой за счет установки ОВ в прецизионных V-образных канавках) могут обеспечить достаточно низкие потери при сварке как многомодовых, так и одномодовых ОВ при хороших геометрических параметрах ОВ. Недостаточная точность юстировки одномодовых ОВ такими сварочными аппаратами компенсируется выравниванием ОВ в процессе сварки силами поверхностного натяжения. Поэтому такие сварочные аппараты могут быть использованы при измерениях ОК с одномодовыми ОВ в процессе входного контроля, при аварийно-восстановительных работах и т. д.

Сварочные аппараты с автоматической юстировкой ОВ по сердцевине обеспечивают минимизацию вносимых потерь в соединениях одномодовых ОВ. Такие аппараты, обеспечивающие автоматическую юстировку с ОВ с коррекцией эксцентриситета ОВ, оснащены микропроцессорным управлением весьма высокого интеллектуального уровня, позволяющим анализировать результаты оптических измерений, структуру ОВ, моделировать процесс сварки с установкой необходимых параметров с учетом типа свариваемого ОВ.

Сварочные аппараты для оптических волокон оборудуются различными системами управления процессом соединения: PAS – система Profile Alignment System – система юстировки по профилю волокна, LID (Local light Injection and Detection) – локальный ввод излучения и его обнаружения, CDS – система детектирования сердцевины. Некоторые модели сварочных аппаратов могут насчитывать до трех различных систем.

На российском рынке широко представлены автоматические сварочные аппараты различных фирм-производителей. Наибольшее применение при строительстве новых и эксплуатации действующих ВОЛС нашли различные модификации сварочных аппаратов фирмы «Fujikura». Общий вид сварочных аппаратов Fujikura FSM-50S и FSM-17S представлен на рис. 6.7.



Рис. 6.7. Сварочные аппараты компании Fujikura

Полностью автоматический сварочный аппарат Fujikura FSM-50S обладает высоким быстродействием и точностью определения потерь в сварном соединении. Позволяет проводить сварку всех типов оптических волокон в полевых условиях.

Компактный сварочный аппарат среднего класса Fujikura FSM-17S предназначен для монтажных работ на оптических линиях связи. Малые габариты и масса, наличие емкой аккумуляторной батареи, позволяют эффективно использовать Fujikura FSM-17S в полевых условиях.

Известны также сварочные аппараты японской фирмы «Sumitoma», германской фирмы «Siemens», шведской фирмы «Ericsson» и др.

Сварочные аппараты указанных фирм осуществляют автоматическую юстировку волокон и автоматическую их сварку в течение нескольких секунд, а также обеспечивают хранение в памяти большого количества данных по сварке и проверку мест сварки ОВ на разрыв.

Существуют специальные сварочные аппараты для групповой сварки ленточных (ribbon) волокон. В России их почти нет, как нет и соответствующих кабелей, и прочего оборудования (соответствующие скалыватели, термострипперы). Кабель такого стандарта внутри в сечении прямоугольный, и в нем лежат ленты, составленные из нескольких (обычно до 12) волокон (рис. 6.8).

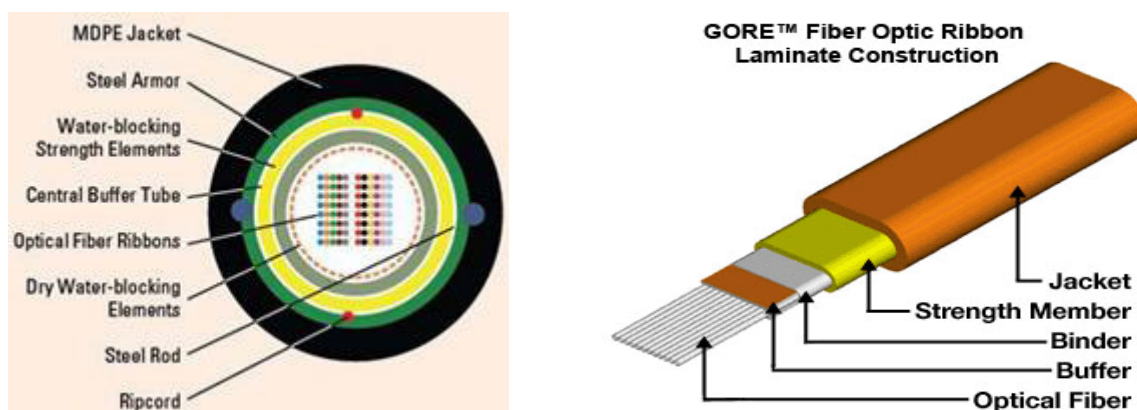


Рис. 6.8. Ленточные кабели

Такой сварочный аппарат варит сразу всю ленту, сильно экономя время (рис. 6.9). Долгое время «Fujikura» в России делала вид, что этих аппаратов вообще не существует.

Сварные соединения ОВ защищают от внешних воздействий преимущественно термоусаживаемыми защитными гильзами.

Термоусаживаемая защитная гильза представляет собой отрезок термоусаживаемой трубки, внутри которой размещены трубка из сополимерного клея-расплава и упрочняющих стержней в виде отрезков проволоки из нержавеющей стали (рис. 6.10).

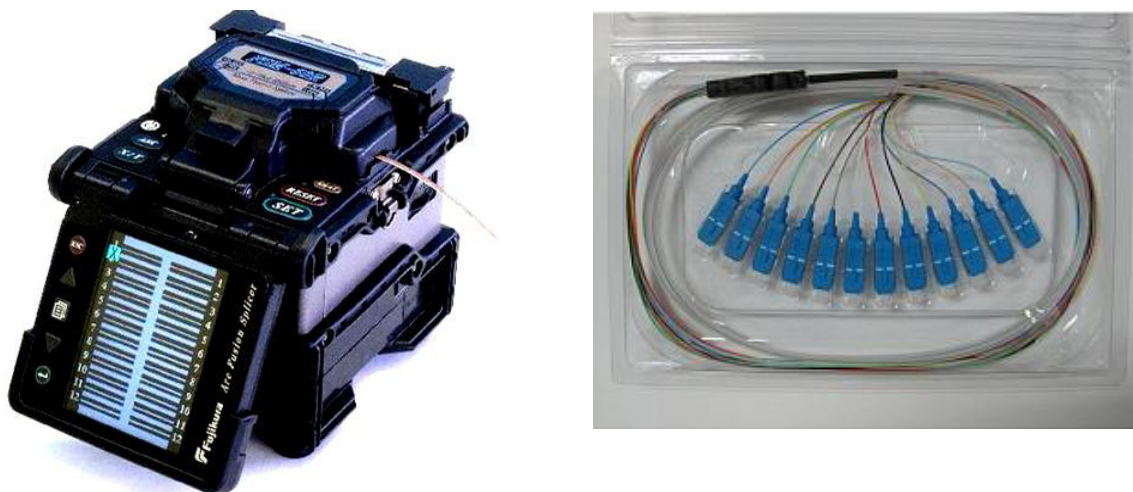


Рис. 6.9. Одна сварка и кросс на 12 портов сваренный Fujikura FSM-60R



Рис. 6.10. Типоразмеры КДЗС

Перед сваркой волокон гильзу надевают на один из сращиваемых концов ОВ. После сварки ее надвигают на место соединения и нагревают. В процессе нагрева и усаживания трубки сополимерный клей расплавляется и уплотняется вокруг ОВ. Несущий металлический элемент надежно защищает ОВ от изгиба внутри термоусаживаемой трубки.

6.3. Механическое соединение волокон

При необходимости быстрого соединения оптических волокон на любом ОК используют механические соединители (табл. 6.1). Механические соединители могут использоваться для соединения как многомодовых, так и одномодовых ОВ.

Механические соединители ОВ обеспечивают юстировку ОВ по оболочке, основанную, как правило, на наличии в конструкции механического соединителя прецизионных V-образных канавок, прецизионной капиллярной трубки или же на обеспечении фиксации ОВ между тремя прецизионными стержнями.

Механические соединители ОВ

Тип соединителя изготовитель	Нормируемое количество соединений	Вносимые потери, дБ	Величина обратного отражения, дБ	Диапазон рабочих температур, °С	Габаритные размеры, мм	Масса, г
СМУ-1 ЦНИИС, Россия	≤100	≤0,1	-50	-45...+120	Ø4,0 L = 65	0,9
Fibrlok 11-2529 3М, США	1	≤0,1	-45	-45...+80	38 × 3,8 × 6,4	1,25
CSL Light splice AT&T, США (рис. 5.6)	1	≤0,2	-50	-45...+85	37,8 × 5 × 5,7	1,0
Corelink AMP, США	≤10	≤0,1	-55	-45...+80	51 × 7,7 × 3,3	1,5
CamSplice Corning/RXS, США	1	≤0,1	-45	-45...+80	Ø4,2 L = 44	1,5

Наиболее известны механические сростки типа Fibrlock фирмы 3М и Corelink фирмы «AMP» (США), которые обеспечивают потери в местах соединения не более 0,1 дБ (рис. 6.11).



Рис. 6.11. Fibrlock фирмы 3М

Снижение вносимых оптических потерь из-за воздушного зазора на стыке ОВ в механическом соединителе обеспечивается за счет ввода иммерсионного геля, имеющего коэффициент преломления, согласованный с коэффициентом преломления материалов ОВ.

В связи с ухудшением со временем характеристик за счет деградации иммерсионного геля, а также температурной зависимости потерь, механические соединители применяются, в основном, при проведении аварийно-восстановительных работ, а также для временных подключений к волокнам ОК при проведении измерений.

Существуют и другие стандарты. Например – Corelink. Принцип его работы похож на Fibrlok, он открывается ключиком (рис. 6.12).

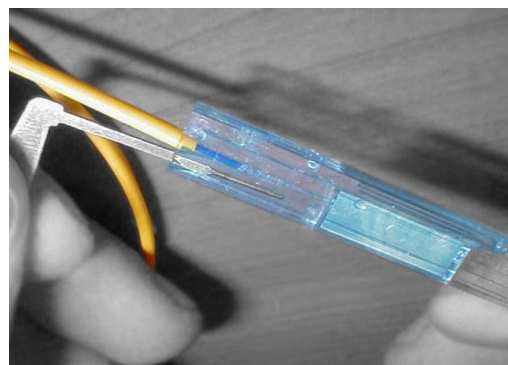


Рис. 6.12. Corelink

Механический соединитель оптических волокон ACA ULTRAsplice (рис. 6.13).

Технические характеристики:

- максимальные вносимые потери: 0,2 дБ
- средние вносимые потери: 0,07 дБ
- обратные потери: –50 дБ
- время установки: 30...45 сек
- габаритные размеры: 5,7x40 мм
- масса: 1,25 г
- температура эксплуатации: –40...+80°С

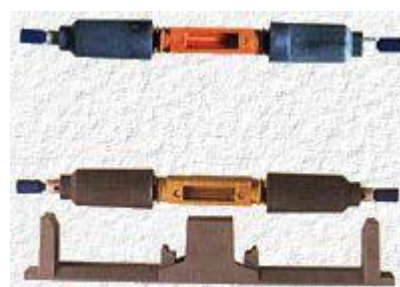


Рис. 6.13. Механический соединитель ULTRAsplice

Механические сплайсы (производства компании «АСА», США) предназначены для быстрой стыковки многомодового или одномодового волокна диаметром 125 мкм в покрытии диаметром до 0,9 мм. Механические сплайсы позволяют производить не менее 5 перестыковок. Применение сплайсов может быть альтернативой сварке волокон.

6.4. Муфты для монтажа ОК и их особенности

После того, как выполнена сварка ОВ, строительные длины соединяют при помощи соединительных (кабельных) муфт разнообразных конструкций, определяемых назначением ВОЛС и конструкцией кабеля.

Основные требования к конструкциям соединительных муфт изложены в Рекомендациях МСЭ-Т. Дополнительно необходимо учитывать условия их работы (в колодцах кабельной канализации, непосредственно в грунте, на опоре, под водой или в помещении), которые определяют особенности монтажа и последующей эксплуатации.

Размеры и конструкция муфт должны быть такими, чтобы ОВ были защищены от действия окружающей среды, а внутри муфт имелось достаточно места для размещения сварных соединений и запаса ОВ с необходимым радиусом изгиба, а также предусмотрены детали для закрепления наружной оболочки и бронепокровов ОК.

В конструкции муфты предусматриваются кассеты, предназначенные для размещения и фиксации сварных соединений ОВ. Для размещения резервных ОВ устанавливают дополнительные кассеты. Узлы заделки бронепокровов защищают от проникновения воды под броней.

Многообразие условий их прокладки и эксплуатации соответствует такое же многообразие видов оптических муфт и комплектов для их монтажа, установки и защиты.

Конструктивно муфты отличаются способом герметизации, а также видом соединения строительных длин (проходная или тупиковая).

Холодный способ герметизации наружных частей муфт осуществляется с помощью:

- болтов;
- хомутов;
- защелок;
- герметиков.

Горячий способ герметизации наружных частей муфт предусматривает применение нагрева (огнем или горячим воздухом) термоусаживаемых материалов.

Что касается деления муфт по типу соединения строительных длин, то различают:

- проходные муфты, в которых ОК вводятся с двух сторон;
- тупиковые муфты, в которые ОК вводятся с одной стороны.

Однако следует учитывать, что конструкции многих проходных муфт позволяют использовать их и как тупиковые, осуществляя ввод ОК только с одной стороны. В этом случае отверстие с другой стороны муфты закрывают специальными заглушками.

Муфты тупикового типа обладают рядом преимуществ перед проходными муфтами, например, при их установке в грунт не возникают изгибающие и осевые напряжения, в тупиковых муфтах проще производить соединение элементов муфты и ремонтные работы. Тем не менее встречаются условия, где применение тупиковых муфт связано с дополнительными затратами, например, в колодцах кабельной канализации. Поэтому в настоящее время применяются оба этих типа муфт.

Муфты по сращиваемому кабелю и месту эксплуатации можно разделить на следующие типы:

- городские муфты;
- магистральные муфты (с встроенными контактными элементами для сращивания и изолирования брони кабеля);
- универсальные муфты (с комплектами для ввода ОК, которые подбираются по конструкции кабелей);

– магистральные муфты для ОК, встроенных в грозозащитные тросы ЛЭП.

Далее представлены различные конструкции муфт для оптического кабеля, разработанные и выпускаемые компанией «Связьстройдеталь».

Муфты оптические городские типа МОГ

Оптические муфты МОГ-М, МОГу-М, МОГт-М, МТОК 96/48, МТОК 96Т и другие обеспечивают возможность укладки их на консолях и специальных кронштейнах в типовых колодцах, коллекторах и помещениях ввода кабелей на АТС (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Технические характеристики муфт типа МОГ

Наименование	МОГ-М-01-IV	МОГу-М-01-IV	МОГт-М-01-IV
Тип муфты	Проходная или тупиковая		тупиковая
Максимальное число соединяемых ОВ, шт.	96	64	96
Максимальное число вводимых ОК, шт.	6		3
Диаметр соединяемых ОК, мм	6–21		
Температура эксплуатации, °С	От –60 до +70		
Относительная влажность (среднегодовое значение), %	80		
Усилие сдавливания, кН/см (кгс/см)	1,0 (100)		
Удар, Н·м (кг·м)	25 (2,5)		
Габаритные размеры: диаметр, мм; длина, мм	90, 1090	90, 784	90, 670
Масса, кг	2,12	1,67	1,52

Муфты типа МОГ-М представляют собой модернизированные муфты серии МОГ. Основой муфт типа МОГ-М является лоток из нержавеющей стали, в середине его установлена и закреплена одна кассета с крышкой. Лоток оснащен узлами крепления для центральных силовых элементов вводимых ОК (рис. 6.14).



Рис. 6.14. Конструкция муфты МОГ-М

Муфта МОГ-М-01-І устанавливается в типовых колодцах кабельной канализации и в городских коллекторах на консолях. При этом бухты запаса оптического кабеля диаметром 400–700 мм размещают в промежутке между стенкой колодца и кабелями, лежащими на первых местах консолей.

Муфты оптические для магистральных кабелей

Оптические муфты типа МТОК 96-01-TV и другие, предназначенные для размещения в котлованах (рис. 6.15), обеспечивают:

- возможность электрического соединения экранов или металлических силовых элементов сращиваемых ОК конструктивными элементами сечения не менее 2,5 мм²;
- возможность выводов проводов от металлических элементов конструкции ОК, отдельно для каждого ОК, для подключения к внешнему заземлению.



Рис. 6.15. Оптическая муфта типа МТОК

Оптические муфты для ОК, подвешиваемых на опорах ЛЭП, городского хозяйства и контактных сетей электрифицированного транспорта, обеспечивают возможность их подвески на опорах, а также подвески технологических запасов сращиваемых ОК. При необходимости муфты оснащаются защитными кожухами. При монтаже самонесущих ОК используются муфты типа МТОК, а при монтаже кабелей ОКГТ – муфты типа МОПГ.

Муфты МТОК 96-01-IV, МТОК 96В-01-IV, МТОКВ1-01-IV имеют одинаковые оголовники, контактные элементы, кронштейны и кассеты. Отличаются они только комплектами ввода ОК.

Муфта МТОК 96-01-IV предназначена для монтажа оптических кабелей, прокладываемых в грунте. Для ввода ОК используются комплекты, которые обеспечивают надежную фиксацию проволочной брони оптических кабелей и продольную герметизацию вводов кабелей в муфту «холодным» способом. Муфта позволяет разместить до трех кассет на 96 сростках ОВ (рис. 6.15).

Универсальные оптические муфты МТОК предназначены для прямого и разветвительного сращивания всех видов оптических кабелей с любыми видами брони и силовых элементов. Универсальность муфт заключается в том, что они могут использоваться и как магистральные, и как городские муфты.

При приеме проложенного кабеля в монтаж необходимо проверить длину технологических запасов, оставленных для монтажа муфт. Длины запасов ОК должны обеспечивать возможность их подачи в зону, удобную для организации рабочего места монтажников, например, в монтажную машину или на рабочий стол, установленный возле оконечного устройства.

Монтаж оптических муфт на кабелях сетей связи, как правило, производят в специально оборудованной монтажной машине ЛИОК на базе автомобиля повышенной проходимости с кузовом микроавтобуса или КУНГ (рис. 6.16).



Рис. 6.16. Передвижная лаборатория для монтажа ВОК (ЛИОК)

Концы сращиваемых ОК при любом месте размещения муфты подают к организованному рабочему месту (в монтажную машину, в палатку и т. п.), разделяют и выполняют монтаж в соответствии с руководством по монтажу муфты данного типа. Монтажу подлежат только те ОК, у которых после прокладки все проверяемые характеристики соответствуют паспортным данным и установленным нормам.

В процессе монтажа муфт должны производиться контрольные измерения затухания сварных соединений волокон с одного из концов линии. Для этого между измерителем, производящим измерения, и монтажниками, выполняющими сварку оптических волокон ОК, должна быть налажена устойчивая связь.

Затухание сварных соединений оптических волокон контролируется измерителем после сварки, после выкладки запасов волокон на кассетах и после укладки муфты и запасов ОК на место в колодце, котловане, на опоре. Если затухание при укладке увеличилось, необходимо устранить причину этого явления.

С целью дополнительной защиты муфт типа МТОК, размещаемых в котлованах, на дне рек, озер и болот, применяется чугунная защитная муфта (МЧЗ).

Пластмассовая защитная муфта (МПЗ) предназначена для тех же целей, что и чугунная защитная муфта (МЧЗ), но имеет ряд преимуществ. Во-первых, масса пластмассовой муфты гораздо меньше, что облегчает непосредственное ее применение и транспортировку. Во-вторых стоимость пластмассовой муфты ниже чугунной.

Муфта МПЗ изготавливается из высокопрочной пластмассы, стойкой к ударным нагрузкам при низких температурах, благодаря чему в большинстве случаев она может применяться взамен чугунной защитной муфты. При этом обеспечивается высокая эксплуатационная надежность и стойкость к климатическим факторам и ударным нагрузкам. Температура эксплуатации муфты МПЗ от -60 до $+70$ °С.

Размещение муфт, смонтированных на оптических кабелях сетей связи

Смонтированные оптические муфты МОГ-М в типовых колодцах и коллекторах с расстоянием между кронштейнами 800 и 900 мм должны быть уложены на консоли (рис. 6.17). Запасы линейных кабелей по обеим сторонам муфт МОГ-М должны быть смотаны в бухты диаметром 400–700 мм.

Муфты типа МТОК в колодцах и коллекторах должны быть установлены на кронштейны для установки тупиковых муфт в колодцах.

Муфты типа МТОК, смонтированные на кабелях, проложенных в грунте, должны размещаться в ПЭ колодцах, предназначенных в основном для строительства магистральных и внутризоновых ВОЛС (рис. 6.18). Бухты запасов оптических кабелей в котлованах следует выкладывать одной или двумя бухтами в зависимости от конструкции ОК и допустимых радиусов изгиба.



Рис. 6.17. Внутренний вид кабельного колодца



Рис. 6.18. ПЭ колодец для размещения муфты и технологического запаса ВОК

На опорах контактных сетей электрифицированного транспорта, на опорах электроосвещения, на опорах ЛЭП муфты и запасы ОК должны размещаться в специальных шкафах, которые закрепляют на опорах.

В шкафу размещают одновременно и муфты и запасы кабелей, сращиваемых в муфте.

Организация рабочего места для монтажа оптических муфт

Допускается производство монтажа оптических муфт в колодцах, городских коллекторах, помещениях ввода кабелей на АТС, в палатках, установленных около колодцев, котлованов или опор. Рабочие места, подготовленные в перечисленных выше условиях, должны быть сухими, должны иметь достаточное освещение и вентиляцию и обеспечивать размещение рабочего стола для сварочного устройства и мест для двух монтажников. Температура окружающего воздуха на рабочем месте должна быть такой, при которой возможна нормальная работа оборудования и приборов.

Монтаж и контрольные измерения в процессе монтажа муфт должна производить группа, состоящая из инженера-измерителя, двух монтажников и водителя монтажной машины.

Перед монтажом муфт сращиваемые строительные длины ОК, проложенные в канализации, в грунте, или подвешенные на опорах, должны быть проверены на соответствие оптических характеристик волокон паспортным данным. На бронированных ОК, проложенных в грунте, сопротивление изоляции наружных оболочек проверяется на соответствие установленным нормам.

Концы сращиваемых ОК при любом месте размещения муфты подают к организованному рабочему месту (в монтажную машину, в палатку и т. п.), разделяют и выполняют монтаж в соответствии с руководством по монтажу муфты данного типа. Допускается выполнение разделки кабеля и подготовки комплектов для ввода ОК в муфты на открытом воздухе. Смонтированные комплекты для ввода ОК вводят в муфты, закрепляют и после этого готовые к монтажу муфты подают в монтажную машину или палатку.

В процессе монтажа муфт должны производиться контрольные измерения затухания сварных соединений волокон с одного из концов линии. Для этого между измерителем, производящим измерения, и монтажниками, выполняющими сварку оптических волокон ОК, должна быть налажена устойчивая связь.

Затухание сварных соединений оптических волокон контролируется измерителем после сварки, после выкладки запасов волокон на кассетах и после укладки муфты и запасов ОК на место в колодце, котловане, на опоре. Если затухание при укладке увеличилось, необходимо устранить причину этого явления.

Монтаж оптических муфт должен производиться в строгом соответствии с указаниями инструкций (руководств, технологических карт) по их монтажу.

Размещение муфт, смонтированных на оптических кабелях сетей связи, технологического запаса ВОК, приведено на схеме рис. 6.19.

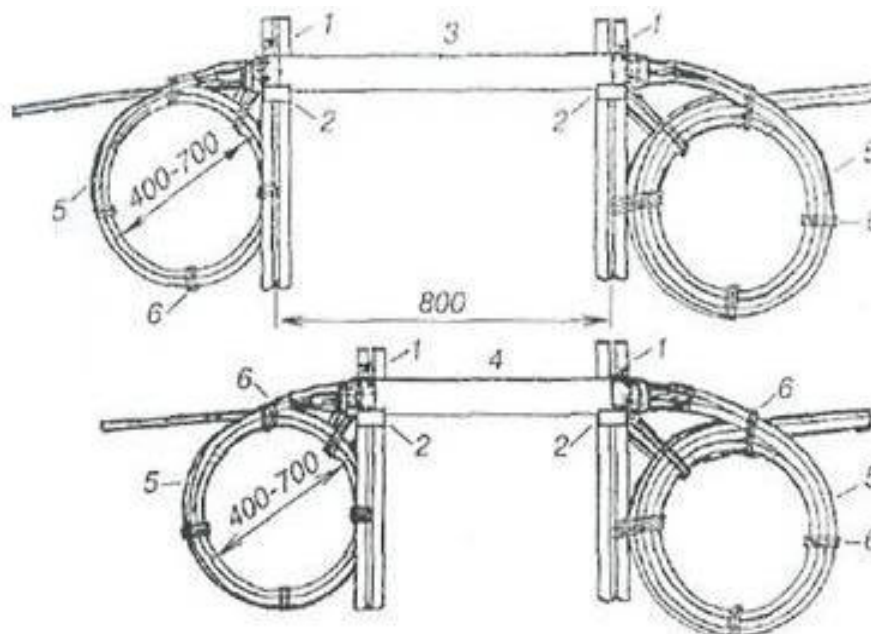


Рис. 6.19. Схема размещения муфт типа МОГ в кабельном колодце

6.5. Приемо-сдаточные испытания

Сдача в эксплуатацию линейных сооружений и объектов ВОЛС организуется и проводится в соответствии с официально утвержденными положениями и руководствами по приемке [11, 14, 16, 18, 19, 28, 33, 39]. Специальным комиссиям, в состав которых входят представители заказчика и производителя работ, представляется для проверки вся исполнительная документация и сама ВОЛС.

В состав исполнительной документации входят:

- паспорт ВОЛС;
- проектная документация на строительство, полученная от заказчика и откорректированная в соответствии с реально выполненными работами;
- протоколы измерений на участках ВОЛС.

В паспорте ВОЛС для линейных сооружений содержится карта сети, на которой показаны трассы прокладки ОК и расположения всех строительных объектов и построек. Существенной особенностью этого документа (особенно в отсутствие в ОК металлических проводников) являются повышенные требования к точности карты.

Если в электрических кабельных линиях трасса прохождения кабеля определяется с помощью кабелеискателей, то в ОК без металлических проводников подобный метод отыскания трассы неприемлем. Поэтому трассы прохождения ОК и данные о расстояниях до реперных точек (замерные столбики, ориентиры на местности и т. д.) должны быть указаны на карте с точностью до 0,3–0,4 м.

Оптические кабели на карте нумеруются, а их типы, длины и конечные пункты сводятся в таблицы.

Протоколы измерений на участках ВОЛС должны содержать следующую информацию:

- общее затухание трассы и участков;
- количество неразъемных (сварных) соединений ОВ и вносимые потери в них;
- длина волны измерения;
- тип и модель измерительной аппаратуры.

При приемке в эксплуатацию линейных сооружений ВОЛС проверяют соответствие выполненных строительно-монтажных работ проектной документации, стандартам, строительным нормам и правилам проведения работ. Производят визуальный осмотр трассы, внешнего состояния проложенного или подвешенного ОК, правильности установки и монтажа соединительных муфт и устройств ввода ОК в технические помещения. Выполняется измерение оптических потерь каждого регенерационного участка с помощью сертифицированного оптического рефлектометра и оптического тестера в прямом и обратном направлениях. При этом измерение полного затухания участков ВОЛС производится методом вносимых потерь. Нормы и объемы обязательных измерений определяются техническими требованиями и зависят от конструкции ОК и назначения ВОЛС.

Для измерений в полевых условиях используются специально оборудованные передвижные лаборатории.

После проведения приемосдаточных испытаний сеть или линия сдается в эксплуатацию на весь срок ее службы. При расширении или любых изменениях сети в паспорте ВОЛС должны быть произведены соответствующие коррективы.

7. ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛС

Для объективной оценки качества строительных работ и успешной последующей эксплуатации ВОЛС необходимо предусматривать задачи реализации измерения параметров ВОЛС [5, 7, 11, 14, 28]. Строительные и обслуживающие организации должны располагать современным измерительным оборудованием, позволяющим проводить измерения с достоверными результатами.

У ОВ и ВОК существует множество параметров, которые можно разделить по группам:

- характеристики передачи и оптические характеристики;
- геометрические характеристики;
- механические характеристики;
- климатические и эксплуатационные характеристики.

Большая часть этих характеристик измеряется при разработке конструкции ВС и ВОК, при заводских испытаниях. Кроме того, следует разделять задачи измерений в процессе строительства и последующей эксплуатации.

Измерения в процессе строительства.

- входной контроль;
- оценка качества строительных работ с целью доведения параметров до установленных нормативов;
- приемно-сдаточные испытания.

7.1. Входной контроль

Входной контроль производится перед проведением строительных, монтажных и ремонтно-восстановительных работ, связанных с заменой кабеля и прочих компонентов ВОЛС. Прежде всего необходимо знать, что отображается на рефлектограмме (рис. 7.1). На рис. 7.1 не отражено как выглядит рефлектограмма при соединении волокон с разными дисперсионными характеристиками.

В ходе этих измерений контролируется качество строительных длин кабеля и других компонентов. Измерения проводятся, как правило, на строительной площадке после доставки кабеля, и результаты сравниваются с паспортными данными на строительную длину, полученными от завода-изготовителя кабельной продукции (рис. 7.2).

Измерения, как правило, проводятся рефлектометром того или иного типа (OTDR). При входном контроле проверяют затухание строительной

длины, по нему рассчитывают суммарный коэффициент затухания ВОЛС с учетом средних потерь в сварках различных строительных длин между собой, и для паспортизации регистрируют рефлектограммы всех ОВ строительной длины.



Рис. 7.1. События, которые отображаются на рефлектограмме

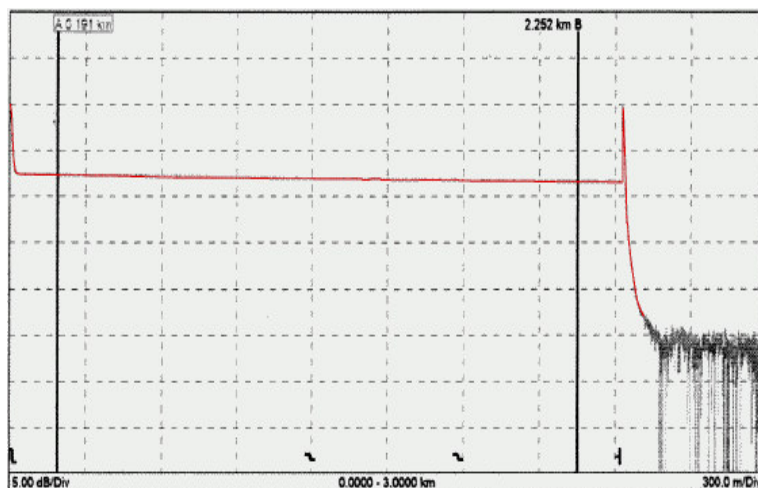


Рис. 7.2. Типичная рефлектограмма ОВ строительной длины после входного контроля

Необходимо отметить, что результаты измерения затухания строительной длины, размещенной на барабане (входной контроль), как правило, больше, чем при развернутой (до 10 %), и ее увеличение после прокладки свидетельствует о нарушении технологии строительства ВОЛС.

7.2. Оценка качества строительных работ

После прокладки строительных длин ВОК осуществляется их контроль и производится сравнение с данными входного контроля. В случае существенного увеличения затухания (более 20 % относительно исходных или расчетных значений) в развернутой строительной длине с помощью рефлектометра определяется место повреждения ОК и рассматриваются варианты устранения повреждения (рис. 7.3). Основной метод монтажа – это сварка оптических волокон.



Рис. 7.3. Вариант рефлектограммы на экране

Контролируются результаты работ:

- по качеству герметизации муфты;
- потерям в месте сварки (соединения) ОВ строительных длин, и производится их сравнение с требованиями нормативных документов.

Важнейшим процессом при строительстве ВОЛС и сдаче ее в эксплуатацию являются измерения оптоволоконного кабеля в процессе монтажа.

В настоящее время выработаны некоторые требования к затуханиям на стыках (неразъемных соединениях). Вот, например, выдержка из РД РБ 02140.17-2003 (табл. 7.1).

Вообще говоря, следует напомнить, что нормы на затухание стыков на протяжении 10 лет менялись, как бы следуя за возможностями сварочных аппаратов. Сейчас все профессионалы приобрели аппараты от «Fujikura», «Ericsson» и тому подобные с автоматической сваркой, и требования к стыкам оптоволоконного кабеля возросли. Сейчас уже никто не удивляется стыкам, не различимым на рефлектограмме, т. е. 0,03–0,05 дБ. На рис. 7.4 рефлектограмма ВОЛС протяженностью около 100 км, где стыки практически не различимы.

Таблица 7.1

Допустимые потери в неразъемных (сварных) соединениях ОВ

Длина волны λ , мкм	Потери анс, дБ, не более, в %-тах неразъемных соединений	
	100	50
	Для магистральных и внутризоновых сетей	
1,3	0,2	0,1
1,55	0,1*	0,05
	Для местных сетей	
1,3	0,3	
1,55	0,2	

*В исключительных случаях допускается максимальное значение потерь на стыке не более 0,15 дБ, если меньшее значение не достигнуто после 3 повторений сварки. При этом в монтируемой муфте на кассете должен оставаться запас оптического волокна не менее 3 витков.

Значение потерь для каждого неразъемного соединения определяется как среднее арифметическое результатов измерения оптическим рефлектометром с двух сторон ЭКУ.

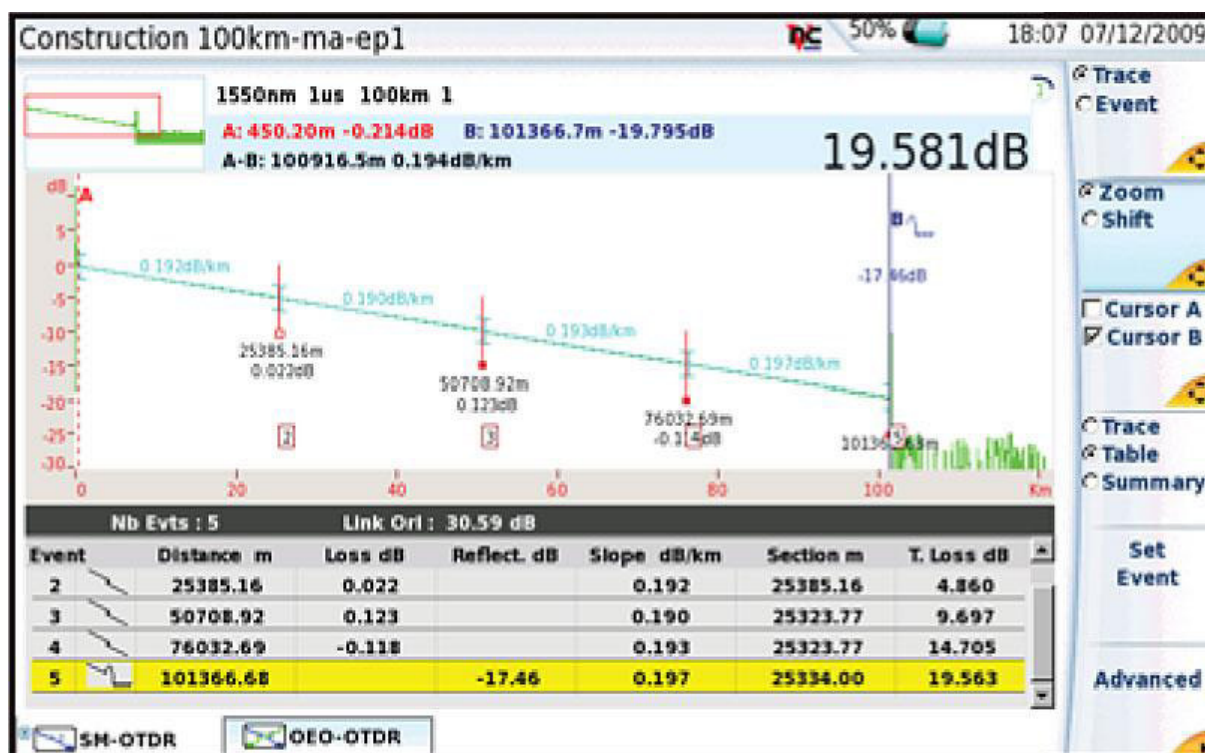


Рис. 7.4. Рефлектограмма ВОЛС протяженностью около 100 км

Начинают процесс соединения проложенных оптических кабелей с окончного устройства, т. е. с оптического шнура. Первой проблемой для контроля стыка является так называемая мертвая зона рефлектометра. Связана она с особенностью работы прибора и зависит от длительности зондирующего импульса. На рефлектограмме она выглядит всплеском, следующим за зондирующим импульсом. Как правило, ширина импульса

растягивается на десятки метров (на рис. 7.5 зона 48,3 м, обведена красным) и делает невозможным контроль первого стыка. Нормализующая длина 0,8–1,0 км в стандартном исполнении (рис. 7.6) должна быть в наличии при любых измерениях оптическим рефлектометром, что позволит увидеть первое место соединения.



Рис. 7.5. Рефлектограмма на первом стыке



Рис. 7.6. Вариант исполнения нормализующей длины

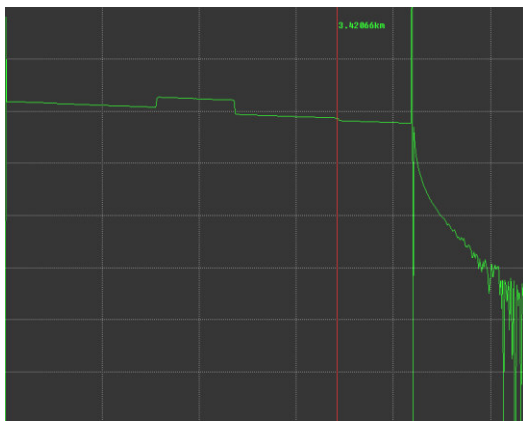


Рис. 7.7. Рефлектограмма при сварке ОВ с разными диаметрами модовых полей

Важным моментом является тот факт, что волокно, находящееся за стыком отражает свет более интенсивно, чем волокно перед соединением или когда соединенные волокна с разными диаметрами модовых полей и разными дисперсионными характеристиками, а рефлектометр фиксирует это подъемом на рефлектограмме (рис. 7.7).

Подобные стыки часто возникают при соединении оптических волокон от разных производителей кабеля. Часто при монтаже вставка другого кабеля выглядит на экране OTDR как приподнятая платформа (хорошо видно на рис. 7.7). При измерениях с обратной стороны трассы эти подъемы выглядят как «ямы». Это явление особенно сильно наблюдается при измерениях на ВОЛС с чередованием волокон \pm NZDSF (рис. 7.8), где наблюдается последовательное изменение дисперсии по участкам ВОЛС.

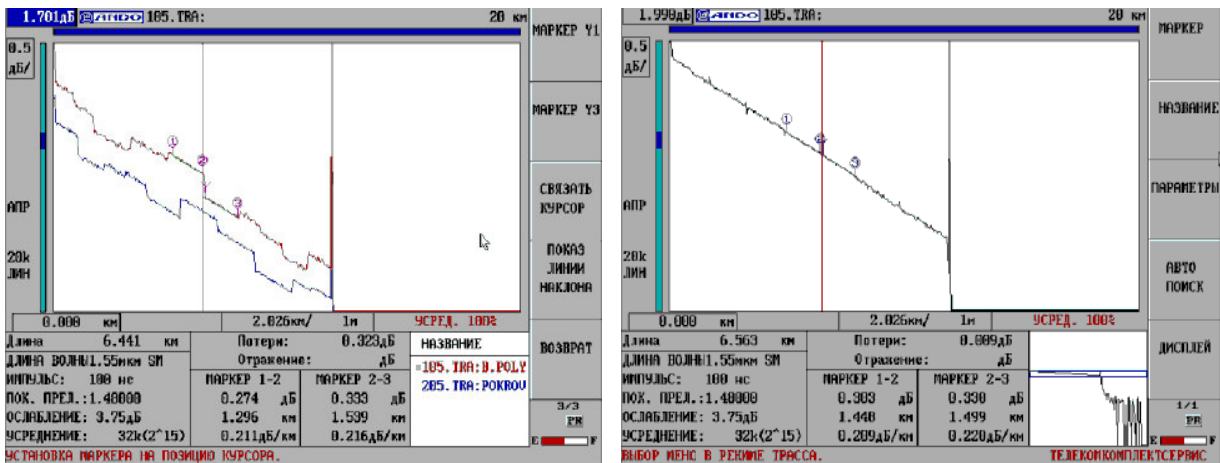


Рис. 7.8. Рефлектограммы участка линии на основе волокон \pm NZDSF, снятые с двух сторон

Существуют особенности и «глюки», фантомы.

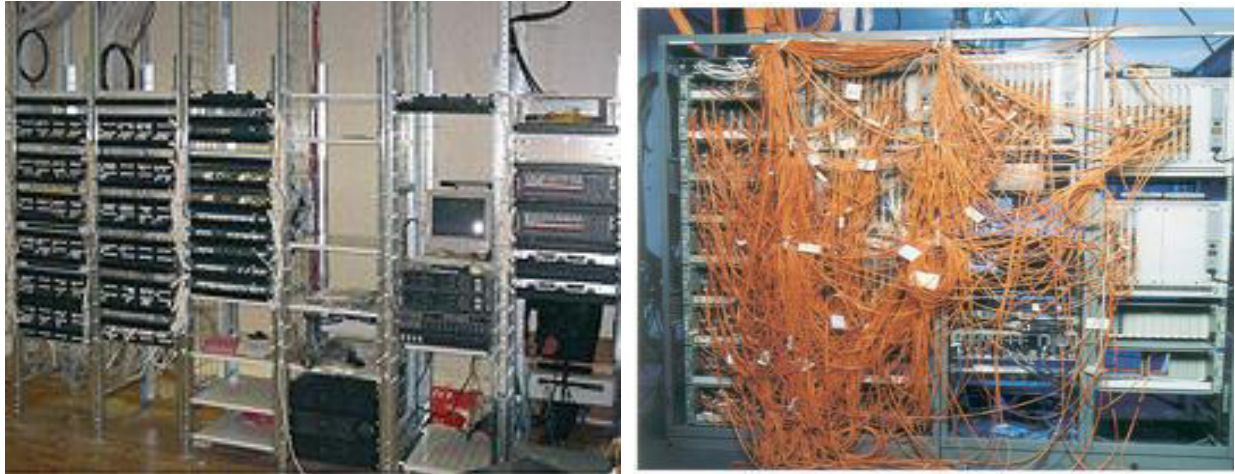
На рефлектограмме (рис. 7.9) показан так называемый фантом. Создается впечатление, что оптическое волокно имеет крупную неоднородность в месте, где ее быть не должно. Появление фантома связывают с ошибкой импульсного метода измерения. В измеряемой линии появляется своеобразное эхо, которое и вызывает ошибку. Фантом пропадает при изменении диапазона измерений, который рекомендуется устанавливать в два раза превышающим предполагаемую длину линии.



Рис. 7.9. Фантом

Безусловно, строительно-монтажные работы должны где-то начинаться и где-то заканчиваться. В этом смысле естественным окончанием результатов строительства ВОЛС является всем привычная стойка под названием – **кросс** (рис. 7.10). Это позволяет не только коммутировать оптические волокна, но и производить их контроль, диагностику, подключать различные измерительные приборы и системы мониторинга.

Вариантов реализации проектов бесконечное множество и их все невозможно описать и даже представить. Это предполагает исследование многообразия реализации проектных решений по строительству ВОЛС различного назначения, пропускной способности, объема передаваемого трафика, их оценки по тем или иным критериям и построению системы рекомендаций по применению способов строительства ВОЛС в конкретном варианте проектных решений.



а)

б)

Рис. 7.10. Примерный вид кроссового помещения для ВОЛС (а), недопустимый вариант (б)

При приеме в эксплуатацию линейных сооружений ВОЛС проверяют соответствие выполненных строительно-монтажных работ проектной документации, стандартам, строительным нормам и правилам проведения работ. Производят визуальный осмотр трассы, внешнего состояния проложенного или подвешенного ОК, правильности установки и монтажа соединительных муфт и устройства ввода ОК в технические помещения. Выполняют измерение оптических потерь каждого регенерационного участка с помощью сертифицированного оптического рефлектометра.

После приемо-сдаточных испытаний линию сдают в эксплуатацию на весь срок ее службы. При возможных в дальнейшем изменениях на линии в паспорт должны быть внесены соответствующие коррективы.

Сдача в эксплуатацию линейных сооружений и объектов ВОЛС организуется и проводится в соответствии с официально утвержденными положениями и руководствами по приемке. Специальным комиссиям, в состав которых входят представители заказчика и производителя работ, представляется для проверки вся исполнительная документация и сама ВОЛС.

В состав исполнительной документации входят:

- паспорт ВОЛС;
- проектная документация на строительство, полученная от заказчика и откорректированная в соответствии с реально выполненными работами;
- протоколы измерений на усилительных и регенерационных участках ВОЛС.

В паспорте ВОЛС для линейных сооружений содержится карта сети, на которой показаны трассы прокладки ОК и расположение всех строительных объектов и построек.

8. СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС В РОССИИ

В настоящее время оптическое волокно является самой совершенной физической средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Поэтому вся стратегия развития современных телекоммуникационных сетей в России, как и во всем мире, базируется на использовании волоконно-оптических кабелей.

Использование света для передачи информации известно человечеству давно. Однако отсчет истории использования современных оптических систем передачи ведется с 1970 г., когда компания «Corning» впервые изготовила ОВ с затуханием порядка 20 дБ/км. Такое затухание обеспечивало конкурентоспособность систем передачи по оптическому волокну.

В последующие годы в мире совершенствование технологии производства ОВ развивалось быстрыми темпами. Уже в 1975 г. были получены ОВ с затуханием порядка 10 дБ/км, в 1978 г. менее 5 дБ/км, в первой половине 1980-х гг. ОВ имели коэффициент затухания 1,5–2,0 дБ/км, а во второй половине – уже 0,5 дБ/км и менее [11, 16, 29, 33].

8.1. Начальный период строительства

Первый волоконно-оптический кабель был принят в эксплуатацию на городской телефонной сети в 1976 г., а широкомасштабное использование ВОК началось в 1980-х гг. В настоящее время ВОК прочно занимают свои позиции, интенсивно совершенствуется и являются важнейшим элементом при построении магистральных, внутризоновых и местных сетей связи в России. С 1993 г. строительство магистральных, а с 1996 г. внутризоновых линий связи ведется в стране только с использованием ВОК. Сегодня ВОК приближается к конечному пользователю, т. е. к абоненту.

К сожалению, следует отметить, что Россия позже ведущих индустриальных стран мира начала процесс строительства сетей связи на основе волоконно-оптических линий. Затянувшийся в конце 80-х гг. прошлого столетия процесс освоения отечественного производства ВОК окончился полным развалом межотраслевого научно-технического комплекса «Световод», который пытался организовать промышленный выпуск как самих оптических кабелей, так и всех компонентов для них, прежде всего оптических заготовок и волокон. В результате Минсвязи СССР из-за отсутствия промышленного производства ВОК не смогло развернуть в стране строительство ВОЛС. Кроме того, в этот период времени СССР не имел доступа к зарубежным технологиям и оборудованию.

После распада СССР в 1991 г. Россия оказалась в международной телекоммуникационной изоляции. Надо было срочно выходить из нее. Расчет делался на собственные силы.

Строительство первых опытных ВОЛС началось только лишь в конце 80-х гг. прошлого столетия. Для строительства первой опытной внутризоновой линии было выбрано направление Ленинград – Сосновый Бор. При строительстве использовался ВОК с многомодовыми волокнами отечественного производства. Опыт строительства и дальнейшей эксплуатации показал, что ВОК имеет существенные недостатки, которые приводят к изменению затухания ОВ во времени. Кроме того, линия быстро морально устарела и была выведена из эксплуатации. Несмотря на это, следует заметить, что она сыграла определенную положительную роль, так как на основании полученного опыта в короткие сроки было обеспечено расширение зоны строительства ВОЛС на всех видах телекоммуникационных сетей связи страны. В результате были введены в действие новые ВОЛС в разных районах СССР.

Далее произошли два важных события, ускорившие процессы строительства оптических сетей связи в стране. Первое – отмена в отношении России ограничений КОКОМ. В 1993 г. российские операторы получили доступ к западному рынку продажи любого оборудования связи, а также к новейшим технологиям строительства ВОЛС. Второе – к решению задач нового строительства сетей связи были допущены коммерческие структуры. Это сразу же придало динамизм в решении тех задач, на которые раньше уходили многие годы.

Одна из особенностей строительства сетей связи в России была обусловлена ее огромными просторами. В связи с этим в начальный период началось строительство не местных, как в большинстве стран, а магистральных междугородных ВОЛС для выхода на мировое телекоммуникационное пространство

Выход России на международный уровень потребовал строительства подводных ВОЛС. Поэтому, созданная в 1990 г. акционерная компания АО «Совтелеком» в дальнейшем ОАО «Ростелеком» приняла верное решение начать строительство с самой трудной и сложной составляющей – международной подводной ВОЛС. Взяв иностранный кредит, АО «Совтелеком» совместно с датскими компаниями «GN» и «Телеком Денмарк» построило первую в России международную подводную ВОЛС «Дания – Россия», которая соединила Санкт-Петербург с датским городом Аберслунд. Тем самым было прорублено телекоммуникационное окно в Европу.

8.2. Период активного строительства ВОЛС

К 1991 г. отставание в развитии оптических систем связи было катастрофическое, не было ни одной протяженной волоконно-оптической линии, ни одной оптической сети связи в России. В этих условиях созданное

в сентябре 1993 г. акционерное общество открытого типа «Ростелеком» приступает к активному строительству, расширению и модернизации своей собственной магистральной сети на базе волоконно-оптических кабелей. В первую очередь это строительство международных ВОЛС для выхода на мировое телекоммуникационное пространство. В первые годы строительства протяженных линий связи при отсутствии в России собственного производства отечественных оптических кабелей приемлемого качества ставка делалась на импортные кабели, главное внимание уделялось оптимальному выбору зарубежных поставщиков оптических кабелей. Наиболее широкое распространение получил тип оптического волокна по рекомендации МСЭ-Т G.652, которое оптимизировано по хроматической дисперсии на длине волны 1,31 мкм, хотя рабочей длиной волны уже тогда была выбрана длина 1,55 мкм. Одномодовое волокно G.652 остается основным типом для российских протяженных кабельных линий связи и в настоящее время. Эти волокна производятся всеми ведущими мировыми производителями оптических волокон (в России таких производителей нет).

Выбрав в первые годы основным партнером по поставкам средств волоконно-оптической связи фирму «Siemens», ОАО «Ростелеком» одновременно использовал оптические технологии фирм «Fujikura», «Corning». Построив вместе с фирмой «Siemens» около 3,5 тыс. км протяженных линий связи, «Ростелеком» получил их в эксплуатацию.

Дальнейшее строительство в объеме около 2,5 тыс. км ОАО «Ростелеком» осуществило вместе с фирмой «Fujikura» на кабелях фирмы «Fujikura». Проведя всесторонние сравнения волокон G.652 различных фирм-производителей, ОАО «Ростелеком», начиная с 1996 г., сделал выбор в пользу волокон и технологий производства кабелей фирмы «Fujikura».

В 1994–1996 гг. разворачивается строительство Южного комплекса международной связи, в состав которого вошли морская волоконно-оптическая линия ИТУР Палермо (Италия) – Стамбул (Турция) – Одесса (Украина) – Москва (Россия). Из Москвы линия идет в Ростов-на Дону и далее в Новороссийск. Подводная часть проложена по дну Черного, Мраморного, Эгейского и Средиземного морей. Проходя через Стамбул, линия заканчивается в Палермо. Реализуется проект создания Восточного комплекса связи, построены подводная волоконно-оптическая линия передачи Находка (Россия) – Наоэцу (Япония) – Пусан (Южная Корея) и волоконно-оптическая линия «Находка – Хабаровск», начинается строительство Центрального комплекса – объединение международной и междугородной цифровых сетей связи страны в единую телекоммуникационную среду.

ОАО «Ростелеком» к 1995 г., опираясь только на собственные финансовые возможности и на взаимовыгодное сотрудничество с ведущими зарубежными операторами и фирмами, построил «хребет» волоконно-оптической сети на основе как импортных, так и отечественных производителей кабельной продукции.

Далее стало ясно, что строить ВОЛС на импортном оптическом кабеле неоправданно дорого. Поэтому специалисты компании «Ростелеком» предложили осуществить поддержку отечественных кабельных заводов. Главная идея этой поддержки заключалась в реализации такого взаимодействия ОАО «Ростелеком» и кабельных заводов, при котором одна сторона – ОАО «Ростелеком» – выработывала технические требования на оптические кабели, которые должны быть выполнены заводами, и обеспечивала взаимовыгодное финансирование закупок отечественных оптических кабелей, а другая сторона – кабельные заводы – обеспечивала производство оптических кабелей с такими параметрами, которые не уступали бы лучшим мировым образцам и удовлетворяли всем требованиям Покупателя.

С целью поддержки отечественной промышленности ОАО «Ростелеком» с 1996 г. приступил к активной работе с отечественными производителями средств связи и прежде всего кабельными заводами. Для финансирования внедрения необходимых новых технологий производства оптических кабелей ОАО «Ростелеком» авансировал выбранные кабельные заводы. Получив заказы и достаточно большие авансовые средства, кабельные заводы за короткий срок смогли сделать рывок в техническом перевооружении и подготовиться к производству оптических кабелей, не уступающих по параметрам лучшим импортным кабелям. Первым среди этих заводов стал завод ЗАО «СевкабельОптик», который разработал собственную программу производства оптических кабелей для различных вариантов строительства ВОЛС. Требования ОАО «Ростелеком» были очень жесткими, они учитывали мировой уровень разработок оптических кабелей и российские особенности эксплуатации ВОЛС. Именно эти требования и определили прогресс в организации производства отечественных кабелей для протяженных волоконно-оптических линий связи. В дальнейшем еще три завода – ЗАО «Москабель-Фуджикура», ЗАО «Лусент Текнолоджис-Связьстрой-1» и «Воронежская оптическая компания» – довели уровень своего производства до требований ОАО «Ростелеком» и стали его поставщиками. И уже в 1996 г. страна отказалась от закупок зарубежных кабелей (кроме оптических кабелей в грозотросе). К 1998 г. ежегодные закупки ОАО «Ростелеком» отечественных оптических кабелей составили более 8 тыс. км.

Необходимо отметить, что ОАО «Ростелеком» к этому времени стал признанным российским лидером волоконно-оптической связи. К 2000 г. общая длина протяженных волоконно-оптических линий сети ОАО «Ростелеком» составила около 35 тыс. км. Но это было только началом создания современной общенациональной сети связи.

В 1996 г. на магистральных линиях связи начали использоваться ВОК отечественного производства, изготовленные АО «СевкабельОптик» и совместным болгаро-российским предприятием «ЭЛИКС-МО». Соответст-

вые технологии производства ВОК техническим требованиям позволило обеспечить их параметры на уровне мировых стандартов. Вслед за заводом «СевкабельОптик» выпуск магистральных ВОК начал осваивать московский завод «Оптика-кабель». Эти кабели также производились по техническим требованиям ОАО «Ростелеком» с использованием волокна фирмы «Fujikura» с коэффициентом затухания на длине волны 1,55 мкм не более 0,21 дБ/км.

В 1997–1999 гг. состоялся ввод в эксплуатацию волоконно-оптических линий передач «Россия – Украина» и «Россия – Белоруссия». Окончено строительство трансроссийской ВОЛС «Москва – Хабаровск» протяженностью 8000 км. Тем самым завершился крупнейший проект создания цифрового транспортного телекоммуникационного хребта, который объединяет максимальное число регионов Российской Федерации, имеет выходы на крупнейших операторов Европы, Азии и Америки, а также обеспечивает потребности зарубежных операторов в транзитном трафике через территорию нашей страны. При строительстве этой ВОЛС переходы под руслами рек, автодорогами, железными дорогами сооружались методом горизонтально-направленного бурения. При обходе озера Байкал и зон вечной мерзлоты использовались кабели, встроенные в грозозащитный трос ЛЭП. Общая протяженность подвесного участка составила 3300 км. Это одна из наиболее протяженных подвесных линий в мире.

2000–2002 гг. ознаменованы вводом в эксплуатацию ВОЛС «Ростов-на-Дону – Луганск», связавший Украину и Россию. Благодаря реализации этого проекта появилась возможность организации транзита на страны дальнего зарубежья, а также повысилась надежность цифровых каналов связи между Украиной и Россией. Начала работать волоконно-оптическая линия передачи «Любань – Иссад», завершилось строительство новой ВОЛС «Россия – Казахстан», которая создала второй выход магистральной сети ОАО «Ростелеком» на Казахстан.

В 2000 г. в связи с началом крупномасштабной реструктуризации ОАО «Ростелеком» приостановило ускоренное строительство новых волоконно-оптических линий связи, ограничившись, в основном, расширением пропускной способности ранее построенных ВОЛС.

8.3. Переход на WDM-технологии

К созданию WDM-сетей в России приступили только в XXI в. В начале 2001 г. петербургская компания «Раском» объявила о старте проекта, который предусматривал увеличение пропускной способности ее базовой ВОЛС до уровня STM-64 (10 Гбит/с) [8, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32].

В июле этого же года были введены в эксплуатацию первая система передачи и оборудование линейного тракта WDM на участке Москва – Санкт-Петербург. А ровно через год, в июле 2002 г. был введен в эксплуатацию, участок Санкт-Петербург – граница с Финляндией.

Первое время технология WDM в России применялась только при строительстве магистральных сетей передачи данных. Национальным оператором дальней связи было построено несколько таких WDM магистралей. Это прежде всего «Балтийская кабельная система» (БСК), построенная в 2002 г. совместно с компанией «Телия», основное предназначение которой – присоединение мощностей «Ростелекома» к телекоммуникационным ресурсам стран Европы и увеличение мощности национальной сети. В рамках этого проекта была проведена модернизация линии «Москва – Санкт-Петербург – Кингисепп» на основе использования технологии спектрального уплотнения DWDM.

В январе 2003 г. вступила в строй магистраль «Ростелекома» «Москва – Самара». На этом участке установлено оборудование, которое в максимальной конфигурации позволит «Ростелекому» пропускать 320 Гбит/с. В сентябре 2004 г. «Ростелеком» завершил внедрение WDM на сетях «Москва – Хабаровск» и «Москва – Новороссийск».

В 2004–2006 гг. было завершено строительство международной ВОЛС «Россия – Азербайджан» протяженностью около 1500 км, что позволило укрепить позиции на рынке обмена трафиком со странами Закавказья и Ближнего Востока, и была введена в эксплуатацию волоконно-оптическая линия связи «Калининград – Гвардейск – Советск». Реализация этого проекта позволила «цифровизовать» магистральную сеть Калининградской области и обеспечить высококачественную связь этого региона с остальной территорией России.

В сентябре 2005 г. «Ростелеком» ввел в коммерческую эксплуатацию новую высокоскоростную цифровую ВОЛС «Уфа – Ориенбург» общей протяженностью 824 км. Ввод в эксплуатацию этой современной цифровой линии позволил увеличить количество потоков, задействованных на данном направлении, существенно улучшить качество междугородной и международной телефонной связи, а также начать предоставление услуг Triple Play абонентам и провайдерам услуг [15, 28, 34], ведущим предприятиям и компаниям из других регионов, интересы которых представлены в Оренбургской области. Примерный перечень услуг Triple Play:

– высокоскоростной доступ в Интернет:

абоненты получают доступ ко всем ресурсам Интернета на ПК или непосредственно на телевизоре, а также к дополнительным сервисам (почта, хостинг и т. д.). Доступ к сети Интернет с телевизора является удобным и экономичным средством, особенно для абонентов, которые не располагают персональным компьютером. Обычно, в связи с отличием формирования изображения в телевизорах и ПК, доступ в Интернет осуществляется через специальный портал оператора (Walled Garden);

– услуги телефонной связи:

IP-телефония и/или местная связь. Услуги IP-телефонии включают как непосредственное осуществление голосовой связи, так и целый набор дополнительных услуг, таких как информация о телефонных вызовах (на экране ТВ отображаются данные о вызовах), телефонная книга и автоматический номеронабиратель, АОН и др.;

– сервисы интерактивного телевидения IPTV:

- **телевизионное и радиовещание:**

онлайн-трансляция телевизионных и радиоканалов на телевизоры или ПК. Передача пакетов телевизионных программ по запросу абонентов, в том числе и программ телевидения высокой четкости HDTV (High-Definition Television).

услуги платных ТВ-программ – платные видеоканалы PPV (Pay Per View);

- **предоставление абонентам популярного контента (новые фильмы, спортивные события, развлекательные программы):**

«Видео по запросу» VoD (Video on Demand) Выбор абонентами видеоконтента с сервера провайдера, когда можно вызвать на свой телевизионный экран любой новый или любимый фильм. Прямо с экрана телевизора абонент смотрит анонсы, заказывает просмотр фильма и тут же начинает его смотреть. Одной из разновидностей услуги VoD является SVOD (Subscription Video On Demand) – видео по подписке. Возможна, например, выборочная подписка на ТВ-программы или на премьеры фильмов, подписка на определенные периоды просмотра и т. п.;

- **трансляция со сдвигом по времени (Time Shifted TV):**

демонстрация каналов/программ с задержкой на определенный промежуток времени (предварительно производится их запись и хранение в сети): «отложенный просмотр» – на экране телевизора нажатием одной кнопки можно начать запись текущей ТВ программы и продолжить просмотр с того места, где абонент вынужден был отвлечься;

- **персональный видеоманитфон (PVR):**

видеоманитфон в приставке, виртуальный сетевой персональный видеоманитфон. Абонент может назначить время начала и окончания записи любого выбранного ТВ-канала или прямо в EPG планирует запись телепрограммы для того, чтобы посмотреть ее в удобное время;

– «Аудио по запросу» (AoD):

выбор абонентами аудиоконтента с сервера провайдера – загрузка аудиофайлов и аудиоархивов из сетевой библиотеки на свои устройства и сохранение их на сетевом сервере библиотеки;

– «интерактивные сервисы»:

интерактивные игры (GoD), голосования, рейтинги и т. д. Абоненты могут играть в игры на экране телевизора с помощью своих пультов дистанционного управления (игры с компьютером, когда вторым игроком выступает сетевой сервер или телевизионная приставка, интерактивные сетевые игры, дающие абонентам возможность взаимодействовать и играть с другими абонентами сети и т. п.);

– **телевизионная реклама и маркетинг:**

позволяет оператором получать дополнительные доходы, в том числе и от рекламодателей, которые хотят продвигать свою продукцию целевой аудитории. Услуга адресной рекламы позволяет абонентам сразу же выполнять поиск и приобретение различных категорий товаров, получать о них подробную информацию,

фотографию или видеоролик. В любой момент времени можно абсолютно достоверно сказать о числе абонентов, которые смотрят ту или иную программу. Можно эффективно управлять показом рекламы в любом месте, для любой целевой аудитории.

телевизионная коммерция позволяет абонентам не выходя из дома заказывать различные товары у сторонних продавцов, связанных договором с провайдером услуг. ТВ-банк (TV banking), поддерживает доступ абонента к персональному банковскому счету;

– видеотелефония и видеоконференцсвязь:

позволяют абонентам в процессе общения видеть другого участника телефонного разговора и проводить многосторонние переговоры;

– образовательные программы:

позволяет обеспечить диалог с преподавателем в реальном времени, провести обучение и тестирование, дает абоненту неограниченные возможности по совершенствованию собственных знаний путем доступа ко множеству учебных курсов и учебников.

– услуга мгновенных сообщений:

позволяет абонентам обмениваться текстовыми сообщениями (чат) с другими абонентами, абоненты могут также составлять и отсылать текстовые сообщения (SMS) на мобильные телефоны;

– телевизионная электронная почта:

организует доступ абонентов к своим почтовым ящикам;

– дополнительные интерактивные инфоуслуги:

могут включать доступ к онлайн-аукционам, биржевым сводкам, проведение различных голосований, ежедневные гороскопы, советы и т. п.;

– другие услуги:

информация о погоде, расширенный спортивный контент, телевизионные лотереи и ставки, новости и местная информация, сетевой фотоальбом (для централизованного хранения изображений абонента), дистанционное медицинское обслуживание и телемедицина, удаленный контроль за безопасностью жилища, удаленное управление бытовыми приборами и др.



Рис. 8.1. Строительство ВОЛС
Киров – Пермь

В 2006 г. на протяжении нескольких месяцев «Ростелекомом» были введены в эксплуатацию следующие волоконно-оптические линии связи. В июле линия связи «Челябинск – Тюмень», что позволило создать дополнительные цифровые выходы в ряде городов Урала и Сибири на магистральную сеть компании с целью создания взаимно резервируемых линий связи, а также организовать резервирование самой сети по географически разнесенным маршрутам кольцам (рис. 8.1).

В августе была проложена высокоскоростная цифровая линия «Назрань – Грозный», что позволило создать дополнительные цифровые выходы в ряде городов и населенных пунктов Северного Кавказа на магистральную сеть компании. В октябре – волоконно-оптическая линия связи «Вологда – Иссад». Реализация проекта позволила увеличить пропускную способность сети, а также создать дополнительные цифровые выходы в Вологде, Костроме, Ярославле и Иваново на магистральную сеть компании, а также организовать дополнительный резервный маршрут для существующих линий связи на участке «Москва – Санкт-Петербург».

В середине января 2007 г. «Ростелеком» ввел в коммерческую эксплуатацию новую высокоскоростную цифровую линию связи «Сковородино – Алдан – Якутск», протяженностью 1035 км. Новая линия позволила повысить качество, надежность и расширить номенклатуру услуг, предоставляемых потребителям Республики Саха (Якутия).

Середина 2008 г. ознаменовалась завершением строительства волоконно-оптической линии связи «Москва – Ярцево – Смоленск – Гусино».

Эта линия связи является частью большого кольца транспортной сети «Ростелекома», которое позволило зарезервировать весь объем пропускаемого трафика в направлении государственной границы с Беларусью, на города Центрально-Черноземного и Московского регионов.

Приблизительно в этот же период Северо-Западный филиал «Ростелекома» ввел в эксплуатацию 1-ю очередь первого пускового комплекса новой волоконно-оптической линии связи «Кингисепп – Луга – Псков – Смоленск – Москва». Целью строительства данной ВОЛС являлось создание высокоскоростных участков сети для стыковки с сетями Латвии, а также резервирование других участков сети компании и обеспечение телекоммуникационными услугами связи городов Псковской области. ВОЛС построена с применением цифрового оборудования спектрального уплотнения WDM и оборудования SDH уровня 2*STM-16 и является частью большого кольца транспортной магистральной сети компании. Вторая очередь строительства указанной линии связи была сдана в коммерческую эксплуатацию в июне 2009 г.

В сентябре 2008 г. «Ростелеком» запустил в коммерческую эксплуатацию подводную кабельную систему связи RJCN, соединившую Россию и Японию прямым высокоскоростным маршрутом по двум географически разнесенным линиям. Организация полного кольцевого резервирования новой кабельной системы обеспечивает готовность «Ростелекома» к надежному пропуску растущих объемов международных связей на рынок транзитного трафика Европа – Азия, в первую очередь в направлении Россия – Япония (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Строим подводную ВОЛС

В первом квартале 2011 г. «Ростелеком» ввел в эксплуатацию волоконно-оптическую линию связи «Санкт-Петербург – Вологда –Архангельск», протяженностью более 1 тыс. км. ВОЛС построена с применением цифрового оборудования спектрального уплотнения WDM и имеет магистральные ответвления на города Архангельской области.

В середине 2011 г. «Ростелеком» приступил к строительству еще 2 волоконно-оптических линий связи. Первая соединит остров Сахалин и восточное побережье России. Общая протяженность ВОЛС составит примерно 700 км, из них около 460 км пройдут по территории Хабаровского края, 8 км – по дну пролива Невельского от мыса Лазарева (Хабаровский край) до мыса Погиби (северо-западная часть Сахалина) и примерно 230–240 км непосредственно по Сахалину. С вводом в эксплуатацию ВОЛС у жителей Хабаровского края и Сахалинской области появится возможность получать не только более надежную и качественную связь, но и полный спектр современных телекоммуникационных услуг. Вторая волоконно-оптическая линия соединит республику Коми и Ненецкий АО. Общая протяженность ВОЛС между городами Нарьян-Мар и Усть-Цильма составляет 330 км.

В процессе строительства были проведены работы по организации подводного перехода через реку Печора с использованием бестраншейного метода прокладки подземных коммуникаций. Использование метода глубокого направленного бурения позволило исключить техногенное воздействие на размыв берегов и окружающую среду, сохранив тем самым природный ландшафт округа и экологический баланс в месте проведения работ.

Следует отметить, что в конце 2011 г. «Ростелеком» завершил строительство указанной линии связи и запустил ее в тестовую эксплуатацию.

Как видно, наибольший объем и спектр работ по созданию волоконно-оптической сети в России пришелся на ОАО «Ростелеком», которое стало приемником Минсвязи по строительству и эксплуатации международных и междугородных линий связи

Наибольших объемов строительство ВОЛС в России достигло в конце 1990-х и в начале 2000-х гг. В этот период только ОАО «Ростелеком» строило до 8 тыс. км ВОЛС в год. Такие огромные объемы строительства, реализованные «Ростелекомом», могли быть выполнены только крупнейшими строительными компаниями. Поэтому к строительству ВОЛС были привлечены самые сильные строительные компании электросвязи, такие как ОАО «Межгорсвязьстрой», ОАО «Лентелефонстрой», ОАО «Связьстрой-1», ОАО «Связьстрой-5», ОАО «Связьстрой-6» и др. Освободившись от государственного регулирования, эти компании, возглавляемые руководителями новой формации, сумели освоить новейшие технологии строительства, создать мощные строительные комплексы, обучить сотни специалистов и тем самым довести качество строительства до мировых стандартов.

Интенсивное строительство междугородных ВОЛС привело к тому, что в короткие сроки была решена проблема организации и освоения отечественных оптических кабелей связи на уровне лучших мировых образцов. Было организовано производство на российских предприятиях всех технических средств для строительства кабельных магистралей, включая такие новейшие средства, как защитные полиэтиленовые трубы для задувки оптических кабелей. Совместно с японской компанией «NEC» в городе Ченоголовка было организовано производство современной аппаратуры волоконно-оптических систем передачи.

Быстрое строительство междугородной сети связи подтолкнуло окрепшие региональные компании электросвязи к строительству региональных (зоновых) волоконно-оптических сетей связи. Для строительства ВОЛС на зоновых сетях стали привлекаться строительные компании, уже имеющие большой опыт строительства междугородных линий. Эти компании принесли высокий технологический уровень строительства и на зоновые сети.

Одновременно получили мощное развитие городские и местные коммерческие компании электросвязи, которые, используя факт наличия междугородных и международных ВОЛС в России, быстро подтянули к сетям клиентов и потребителей. И таким образом, наряду с крупными операторами связи, стали быстро развиваться средние и мелкие операторы

Только в 2005 г. в России была построена первая региональная сеть – зоновая мультисервисная WDM-сеть ОАО «Таттелеком». Имевшаяся на тот момент в распоряжении ОАО «Таттелеком» сеть SDH на основе каналов уровня STM-4 с растущим трафиком уже не справлялась, и в 2003 г. ОАО «Таттелеком» объявило конкурс на проведение модернизации своей транспортной сети. Победителем конкурса была признана китайская компания «Huawei Technologies». В сентябре 2005 г. модернизация сети была завершена.

После проведенных работ сеть ОАО «Таттелеком» представляет собой два независимых кольца, WDM и SDH, оба длиной в 916 км, проходящих по одному маршруту на территории Республики Татарстан. Кольца состоят из 15 узлов каждое и проходят через ключевые города Татарстана: Казань, Набережные Челны, Нижнекамск, Елабуга, Альметьевск, Лениногорск, Чистополь, Заинск и др.

В дальнейшем все преимущества ВОЛС нашли воплощение и на городских сетях сначала Москвы и Санкт-Петербурга, а затем и других городов России. Местные волоконно-оптические сети стали строиться новыми операторами, нацеленными на внедрение новых услуг связи. Городские и местные коммерческие компании электросвязи, используя факт наличия междугородных и международных ВОЛС, быстро подтянули к сетям клиентов, потребителей. Таким образом, наряду с крупными операторами связи стали быстро развиваться средние и мелкие операторы.

В настоящее время ОАО «Ростелеком» является крупнейшей телекоммуникационной компанией России, лидером в развитии волоконно-оптической связи, создает сети ВОЛС опережающими темпами по сравнению с другими операторами. Она владеет и управляет собственной современной магистральной сетью общей протяженностью более 160 тыс. км.

«Ростелеком» имеет прямые международные выходы на сети более 150 операторов связи в 68 странах и выполняет передачу основной доли междугородного и международного трафика.

8.4. Строительство ведомственных сетей на основе ВОЛС

В России исторически сложилось так, что из-за слабо разветвленной сети связи общего пользования многие ведомства вынуждены были строить свои сети. В ряде случаев такое строительство обусловлено технологическими особенностями производств конкретных ведомств, например, необходимостью обеспечения технологической связи вдоль нефте- и газопроводов, связи вдоль железных дорог и т. д.



Рис.8.3. Опоры контактной сети ЭЖД

Следует отметить, что вслед за ОАО «Ростелеком» некоторые ведомственные сети также пошли по пути замены своих линий с медножильными кабелями на волоконно-оптические линии.

Первой ведомственной сетью, которая реализовала этот подход, была сеть ЗАО «ТрансТелеКом» (ТТК).

ЗАО «ТрансТелеКом» было основано в феврале 1997 г. по инициативе МПС с целью строительства магистральной цифровой сети связи для нужд российских железных дорог. ВОК протягивались на опорах контактной сети ЭЖД (рис. 8.3).

За три года ТТК построило в полосе отвода железных дорог волоконно-оптическую сеть протяженностью 45 тыс. км, соединившую 974 населенных пункта в 71 регионе России, и с октября 2001 г. официально приступило к коммерческой эксплуатации своей магистральной сети. В 2006 г. ТТК провела модернизацию своей сети по технологии WDM.

В конце 2007 г. ТТК совместно с японской компанией «NTT Communications» завершила строительство подводной волоконно-оптической кабельной системы HSCS (Hokkaido – Sakhalin Cable System, «Кабельная система Хоккайдо – Сахалин») протяженностью 570 км. На HSCS была возложена функция альтернативной трансконтинентальной магистрали для доставки данных из Европы в Азию (ранее для обмена данными между Европой и Азией использовались преимущественно магистрали, проложенные по дну Индийского океана).

В настоящее время компания является оператором крупной волоконно-оптической магистральной цифровой сети связи (МЦСС) протяженностью более 75 тыс. км. МЦСС проложена вдоль железных дорог России, имеет более 1000 узлов доступа во всех регионах страны, где сосредоточены основные производственные ресурсы. Фактически МЦСС охватывает всю густонаселенную территорию России, соединяя западные и восточные границы, и на сегодня является самой разветвленной, протяженной и, что особенно важно, географически резервированной сетью WDM в России. В планах ЗАО «ТрансТелеКом» – создание второго после ОАО «Ростелеком» национального оператора международной и междугородной электросвязи.

Вслед за амбициозными планами ЗАО «ТрансТелеКом» новое строительство ВОЛС на ведомственных сетях начало ОАО «Транснефть», РАО ЕЭС, «Газпром» и другие ведомства.

Первая ВОЛС на железных дорогах России была создана в 1985 г. на участке Ленинград – Волховстрой Октябрьской железной дороги. До 1992 г. она была наиболее протяженной ВОЛС не только на железнодорожном транспорте, но и среди ВОЛС Министерства связи. Протяженность ее составляла 120 км, она обеспечивала организацию двух линейных трактов со скоростью передачи информации 8,448 Мбит/с каждый. В дальнейшем, в 1993 г., на участке Санкт-Петербург за четыре месяца была построена ВОЛС с использованием одномодового ВОК. Короткие сроки строительства линии связи были достигнуты благодаря использованию технологии подвески кабеля на опорах контактной сети.

Первый крупный проект интеграции ВОЛС в электроэнергетике был реализован в 2003 г. когда была построена волоконно-оптическая магистраль «Москва – Санкт-Петербург – Финляндия». Она была оснащена современным оборудованием мультиплексирования (WDM), что позволило обеспечить пропускную способность магистрали до 400 Гб/с.

В 2005 г. ООО «Инжиниринговый центр Энерго» приступило к строительству волоконно-оптической линии связи по линиям электропередачи общей протяженностью 9780 км от Урала до Дальнего Востока (Челябинск – Хабаровск – Лучегорск – Находка). Заказчиком и инвестором этого проекта выступала компания ОАО «Ростелеком». За право прохода по ЛЭП собственнику линий ОАО ФСК ЕЭС предоставлено в пользование 4 волокна из 24.

В 2006 г. проект получил дальнейшее расширение, началась прокладка ВОЛС по ЛЭП на участках «Барабинск – Таврическая» (217 км) и «Москва – Ростов-на-Дону – Самара – Челябинск» (7580 км), а в 2008 г. были проведены строительные-монтажные и пусконаладочные работы по укладке ВОЛС на участке Москва – Тамбов – Самара.

С 2007 г. ведутся работы по строительству ВОЛС «Московское кольцо», которая будет объединять четыре подстанции напряжением 500 кВ – «Западная», «Бескудниково», «Очаково» и «Чагино», а в конце 2009 г. оператор связи ГК «Синтерра» объявила о заключении партнерского соглашения с компанией «ЕЭСТелеком» (ОАО «Московский Узел Связи Энергетики») и стала ее соинвестором в проекте по строительству магистральной линии связи «Владивосток – Хабаровск». Общая протяженность магистрали, которая проходит через 21 населенный пункт региона, превышает 1000 км.

Продолжается строительство ВОЛС с использованием инфраструктуры энергетики. Энергетические компании рассматривают сотрудничество с операторами связи по строительству ВОЛС ВЛ как успешно зарекомендовавшую себя практику. Это сотрудничество позволяет энергетикам активно развивать собственную технологическую связь, эффективно используя ресурсы.

В последние годы большие объемы строительства междугородных ВОЛС осуществляют компании мобильных систем связи. Не имея возможности арендовать каналы у операторов междугородной связи из-за отсутствия у этих операторов линий ко многим городам России, операторы мобильной связи сами строят междугородные ВОЛС.

В интересах страны для строительства ВОЛС ведомственных сетей используются те же технологии, что и на сети общего пользования России. Ранее координацию строительства ведомственных сетей связи, ее увязку с интересами сети общего пользования осуществлял межведомственный координационный комитет при Минсвязи. В настоящее время функции координации должен был бы выполнять Государственный Комитет по электросвязи при Минсвязи России, однако реальное влияние этого комитета чрезвычайно мало и решения комитета носят рекомендательный характер. Поэтому новое строительство ВОЛС на различных ведомственных сетях, осуществляется по различным технологиям, подчас с разными техническими решениями. Это затрудняет подсоединение и взаимодействие ведомственных сетей к общенациональной сети и очень дорого обходится государству, поскольку строятся дублирующие, разветвленные сети.

Из-за различных технических реализаций сетей взаимное резервирование и взаимная аренда каналов требуют дополнительных затрат на установку средств согласования отличающихся систем.

Наличие самостоятельных ведомственных сетей связи у ряда российских министерств и ведомств, которые порой по протяженности сравнимы с общенациональной сетью связи, предполагает возможность взаимного резервирования этих сетей при условии проведения единой технической политики в процессе строительства и эксплуатации общенациональной и ведомственных сетей связи.

Дальнейшая интеграция России в мировое телекоммуникационное пространство требует избавления от тормозящих этот процесс препятствий. Прежде всего, надо отказаться от государственного управления операторами междугородной и зонавой связи. Первые годы работы акционерных компаний электросвязи показали, что они способны решать любые задачи по строительству сетей связи в кратчайшие сроки. Далее необходимо создать условия для дальнейшего строительства всех видов ВОЛС, которые могли бы объединить в единую цепь операторов связи, строительные компании, производителей технических средств для строительства ВОЛС и потребителей услуг связи. И, наконец, правильно и эффективно организовать процесс телекоммуникационного развития. Для этого во главе компаний должны стоять профессиональные специалисты, понимающие происходящие процессы и умеющие в сжатые сроки решать сложные задачи вхождения России в мировое телекоммуникационное пространство.

8.5. Выбор оптических волокон и кабелей для различных технологий строительства ВОЛС в России

Занимая шестую часть земной суши при малой заселенности большей части ее территории, Россия отличается от других стран целым рядом особенностей телекоммуникационных линий связи. Огромные пространства с суровым климатом и вечномерзлыми грунтами предъявляют к оптическим кабелям связи повышенные механические и климатические требования. Уже это обстоятельство определяет существенные особенности оптических кабелей связи для различных сетей связи.

Рассмотрим наиболее существенные особенности оптических кабелей для ВОЛС российских сетей связи. Первой особенностью следует признать особенность выбора оптических волокон. Эта особенность заключается в том, что для сети общего пользования или для каждой отдельной ведомственной сети на время ее строительства и эксплуатации используются кабели с одним типом волокон, чаще всего одного и того же производителя.

Выбор оптических волокон для ОК имеет важное технико-экономическое значение. Правильный выбор типа волокна обеспечивает миними-

зацию эксплуатационных расходов и расходов на последующие реконструкции линий. В первые годы строительства протяженных линий связи при отсутствии в России собственного производства отечественных ОК приемлемого качества главное внимание уделялось оптимальному выбору зарубежных поставщиков оптических кабелей.

Главным типом ОВ было определено волокно по рекомендации МСЭ-Т G.652, т. е. ОВ, оптимизированное по хроматической дисперсии на длину волны 1,31 мкм, хотя рабочей длиной волны уже тогда была выбрана длина 1,55 мкм. Волокно по рекомендации МСЭ-Т G.653, оптимизированное на длину волны 1,55 мкм было исключено из приоритетных волокон. Эти волокна обладают худшими механическими характеристиками на растяжение и изгиб, чем волокна по рекомендации МСЭ-Т G.652. Кроме того, последующие исследования показали, что волокна по рекомендации МСЭ-Т G.653 обладают нелинейными эффектами, отрицательно сказывающимися при передаче высокоскоростных оптических сигналов.

Таким образом, можно констатировать, что выбор волокон по рекомендации МСЭ-Т G.652 для протяженных линий связи был удачным.

Например, для магистральной сети ОАО «Ростелеком» были выбраны одномодовые волокна фирмы «Fujikura» (Япония) по рекомендации МСЭ-Т G.652. Для магистральной сети ЗАО «Транстелеком» основным оптическим волокном выбрано одномодовое волокно фирмы «Corning» (США) по рекомендации МСЭ-Т G.652.

Применение одного и того же типа ОВ в условиях сетей с малым сетевым резервированием позволяет избегать трудностей при сварке волокон разного типа в процессе ремонта и реконструкции кабельных линий. Кроме того, упрощается обеспечение эксплуатационного запаса кабелей. При одном типе волокон запасного кабеля требуется меньше, отсутствует проблема выбора и доставки запасного кабеля в случае проведения ремонтных работ.

Второй особенностью применения ОК в России является использование на телекоммуникационных сетях ОК с высокими значениями механических параметров. Эта особенность обусловлена не только сложными климатическими и геологическими особенностями России, но и особенностями построения сети. Российские сети в большинстве своем построены с минимальным резервированием, поэтому требуются ОК с повышенной эксплуатационной надежностью, которая достигается увеличением значений параметров механической прочности кабеля. В России внедрена особая классификация ОК по механическим параметрам, исходя из значений минимально допустимой механической прочности (тип 1 – кабели с допустимым растягивающим усилием $P_{доп} = 2,7$ кН, тип 2 – кабели с $P_{доп} = 7$ кН, тип 3 – кабели с $P_{доп} = 20$ кН, тип 4 – кабели с $P_{доп} = 80$ кН). Эта классификация ОК позволяет учитывать геологические особенности при прокладке ОК в разных типах грунтов.

Третьей особенностью ОК для протяженных линий связи в России является наличие у этих кабелей металлической брони или металлической оболочки. Основное назначение брони и металлической оболочки заключается в обеспечении высокой механической прочности. Кроме того, металлическая броня (оболочка) выполняет еще и важную эксплуатационную функцию, а именно, функцию поиска трассы кабельной линии. В условиях сети с ограниченным резервированием это очень важно для проведения поиска трассы кабеля и мест его повреждения с целью ремонта в очень короткие промежутки времени.

Следующей очень важной особенностью ОК протяженных линий связи в России является широкий диапазон температур эксплуатации этих кабелей. В первую очередь эта особенность относится к кабелям, подвешиваемым на опорах ЛЭП или на опорах контактной сети ЭЖД. Эта особенность предполагает тщательный выбор гидрофобных заполнителей, которые должны иметь стабильные параметры вязкости в очень широком температурном диапазоне.

Новые разработки ОВ с ненулевой смещенной дисперсией по рекомендации МСЭ-Т G.655 были ориентированы прежде всего для подводных океанических ВОЛС, для которых важно иметь как можно меньше регенераторов при максимально большой длине регенерационных участков. Ненулевая смещенная дисперсия на длине волны 1,55 мкм позволяет уменьшить влияние хроматической дисперсии на ограничение длины регенерационных участков. Это преимущество волокон с ненулевой смещенной дисперсией не является определяющим, так как для наземных протяженных ВОЛС установка регенераторов через 100–150 км не является проблемой. Кроме того, эти волокна в 3–4 раза дороже волокон по рекомендации МСЭ-Т G.652.

Поэтому в России основным типом волокон для строительства протяженных подземных ВОЛС являются одномодовые волокна по рекомендации МСЭ-Т G.652. Эти волокна производятся всеми ведущими мировыми производителями оптических волокон.

Так как основным партнером ОАО «Ростелекома» в первые годы была фирма «Siemens», то были выбраны и оптические кабели фирмы «Siemens» с волокнами G.652 фирмы «Siecor». ОАО «Ростелекомом» совместно с фирмой «Siemens» было построено порядка 3,5 тыс. км ВОЛС.

Дальнейшее строительство в объеме около 2,5 тыс. км было осуществлено ОАО «Ростелекомом» совместно с фирмой «Fujikura» (Япония) на кабелях фирмы «Fujikura» с волокнами G.652 этой же фирмы. Проведя всесторонние сравнения волокон G.652 разных фирм-производителей, ОАО «Ростелеком», начиная с 1996 г., сделал выбор в пользу фирмы «Fujikura». Такой выбор был обусловлен тем, что, во-первых, уже значительная

часть сети была построена на основе этих волокон, во-вторых, по основным показателям параметры волокон «Fujikura» находятся на уровне лучших мировых показателей, особенно, в части механических и температурных влияний.

Итак, на самой разветвленной и протяженной волоконно-оптической сети России – сети ОАО «Ростелеком» – основным волокном стало волокно G.652 фирмы «Fujikura».

Другие операторы сделали свой выбор, исходя из собственного опыта. Например, ЗАО «Транстелеком» основным волокном выбрал волокно G.652 ведущей мировой фирмы «Corning» (США). Ряд операторов не определились с выбором основного поставщика ОВ и используют волокна разных поставщиков. Например, на сетях РАО ЕЭС, ОАО «Транснефть», ОАО «Газпром» используются разные волокна фирм « Alcatel», «Silecor», «Corning» и др.

Далее об оптических кабелях для новых технологий строительства ВОЛС. В последние годы в технологии строительства ВОЛС произошли существенные изменения. Самым главным изменением следует отметить внедрение технологии строительства с использованием защитных пластмассовых труб, которые прокладываются предварительно в виде трубопроводов на той же глубине, что и кабели. Поскольку кабельный трубопровод защищает проложенный внутри кабель от внешних механических воздействий, то используется кабель облегченной конструкции.

В процессе эксплуатации ВОЛС очень важно в любое время года быстро отыскивать кабельную трассу для обнаружения возможных повреждений кабеля. Самым надежным, традиционным и широко используемым методом поиска трассы кабеля является поиск с помощью трассопоисковых приборов. Поэтому ОК должен иметь металлическую оболочку или броню.

Наличие металлической оболочки в кабеле требует обеспечения защиты кабеля от ударов токов молнии. Для условий России это требование заключается в том, что металлическая оболочка должна выдерживать ток величиной 105 кА, имитирующий ток молнии. При этом наличие второго металлического элемента, например, металлического центрального элемента не допускается.

Кабельный трубопровод обычно негерметичен и в процессе эксплуатации в него может попасть и долго оставаться влага. Поэтому ОК, проложенные внутри трубопровода должны быть влагостойкими. Необходимую влагонепроницаемость, в отличие от пластмассы, может обеспечить только сплошная металлическая оболочка.

Таким образом ОК для прокладки в ЗПТ должен обладать следующими характеристиками: быть малогабаритным, легким, достаточной механической прочности, иметь сплошную металлическую оболочку, но не другие, кроме оболочки, металлические элементы.

Другой относительно новой технологией строительства ВОЛС является подвеска оптических кабелей встроенных в грозотрос на опорах высоковольтных ЛЭП. В условиях России требования к кабелям, встроенным в грозотрос, отличаются от зарубежных рядом особенностей. Эти особенности заключаются прежде всего в том, что климатические условия требуют обеспечения рабочего диапазона температур от -60 до $+70$ °С. Это означает, что гидрофобные заполнители модулей и сердечника кабеля должны сохранять свои параметры в указанном диапазоне. Кроме того, температурные коэффициенты расширения элементов кабеля и грозотроса должны быть очень близкими.

Еще одной относительно новой технологией строительства ВОЛС является подвеска оптических кабелей на контактных опорах ЭЖД. Кабели для этих целей должны обладать повышенной вибростойкостью, пожаростойкостью и защитой от воздействий при попадании дроби охотничьих ружей.

Особенностью России является то, что огромные ее территории находятся в зоне вечной мерзлоты. Прокладка кабелей связи в вечномерзлых грунтах всегда представляла труднейшую задачу. Одной из таких задач является правильный выбор конструкции ОК. Для прокладки в вечномерзлый грунт ОК должны быть бронированными круглой проволочной броней, с допустимыми растягивающими напряжениями не менее 50 кН.

В России в течение порядка десяти лет проводились исследования по определению возможности прокладки ОК в вечномерзлых грунтах в защитных полиэтиленовых трубах. Исследования показали, что технология прокладки в вечномерзлых грунтах оптических кабелей в кабельных трубопроводах вполне реализуема.

Подводные протяженные ВОЛС в России, построенные ОАО «Ростелеком» совместно с иностранными партнерами, базируются на подводных кабелях зарубежного производства. В России не производятся подводные оптические кабели.

Оптические кабели для подводных ВОЛС конструктивно сложны и трудоемки в изготовлении. Эти кабели должны содержать элементы, защищающие ОВ от влаги и атомарного водорода. Кабели должны выпускаться большими строительными длинами. В рабочем диапазоне длин волн волокна должны обладать низкими значениями коэффициента затухания и хроматической и поляризационно-модовой дисперсии. Поэтому в качестве оптических волокон для подводных ОК используют волокна с ненулевой смещенной дисперсией по рекомендации G.655.

Подводные оптические кабели должны обладать высокими значениями механических параметров на растяжение и раздавливание. Градация этих кабелей по механическим параметрам предполагает изготовление кабелей для прибрежной прокладки, кабелей для зоны морского рыболовства, кабелей для глубоководной зоны. В Черном море подводные кабели должны быть устойчивы к воздействию сероводорода.

Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации, N 190-ФЗ.
2. Свод правил СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004. Организация строительства».
3. *Семенов, А. Б.* Структурированные кабельные системы. Стандарты, компоненты, проектирование, монтаж и техническая эксплуатация / А. Б. Семенов, С. К. Стрижаков, И. Р. Сунчелей. – М. : КомпьютерПресс, 2009. – 488 с.
4. Описание кабелей : <http://evrolane.ru/category/sks/>.
5. *Некрасов, С. Е.* Системы дистанционного мониторинга оптических кабелей / С. Е. Некрасов. – Технологии и средства связи, 2010. – № 5. – С. 28–32.
6. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. – М. : 2012 – 268 с.
7. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. – М. : ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. – 576 с.
8. *Шмалько, А. В.* Планирование и построение современных цифровых корпоративных сетей связи / А. В. Шмалько. – Вестник связи. – 2011. – № 34. – С. 58–65.
9. *Шмалько, А. В.* ВОЛС на воздушных линиях электропередачи / А. В. Шмалько, Н. К. Сабинин. – ВКСС. Connect! – 2010. – № 25. – С. 50–62.
10. *Никитин, Б. К.* Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи : учеб. пособие для вузов / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский ; – СПбГУТ. – 2011.
11. *Глаголев, С. Ф.* Передаточные характеристики оптических волокон : учеб. пособие для вузов / С. Ф. Глаголев, В. С. Иванов, Л. Н. Кочановский ; СПбГУТ, 2005.
12. *Глаголев, С. Ф.* Оптимизация линий связи первичных сетей : учеб. пособие для вузов / С. Ф. Глаголев, Б. К. Никитин ; СПбГУТ, 2005.
13. Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи // Рекомендации МСЭ-Т, Женева, 1994.
14. *Иванов, А. Б.* Волоконная оптика : Компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. – М. : Компания Сайрус Системс, 1999.
15. *Петренко, И. И.* Пассивные оптические сети PON. Часть 1. Архитектура и стандарты / И. И. Петренко, Р. Р. Убайдуллаев // Lightwave Russian Edition. 2004.
16. *Слепов, Н. Н.* Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2000. – 468 с.
17. www.magistral-skn.ru/Oshibki_pri_sozdanii_VOLS_Kolosov_A_N
18. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей. Министерство связи Российской Федерации, 1996.
19. «Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи», М., 2005. Разработано ОАО «ССКТЬ-ТОМАСС».

20. *Носков, Б. Д.* Строительство волоконно-оптических линий с прокладкой кабелей в пластмассовых трубопроводах / Б. Д. Носков. – Автоматика, телемеханика и связь, 1997.
21. www.compdoc.ru Волокно на весу 2 / Виктор Каток, Алексей Ковтун, Игорь Руденко.
22. *Гаскевич, Е. Б.* Навивная технология. Экономичное строительство загородных ВОЛС по ЛЭП / Е. Б. Гаскевич // Connect! – 2004. – №7. – С.64–66.
23. *Слепов, Н.* Особенности современной технологии WDM / Н. Слепов // Электроника: НТВ. – 2004. – № 6. – С. 68–76.
24. ITU-T G.694.2. Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid (6.02).
25. *Hinderthur, H.* WDM hybrid transmission based on CWDM plus DWDM / H. Hinderthur, L. Friedric // Lightwave Europe. – 2003. – July. – P. 9–12.
26. ITU-T G.692. Optical interfaces for multi-channel systems with optical amplifiers (10.98, Corr. 1,2-6.02).
27. *Bautista, J.* Untangling the wavelength Web : Separating DWDM Channels with Interleaves / J. Bautista, B. Shine // Photonics Spectra. February, 2001. – P. 90–92.
28. *Слепов, Н. Н.* Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Слепов. 2-е испр. изд. – М. : Радио и связь, 2003.
29. *Слепов, Н. Н.* Фотонно-кристаллическое волокно-уже реальность / Н. Слепов // Электроника : НТВ. – 2004. –№ 5. –С. 80–84.
30. *Borella, A.* Wavelength Division Multiple Access Optical Networks / A. Borella, G. Cancelleri, F. Chiaraluce. – Artech House. Boston-London. 1998.
31. CWDM Technology and Applications. White Paper WP011, CIENA Corporation, 2004. – P. 1–9.
32. *Слепов, Н. Н.* Особенности, проблемы и перспективы разреженных систем WDM (CWDM) / Н. Слепов // Электроника: НТВ. – 2004. – № 7.
33. *Мельникова, Н. Ф.* Эволюция рекомендаций МСЭ-Т по показателям ошибок цифровых каналов и трактов / Н. Ф. Мельникова // Электроника: НТВ. – 2004. – № 7.
34. *Веденеева, Наталья.* Как «Северо-Западный Телеком» PON строит / Н. Веденеева. 25.11.2009
35. Волоконно-оптические системы с солитонной передачей : <http://www.siblec.ru>
36. *Никитин, Б. К.* Современные технологии строительства и эксплуатации ВОЛС : учеб. пособие для вузов / Б. К. Никитин, Г. М. Смирнов, С. Ф. Глаголев ; СПбГУТ, 2012.
37. <http://chelex.ru/catalog/kabel/>
38. <http://izmer-ls.ru/maop.html>
39. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4–35, СО 153-34.48.519-2002, М. – 2004.

**В. С. Иванов
Б. К. Никитин
Р. Я. Пирмагомедов**

**СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОРГАНИЗАЦИЯ**

ЧАСТЬ 2

Учебное пособие

Редактор *Л. К. Паршина*
Компьютерная верстка *Н. А. Ефремовой*

План издания 2015 г., п. 39

Подписано к печати 30.09.2015
Объем 4,75 усл.-печ. л. Тираж 30 экз. Заказ 595

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в СПбГУТ