ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОДБОРА магистральных ОК

Д.Гиберт, генеральный директор ООО "Инкаб.Про" / gibert@incab.ru,
В.Рюпин, инженер ООО "Инкаб"

УДК 621.315.2, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.67.6.32.39

В статье излагается методика подбора магистральных оптических кабелей для различных условий применения.

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии производства оптических кабелей (ОК) предлагают потребителю широкий выбор конструкций, который удовлетворяет всем возможным требованиям по условиям эксплуатации. Только на российском рынке представлено больше 50 типов ОК, а число марко-размеров исчисляется тысячами. Такое многообразие создает проектировщикам трудности при подборе оптимального технического решения для того или иного проекта.

Чтобы ускорить процесс выбора конструкции, разработаны базовые принципы подбора оптического кабеля, следуя которым требуемая марка с ее характеристиками может быть определена за несколько "шагов". В данной статье мы подробно разберем шаги по подбору магистральных ОК – их всего шесть.

ШАГ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ КАБЕЛЯ

Базовое разделение всех типов ОК осуществляется по условиям их прокладки. От способа прокладки кабеля (условий окружающей среды) зависит его тип. Выбор конкретного типа (марки) ОК – это один из вариантов решения нетривиальной инженерной задачи "защитить оптические волокна от повреждающих условий окружающей среды", то есть разработать кабель с правильными защитными покровами и заданными характеристиками. Окружающие условия сильно отличаются в зависимости от способа прокладки ОК.

Перечислим основные методы прокладки ОК:

- задувка в трубы;
- монтаж в кабельной канализации;
- укладка непосредственно в грунт;
- подвес.

Часто на конструкцию кабеля накладываются дополнительные ограничения: пожаробезопасность, диэлектрическое/недиэлектрическое исполнение, защита от грызунов, защита от наведенного потенциала свыше 12 кВ и прочие.

В большинстве случаев условия прокладки кабеля определены в техническом задании или на стадии общих технических решений исходя из соображений экономической эффективности.

ШАГ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ

После выбора условий прокладки необходимо определить основные особенности конструкции в зависимости от предъявляемых заказчиком требований. Они отличаются в зависимости от группы кабелей.

Кабели для задувки в трубы

Такой тип кабеля имеет самую простую конструкцию (рис.1): отсутствуют дополнительные защитные элементы, кроме оболочки, накладываемой непосредственно на скрученный сердечник из оптических модулей с волокнами.

Основной выбор внутри группы состоит в определении необходимых размеров кабеля: для задувки в обычные пластиковые трубы или в микротрубки для канализации. Микрокабели имеют меньшую

массу, диаметр, они более гибкие, но при этом и рассчитаны на меньшую максимально допустимую растягивающую нагрузку, чем "классические" ОК для задувки.

При этом важно, чтобы отношение площади сечения кабеля к площади сечения трубы было не более, чем $2/3$, иначе могут возникнуть трудности при задувке.

Кабели для монтажа в кабельной канализации

Кабельная канализация представляет собой систему подземных сооружений, состоящую из трубопроводов и смотровых устройств (колодцев и коробок). В кабельной канализации осуществляется монтаж и замена кабелей, производство измерений, ремонтных и профилактических работ без вскрытия уличных покровов и раскопок грунта. В таких условиях кабель защищен от механических повреждений и электрохимической коррозии.

Вместе с очевидными достоинствами этот способ прокладки ОК обладает недостатками: возможное повреждение грызунами, затопление и замерзание затопленных участков, возможные повреждения внешней оболочки кабеля при его протяжке по лоткам. Наличие одного из перечисленных факторов или дополнительных требований обуславливает выбор конкретной конструкции ОК.

Опасность повреждения грызунами

Главная "опасность" для кабеля этой группы — повреждение грызунами. Если такой угрозы нет

или она минимальна, то достаточным выбором станет небронированный кабель (см. раздел "Кабели для задувки в трубы").

В противном случае, надежная защита от грызунов обеспечивается применением в конструкции гофрированной стальной ленты (рис.2) или стальных проволок (см. раздел "Кабели для укладки в грунт"). Количество запросов на второй вариант (со стальными проволоками) крайне низкое.

Диэлектрические конструкции

В редких ситуациях требуется кабель, который бы был защищен от грызунов и обладал при этом диэлектрическими свойствами. В таком случае возможно введение в состав оболочки ОК специальных репеллентов, отпугивающих грызунов, либо применение стеклонитей, наложенных поверх сердечника и промежуточной оболочки кабеля. Второй вариант, согласно ряду исследований, более эффективен, так как стеклонити являются физическим барьером для грызунов.

Тип расположения оптического модуля

Если говорить о самом распространенном способе защиты — гофрированной ленте, то здесь наиболее популярным решением является применение одномодульных конструкций (если число волокон не превышает 24) или применение легких конструкций со скрученным сердечником без промежуточной оболочки для многоволоконных магистралей.

Наличие промежуточной оболочки

Конструкции с промежуточной оболочкой являются более габаритными и дорогими, существенно не улучшая эксплуатационные характеристики, однако также находят применение у ряда потребителей, выбирающих надежные классические решения.

Кабели для укладки в грунт

Самый распространенный способ строительства магистральных сетей между населенными пунктами там, где отсутствует кабельная канализация и нет возможности подвеса линии – это укладка кабеля в грунт. Этот способ более дорогостоящий и длительный по сравнению со строительством линии по опорам ЛЭП, но зачастую бывает единственно возможным. Такая линия связи превосходит подвесную по надежности и срокам эксплуатации.

К сожалению, общепринятых нормативных документов, определяющих требуемые характеристики к ОК в грунт, исходя из конкретных условий прокладки, не существует. На выбор конструкции влияют две основные технические характеристики: стойкость к раздавливающим нагрузкам и максимально допустимая растягивающая нагрузка. Исходя из этих данных определяют необходимость усиления конструкции, материал брони, тип оптического модуля.

Металлическая или диэлектрическая броня

Металлическая броня подразумевает применение стальных оцинкованных проволок, скрученных

вокруг оптического сердечника. Данное решение считается классическим и наиболее популярным сегодня.

Диэлектрическая броня подразумевает применение стеклопластиковых прутков. Такое решение более дорогое, но в некоторых случаях является единственно возможным. Оно используется, когда требуется нечувствительность к воздействию электромагнитных полей: для прокладки на территории электрических подстанций, в охранной зоне ЛЭП, при пересечении ЛЭП, рядом с силовыми кабелями и т.п.

Усиление конструкции за счет дополнительного слоя брони

Классическое решение для прокладки в простых грунтах предполагает использование одного слоя брони (рис.3). В большинстве случаев этого достаточно для обеспечения надежной защиты от механических воздействий на кабель.

Однако в случае прокладки кабеля в сложных грунтах (скальных, мерзлотных и т.п.) проектной организацией может приниматься решение об обеспечении более надежной защиты и использования двойного повива силовых элементов (стальных проволок или стеклопластиковых прутков).

Повивы скручиваются в разные стороны. Это обеспечивает лучшие характеристики по стойкости к растяжению и раздавливанию в сравнении с конструкциями на основе одного повива.

Тип оптического модуля

Центральный оптический модуль является наиболее экономичным решением, но имеет ограничение по числу волокон: не более 24.

Скрученный сердечник не имеет ограничения по числу волокон, является классической конструкцией, как правило, применяемой на основных магистралях.

Дополнительная защита от влаги

Зачастую при прокладке линии связи в заболоченных местностях, а также по дну рек дополнительно в конструкции кабеля применяется алюмополимерная лента. Ее использование способно предотвращать прохождение к волокну влаги и до некоторой степени – водорода. Стоит отметить, что после принятых мер по защите структуры кварцевого стекла для современных конструкций волокон водород не опасен.

Таким образом, основным и практически единственным эффектом, достигаемым при применении алюмополимерной оболочки, является

Рис.4. Гололедно-изморозевые отложения на элементах ВЛЭП

Рис.5. ОК лег на землю под тяжестью гололеда

повышение долговременной механической прочности волокна в условиях воздействия влаги и высоких ненормативных уровней натяжения поверхности волокна. При правильно сконструированном и изготовленном ОК и при соблюдении условий его эксплуатации безотказная работа кабеля может быть гарантирована без применения алюмополиэтиленовой оболочки.

Подвесные оптические кабели

Подвесные ОК применяются для организации линии связи между опорами линий электропередач широкого класса напряжений (0,4–220 кВ), опорами освещения и специальными опорами для связи, между зданиями и сооружениями.

Способ подвеса оправдан по причине сравнительно высокой скорости строительства линии и отсутствия необходимости применения большого количества специальной техники. Исходя из этого подвес – самый распространенный способ строительства магистральных сетей ВОЛС.

Но у него есть и недостатки: подвесной кабель в течение всего срока службы постоянно подвергается воздействиям внешних атмосферных факторов (дождь, солнце, ветер, гололед). Иногда нагрузки становятся критическими – максимально допустимыми. Это подтверждается примерами из практики: например, обрыв кабеля по причине аномальных природных явлений (рис.4). Но чаще всего обрыв ОК связан не с непогодой (рис.5), а по причине того, что на стадии проектирования конструкция кабеля и арматуры были подобраны неверно.

Примеров неправильного подбора можно привести множество. Цена ошибки слишком высока, поэтому очень важен правильный подбор ОК и арматуры. Корректно подобранная система "кабель-арматура" обеспечит необходимую работоспособность сети.

Подвесные кабели делятся на две большие группы:

- с вынесенным силовым элементом типа "8";
- круглые самонесущие.

Подвесные кабели

с вынесенным силовым элементом

Кабели типа "8" бывают с металлическим силовым элементом (стальной трос) и с диэлектрическим (стеклопластиковый прут) с центральным оптическим модулем и со скрученными модулями (рис.6).

При этом данный тип ОК обладает рядом недостатков:

- применение стального троса запрещено при подвесе на линиях электропередач. Возможно наведение потенциала электрического поля на металл и опасность поражения электрическим током при работах с кабелем. Имеются случаи попадания молнии и полного выгорания всей строительной длины кабеля, а также выхода приемо-передающей аппаратуры из строя;
- зачастую с данным типом ОК используют самые дешевые клиновые зажимы, не соответствующие по характеристикам используемому кабелю, с малой площадью контакта зубьев с тросом. Это приводит к сползанию оболочки с силового

элемента клиньюми зажима и выводу ОК из строя даже при незначительном механическом растяжении. Имеются случаи, когда для диэлектрического силового элемента использовались несоответствующие клиновые зажимы с металлическими зубьями, ломающими стеклопруток. В целом корректный подбор арматуры для любых подвесных кабелей имеет принципиальное значение для обеспечения долговременной и надежной эксплуатации;

- в виду разности температурных коэффициентов расширения вынесенного силового элемента и оптического сердечника, а также неспособности диэлектрического прутка сохранять сопротивление сжатию при изгибе в бухтах запаса, если они не намотаны на жесткую оправку с должным натяжением, при отрицательных температурах может происходить неконтролируемый прирост затухания;
- сечение кабеля типа "8" приводит к повышенной "парусности", увеличению нагрузок от ветрового давления и льда, а также частому ненормативному осевому закручиванию при сбрасывании петель кабеля через щеку барабана;
- в центральном оптическом модуле возможно "хождение" оптических волокон из муфты или в муфту, если перед ней не обеспечить бухту запаса небольшого диаметра.

Таким образом, происходит постепенный переход в сторону отказа от использования ОК типа "8". Особенно он характерен для крупных операторов связи. Небольшие же операторы, из-за несколько

большей экономической привлекательности такого строительства, по-прежнему продолжают использовать кабели данного типа. Однако необходимо иметь в виду, что потенциально это может привести к определенным осложнениям при эксплуатации, а также возможным затруднениям, если сеть связи планируется в будущем продать более крупным игрокам на рынке.

Круглые самонесущие кабели

Круглые самонесущие ОК не обладают вышеперечисленными недостатками. Они симметричные, диэлектрические, а использование спиральных зажимов для подвеса обеспечивает большую площадь контакта с кабелем, повышая надежность.

Самонесущие кабели первично разделяются по типу применяемых силовых элементов: арамидные нити (рис.7) и стеклонити. Для упрощения подбора сравним эти варианты исполнения по нескольким факторам:

Диаметр и вес. Кабель с арамидными нитями несколько меньше в диаметре и легче в сравнении с аналогом со стеклонитями.

Запас прочности на разрыв. Стеклонити обладают меньшим запасом на разрыв. У арамидных нитей двукратный запас прочности на разрыв по отношению к максимально допустимым нагрузкам.

Механические свойства при растяжении. Арамидные нити обладают лучшими механическими свойствами при растяжении через систему "зажим-оболочка-нити". Максимальные нагрузки для кабелей со стеклонитями – не более 15 кН, у арамидных нитей – до 40 кН и выше.

Подверженность температурному влиянию. Кабели с арамидными нитями за счет более низкого коэффициента температурного расширения меньше подвержены влиянию температур (растяжению и сжатию).

Аттестация ПАО "Россети". Арамидные нити разрешены для подвеса на ЛЭП 35 кВ и выше, в ПАО "Россети" стеклонити запрещены.

Стоимость. Кабели с арамидными нитями дороже, чем со стеклонитями.

Таким образом, выбирать круглый самонесущий ОК с арамидными нитями следует:

- при строительстве магистральных линий связи между городами или крупных магистральных линий внутри города;
 - при подвесе на ЛЭП;
 - если требуется многоволоконная конструкция.
- Основные показания к применению ОК со стеклонитями:

- сети внутри городских районов;
- распределительные линии до отдельных домов;
- подвес между домами, опорами освещения, линии электропередач 0,4–10 кВ;
- маловолоконные кабели.

Круглые самонесущие кабели можно классифицировать по наличию или отсутствию промежуточной оболочки на "стандартные" и "легкие".

Использование **стандартных** кабелей с арамидными нитями возможно со стойкостью к растягивающим нагрузкам вплоть до 40 кН и выше, в то время как использование легких кабелей ограничено, как правило, 10 кН из-за несколько меньшей стойкости к раздавливающим усилиям от зажимов и возможностью проскальзывания нитей относительно сердечника, если нагрузки достаточно велики.

Следовательно, исходя из экономической целесообразности, наиболее популярными марками самонесущих кабелей являются:

- ОК с промежуточной оболочкой ("стандартные") и с арамидными нитями: для крупных магистральных линий, на ЛЭП 35 кВ и выше с большим числом волокон;
- кабели без промежуточной оболочки ("легкие") и со стеклонитями: для небольших сетей, на ЛЭП 0,4–10 кВ и с малым числом волокон.

Еще одна разновидность круглых подвесных ОК без промежуточной оболочки – "микро-самонесущие" кабели (рис.8). Появление таких кабелей было обусловлено необходимостью их применения

на старых и изношенных опорах линий 0,4–10 кВ, где принципиальное значение имеет как можно меньшая нагрузка на опоры от дополнительного элемента в виде ОК. Это обусловлено тем, что передача электрической энергии имеет безусловное приоритетное значение и важно, чтобы при возможном обледенении опоры не "завалились", оборвав тем самым провода. Такие кабели доступны на рынке, имеют стойкость к растяжению не более 3 кН, чего, ввиду их малых габаритных размеров и, следовательно, меньшей воспринимаемой нагрузки от льда и ветра, как правило, достаточно для обеспечения подвеса на пролетах длиной 50–70 м (в зависимости от конкретной климатической зоны).

Особые случаи монтажа

Подвес – закопать. Нередки случаи, когда нет возможности выполнить всю трассу подвесом и необходимо различные переходы (например, дороги) пройти под землей. В этом случае возникает вопрос: либо ставить муфты до и после перехода и делать вставку специализированным кабелем для прокладки в грунт, либо проложить в земле самонесущий кабель. Однако самонесущие ОК не предназначены для прокладки в грунте, так как не имеют специальной брони для защиты от сдавливающих усилий или возможного вмерзания в лед. Самонесущий кабель можно проложить в трубу ПНД, которая будет лежать в земле. Это обеспечит необходимую защиту от воздействия грунтов. Вход

в трубу необходимо загерметизировать, исключив проникновение воды внутрь ее.

Кабель в грунт – подвесить. Рассмотрим обратную ситуацию, когда ОК для прокладки в грунт в ряде случаев требуется подвесить на небольшом расстоянии. Такие кабели допускается подвешивать на небольшие пролеты, но при этом нужно учитывать их увеличенную массу по сравнению с самонесущими кабелями. Эти кабели рекомендуется монтировать с увеличенной стрелой провеса и с дополнительным запасом прочности 20–30%, так как такое использование не основное их назначение.

Шаг 3. Выбор типа оболочки кабеля

Оболочка из полиэтилена

Оболочка магистральных ОК может быть исполнена из полиэтилена низкой, средней и высокой плотности (ПЭНП, ПЭСП, ПЭВП соответственно). Рассмотрим подробнее каждый из видов.

Полиэтилен низкой плотности имеет ряд существенных недостатков: низкая прочность и химическая стойкость, "стекание" оболочки при высокой температуре. Есть и плюс: хорошо разделяется при монтаже.

Полиэтилен высокой плотности очень прочен, обладает высокой механической и химической стойкостью, но неудобен в разделке, склонен к появлению трещин.

У полиэтилена средней плотности – промежуточные характеристики: повышенная стойкость к неблагоприятным воздействиям окружающей среды, необходимая гибкость при монтаже при отрицательных температурах, стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения.

Из описания выше становится ясно, что для ОК максимально подходящей является оболочка из полиэтилена средней и высокой плотности. При этом характеристики таких полиэтиленов должны соответствовать ряду дополнительных требований, делающих их пригодными к использованию в оптических кабелях, например, обладать низкой усадкой при экструзии. К сожалению, сегодня на рынке отсутствует выбор отечественных полиэтиленов с требуемыми характеристиками, поэтому широко используется продукция иностранных поставщиков, например, компании Borealis.

Оболочки, не распространяющие горение

Если кабель необходимо проложить в зданиях и сооружениях или на специальных объектах (электрические подстанции, предприятия,

нефтяная и химическая промышленность и т.п.) требуется оболочка, не распространяющая горение.

Иногда проектом предусмотрены расширенные требования к оболочке: не распространение горения при групповой прокладке, малодымной и безгалогенной. Это обеспечивает возможность применения ОК в том числе и в зданиях с массовым пребыванием людей. Согласно ГОСТ, такая оболочка обозначается в маркировке кабеля "нг(А)-HF" и кабели обязательно должны иметь соответствующий сертификат пожарной безопасности.

Стоит подчеркнуть, что не рекомендуется использовать кабели с внешней оболочкой типа "нг(А)-HF" на всем протяжении трассы ВОЛС-ВЛ в качестве основного линейного кабеля, так как полиэтиленовая оболочка дешевле и обладает лучшими эксплуатационными характеристиками в сравнении с безгалогенной.

Оболочки из полимерного компаунда (огнестойкие)

В особых случаях возможно применение огнестойких кабелей, которые сохраняют свою работоспособность даже в условиях воздействия пламени и имеют обозначение в маркировке "нг(А)-FRHFLT_x". Такие ОК применяются, например, в системах пожарного оповещения, а также на особо опасных или ответственных объектах, где требуется обеспечить связь даже в условиях чрезвычайных ситуаций (нефтеперерабатывающие заводы, стадионы и т.п.).

Трекингостойкие оболочки

При использовании самонесущих ОК на линиях 35 кВ и выше может возникнуть потребность в применении специальной трекингостойкой оболочки. Показаниями к ее использованию являются:

- если в точке закрепления ОК потенциал электрического поля выше 12 кВ (но не более 25 кВ). Для этого производятся специальные расчеты электрических полей;
- наличие рядом с ЛЭП загрязняющих факторов: морское побережье, металлургическое производство, угольные шахты и т.п.

Шаг 4. Выбор числа волокон

Как правило, это самый простой шаг. Число волокон обычно определено техническим заданием от заказчика. Стоит, однако, заметить, что необходимо учитывать не только текущие потребности в пропускной способности, но и возможность дальнейшей модернизации и постоянно увеличивающуюся потребность в объемах передаваемых данных на весь срок эксплуатации, который

составляет не менее 25 лет. Так, в начале 90-х годов многие магистральные линии связи имели не более восьми или даже четырех волокон, что совершенно не отвечает текущим потребностям.

Шаг 5. Выбор типа волокна

В магистральных ОК, как правило, применяется стандартное одномодовое волокно, соответствующее стандарту G.652D и отвечающее всем необходимым требованиям по организации связи. Наиболее перспективными характеристиками такого типа волокна являются:

- пониженное затухание на длине волны 1550 нм: до 0,18 дБ/км (вместо 0,22 дБ/км);
- стойкость к изгибам по категории G.657A1.

Такое волокно доступно на рынке и его использование не ведет к увеличению цены кабеля.

Многомодовые волокна имеют свое ограничение по длине передаваемого сигнала и существенно дороже. Их применение возможно на небольшой сети в пределах одного объекта.

Волокна со смещенной дисперсией (типа G.655) также в последнее время являются мало употребляемыми в связи с более высокой стоимостью и возможностью использования для тех же целей стандартного одномодового волокна.

Шаг 6. Выбор требуемой стойкости к растяжению

Для монтажа в трубы и кабельную канализацию

Наиболее распространено на практике, что для кабелей для задувки в трубы и прокладки в кабельную канализацию устанавливаются требования по стойкости к растяжению в 1,5 или 2,7 кН.

Для укладки в грунт

Кабели для прокладки в грунт изготавливаются со стойкостью к растяжению в 7 кН (наибольшее распространение) и выше в зависимости от категории и сложности грунтов, вплоть до 80 кН.

Подвесные ОК

Важно отметить, что для определения требуемой стойкости к растягивающим усилиям при подвесе оптического кабеля недостаточно знания только о расстоянии между опорами. Нагрузка, действующая на кабель, помимо расстояния между опорами зависит также от погонной массы кабеля и стрелы провеса. Кроме того, в процессе эксплуатации подвешенный ОК подвергается воздействию температуры, ветра и обледенения. Все это приводит к тому, что значительно изменяются

механические растягивающие нагрузки. В связи с этим нет никакой возможности установить прямую взаимосвязь между расстояниями и допустимой растягивающей нагрузкой.

Определяющими факторами для выбора стойкости к растягивающим нагрузкам являются:

- расстояние между опорами;
 - высота подвеса кабеля и требуемый габарит до земли;
 - климатические условия (максимальная сила ветра и максимальная толщина стенки льда).
- Также необходимо обратить внимание на возможные ограничения на:
- растяжение по условиям прочности опор, чтобы в процессе эксплуатации и воздействии нагрузок не произошло их повреждение;
 - допускаемые отклонения кабеля, чтобы в процессе эксплуатации не произошло их перехлеста с проводами.

Для этого необходимо провести определенные расчеты, которые, как правило, осуществляет проектная организация. В качестве альтернативы на сайте производителя кабеля можно воспользоваться соответствующими таблицами или скачать программу, тем самым облегчив выбор необходимого кабеля, а также изучить теорию расчетов.

Заключение

В статье подробно описаны все шаги для подбора необходимой конструкции магистрального ОК. Изучив их, проектировщик довольно быстро и без ошибок сможет определиться с конструкцией, которая станет основой для надежной ВОЛС.

Ускорить процесс подбора кабеля также помогут онлайн-конфигураторы, которые выполняют эту задачу в несколько кликов мышки. Результат работы такого конфигуратора – точная маркировка для заказа кабеля и подробная техническая спецификация с необходимыми для проектирования характеристиками. Протестировать такой продукт можно на сайте vols.expert в разделе "Конфигураторы решений".

Конечно, каждый проект является уникальным и неповторимым, и нет возможности заранее учесть все нюансы и особенности. Поэтому немаловажным фактором, обеспечивающим выбор наиболее оптимальных решений, является опыт специалиста, а также регулярное и систематическое обучение и повышение квалификации. Пройти сертифицированное обучение по курсу "Проектирование ВОЛС" с выдачей документов установленного образца возможно в учебном центре "ВОЛС.Эксперт". ■