

УЯЗВИМОСТЬ транспортных маршрутов ВОЛС

Э.Портнов, д.т.н., зав. кафедрой МТУСИ / Lc@mtuci.ru

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2018.72.3.32.36

Рассмотрены причины уязвимости транспортных маршрутов на основе ВОЛС, показана необходимость учета различных условий, предложен выбор необходимых конструкций оптических кабелей и способов их прокладки.

ОСОБЕННОСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО МУЛЬТИСЕРВИСА

С начала 90-х годов прошлого века на магистральных и внутризоновых сетях общего пользования прекратилось строительство новых линий связи на кабелях с медными жилами. Основой сетей электросвязи в третьем тысячелетии являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Если раньше на магистральной и внутризоновой первичной сети всех министерств и ведомств основное место занимали симметричные и коаксиальные кабели связи, то в настоящее время все новое строительство выполняется на оптическом кабеле (ОК). Другими словами, транспортный участок сети (междугородный, внутризоновый и городской) "подчинен" волоконно-оптическим технологиям. Сети доступа (городская и сельская связь) также при новом строительстве базируются на оптическом кабеле (волокно в кабельный шкаф, волокно к дому, волокно к абоненту, волокно на рабочий стол).

Современное развитие телекоммуникационных сетей характеризуется усилением процессов интеграции цифровых первичных и вторичных сетей и превращением их в единую мультисервисную сеть. Возникает новая двухуровневая структура цифровой сети, состоящая из транспортной сети и сети доступа. Сеть доступа можно определить как сеть, по которой с помощью каналов и линий различные специализированные сигналы передаются от потребителей

к портам транспортной сети и обратно. А приоритетные направления – широкое развитие оптических кабелей всех уровней первичной сети (транспортного и доступа), дальнейшее развитие медных кабелей на сети общего пользования, кабелей структурированных кабельных систем, радиочастотных коаксиальных кабелей для сети кабельного телевидения [1].

При этом для обеспечения населения России средствами и услугами связи требуется строить очень длинные линии связи при больших капитальных затратах на их создание. Суровый климат, демографическая и экономическая неоднородность усугубляют трудности в развитии связи в целом. Достаточно сказать, что 48% территории России занимает вечная мерзлота.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА КАБЕЛЯ

Можно выделить общие проблемы прокладки линий связи: трудности выбора конструкции кабеля и прокладки в вечномерзлый грунт, трудности монтажа соединительных муфт, переход к прокладке в пластмассовых трубах новых конструкций оптических кабелей, прокладка пластмассовых труб с кабелями по поверхности земли с защитой от вандажных воздействий, прокладка в насыпь полотна железной дороги, прокладка в асфальт автомобильной дороги.

Главные критерии выбора кабеля при прокладке трассы – конструкция ОК, который на различных участках может различаться по внешним покровам и методам защиты

от вандажных воздействий; выбор микрокабелей для прокладки в мерзлый грунт. При этом необходимо решать проблемы, связанные с организацией дистанционного питания промежуточных оптических усилителей и неравномерностью их расположения.

Внешние кабели прокладываются в разных условиях и могут подвергаться сильным природным воздействиям, поэтому при выборе кабеля необходимо предусматривать возможность различных воздействий окружающей среды. Очень перспективными являются полностью диэлектрические кабели связи, не подверженные воздействию сильных электромагнитных полей. Однако при их применении должна быть обеспечена защита кабеля и волокон от механических воздействий (землетрясения, вечная мерзлота, подвижка пластов, оползни, селевые потоки, камнепады), от проникновения паров воды с примесями и другими источниками атомарного водорода, способствующими коррозии кварцевых волокон, а также от грызунов и насекомых. Кроме того, нужно обеспечить электропитание необслуживаемых пунктов, передачу сигналов телеконтроля, телемеханики и служебной связи, обнаружение места повреждения трассы подземного кабеля.

Кабели с металлическими элементами в настоящее время широко используются в подземных, подвесных, подводных конструкциях на магистральных, зонах и местных сетях, в районах землетрясений, в районах с вечномерзлыми и оползневыми участками, в местах обитания большого числа грызунов. По конструкции ОК с металлическими элементами можно разделить на три группы:

- ОК, содержащие армирующие элементы (диэлектрические или металлические) в центре конструкции кабеля;
- ОК, содержащие армирующие элементы по периферии оптического сердечника;

Таблица 1. Оценка повреждаемости подземных междугородных медных кабельных линий

Причины повреждений	Кол-во повреждений, % от их общего числа
Дефекты производства	5–6
Дефекты монтажа	8–10
Механические воздействия	50–60
Неправильная эксплуатация	3–4
Коррозия	5–8
Пробой высоким напряжением, в том числе от токов молнии	7–8
Сдвиг и давление почвы	5–6
Сотрясения (вибрация)	2–4
Повреждения грызунами	2–3
Старение	2–3
Прочие	2–4

- ОК, содержащие армирующие элементы и в центре, и на периферии.

Кроме того, ОК с металлическими элементами могут быть разделены еще на две подгруппы: с пассивными металлическими элементами и с пассивными и активными металлическими элементами.

Возможны варианты совмещения ОК с высоковольтным кабелем (ВВК) при прокладке в земле,

Таблица 2. Повреждаемость опор ВЛ разного класса напряжений

Напряжение ВВЛ, кВ	Количество повреждений ВВЛ на 100 км в год	Количество повреждений ВВЛ на 100 км в год
	Металлические опоры	Железобетонные опоры
110	0,02–0,09	0,02–0,04
220	0,01–0,04	0,01–0,03
330	0,01–0,04	0,005–0,02
500	0,005–0,03	0,005–0,04

в туннеле и на пересечении с ВВК. При этом возможно увеличение температуры на полимерных элементах ОК, потеря со временем механических свойств полимеров и, следовательно, уменьшение срока службы. На конструкцию ОК и на оптическое волокно оказывают опасное влияние грозовые разряды, высоковольтные линии (ВЛ), электрифицированные железные дороги (ЭЖД) в аварийном и нормальном режимах работы. При грозовых разрядах и коротких замыканиях на ВЛ возможно как повреждение ОК, так и разогрев полимерных элементов под действием протекающих в них токов. Как следствие – либо разрушение, либо сокращение срока их службы. Мешающее влияние проявляется в эффектах Керра и Фарадея.

Уязвимость кабелей на пяти транспортных маршрутах

Существующая транспортная и технологическая инфраструктура России (без учета ее развития и замены отслуживших свой срок кабелей) включает [2]: автодороги общей протяженностью 533 тыс. км, железные дороги (86 тыс. км), магистральные высоковольтные линии (150 тыс. км), магистральные нефтепроводы (47 тыс. км) и газопроводы (153 тыс. км). Из перечисленных пяти транспортных маршрутов четыре широко использовались для прокладки медных кабелей связи. Из них самым распространенным был маршрут вдоль автомобильных дорог, проходящих в совпадающем направлении и имеющих участки сближения. Прокладывались симметричные и коаксиальные кабели непосредственно в грунт (70%) и в кабельную канализацию (30%). Причины повреждений медных кабелей, проложенных в грунт и канализацию, весьма разнообразны и приведены в табл. [3].

Если учесть сроки эксплуатации медных кабелей, старение имеет место в 2–3 % случаев

Таблица 3. Показатели надежности ВОЛС-ВЛ для ВЛ разного напряжения

Напряжение ВЛ, кВ	Плотность отказов, 1/100 км x год	Средняя длина ВОЛС-ВЛ, км	Наработка между отказами, ч
110	0,08	50	219000
220	0,05	100	175200
330	0,04	100	219000
500	0,03	250	116800

среди всех повреждений. Это говорит о своевременном принятии мер по замене кабелей при превышении сроков эксплуатации и грамотной технической эксплуатации свыше 25 лет.

Среди транспортных маршрутов автодорожные занимают ведущее место, превышая по протяженности все остальные маршруты, вместе взятые. Поскольку транспортные маршруты проходят через города, все они могут быть использованы для прокладки по ним оптических кабелей связи. К пяти маршрутам могут быть присоединены еще два: через моря и судоходные и несудоходные реки.

Рассмотрим уязвимость установившихся транспортных маршрутов. Подробно уязвимость при прокладке оптических кабелей в земле и в полимерных трубах рассмотрена в работе [4]. В ней показано, что механических повреждений ОК, проложенных в грунт, в три раза больше, чем у медных кабелей, но всех остальных повреждений меньше. Прокладка оптических кабелей в защитных полимерных трубах уменьшает их повреждаемость более чем в два раза. Прокладка в грунт в данном случае не учитывает возможности прокладки в тело автомобильных дорог микрокабелей и подвеску вдоль дороги самонесущих конструкций ОК как дополнительную возможность расширения диапазона использования автодорожного транспортного маршрута. Уязвимости в рассматриваемых решениях аналогичны уязвимостям решений для медных кабелей.

Второй транспортный маршрут – это высоковольтные линии электропередачи 35–500 кВ. Из заявленного широко используются уровни 110–220–330–500 кВ [5] (табл. 2, 3).

В настоящее время широко используются следующие технологии подвески ОК на опорах:

- подвеска самонесущего ОК;
- подвеска ОК со встроенным тросом;

Таблица 4. Вероятные причины повреждения ОК на железных дорогах

Причины обрыва кабеля в земле и подвешенного ОК	Количество	% от общего числа
Механические повреждения	172	80
Грызуны	11	5
Нарушения технологии строительства и эксплуатации	5	2
Стихийные бедствия	4	2
Атмосферное электричество	4	2
Прочие факторы	20	9
Всего	216	100

- подвеска кабеля с креплением к внешним несущим элементам;
- подвеска грозотроса с встроенным ОК;
- навивка ОК на фазные провода.

Коэффициент готовности и наработка между отказами при прочих равных условиях с подземной прокладкой ВОЛС оказываются в пять и более раз выше по сравнению с последней [2]. Уязвимость маршрута – это повреждения, связанные с электромагнитными воздействиями ВЛ и грозы, которые приводят к изменению характеристик передачи ОВ, стихийными бедствиями и трудностям использования другими эксплуатантами, кроме энергетиков.

Третий маршрут, связанный с электрифицированными железными дорогами, используется эффективно в двух вариантах: подвеска ОК на опорах ЭЖД и прокладка ОК в полимерных трубах по краю насыпи полотна ЖД. Уязвимость подвесных кабелей связана с вандализмом и с повреждением опор. Повреждений опор ЖД в два раза больше, чем на линиях электропередачи 110 кВ [6] (табл.4).

Четвертый и пятый маршруты связаны одним технологическим решением: они проходят по неосвоенной трассе и по этому маршруту должна проходить ВОЛС и энергетическая линия. При оценке уязвимости для данных маршрутов необходимо учесть все повреждения, приведенные в табл.1 для медных кабелей,

Таблица 5. Требуемые характеристики ОК по условиям прокладки

Назначение ОК по условиям прокладки	Условия растяжения, не менее, кН	Усилие раздвигания, не менее, кН/100мм	Энергия удара, не менее, Дж	Температура окружающей среды, °С	
				пониженная	повышенная
подземные					
Для прокладки в защитных полимерных трубах (в том числе методом задувки)	1,0	3	5	-40	+50
Для прокладки в кабельной канализации, в туннелях, коллекторах, зданиях	1,5	3	5	-40	+50
Для прокладки по мостам и эстакадам	2,5	3	5	-50	+50
Для прокладки в асфальтовом или бетонном покрытии дорог	1,5	4	3	-40	+70
Для прокладки в грунты 1–3 групп	2,5	4	10	-40	+50
Для прокладки в грунты 4–5 групп	7	7	10	-40	+50
Для прокладки в болота глубиной до 2 м	7	4	10	-40	+50
Для прокладки в скальные грунты и грунты, подверженные мерзлотным деформациям, и болота глубиной более 2 м	20	10	20	-40	+50
подвесные					
Навивные, присоединяемые и прикрепленные	1,0	3	5	-60	+70
Для подвески между зданиями и сооружениями, на опорах ВЛС, опорах контактной сети и автоблокировки электрифицированных железных дорог, на опорах ВЛ	3,0	3	5	-60	+70
подводные					
Для прокладки на речных переходах	20	10	20	-40	+50

с добавлением угроз пожаров и вандализма. Магистральные газо- и нефтепроводы – зона ответственных потребителей. Аварии на трубопроводах наносят огромный вред окружающей среде.

По состоянию на конец 2012 года протяженность магистральных трубопроводов составляла около 250 тыс. км (данные Росстата), в том числе: газопроводов – 175 тыс. км, нефтепроводов – 55 тыс. км, нефтепродуктопроводов – 20 тыс. км. Возраст многих газотранспортных сетей составляет более 30 лет (30% сетей). Потери на линейных сооружениях происходят за счет производственного дефекта труб (14%), брака при строительно-монтажных работах (23%), наружной и внутренней коррозии (27%), механических повреждений (30%), других причин (6%).

Энергоснабжение линейных потребителей магистральных газо- и нефтепроводов осуществляется от вдольтрассовых ВЛ 10 кВ большой протяженности, проходящих по незаселенным территориям с неразвитой инфраструктурой в районах с холодным климатом. Поэтому наиболее перспективным решением является использование подвесных конструкций оптических кабелей на ВЛ 10 кВ. Варианты подвески ОК вдоль трассы газопровода имеют ряд достоинств по сравнению с другими способами строительства:

- отсутствие необходимости отвода земель и согласований с заинтересованными организациями;
- уменьшение сроков строительства;
- уменьшение объема возможных повреждений в районах городской застройки и промышленных зонах;
- снижение капитальных и эксплуатационных затрат в районах с тяжелыми грунтами.

Подвеска ОК производится на уже установленные опоры и не требует тщательной предварительной подготовки трассы прокладки, поэтому более технологична и проще, чем укладка в грунт. Особенностью ОК является его способность при подвеске на опорах испытывать упругое продольное растяжение до 1,5% без возникновения нагрузок в оптических волокнах.

Для строительства ВОЛС методом подвески кабеля на опорах высоковольтных ЛЭП и железнодорожного транспорта используется только диэлектрический самонесущий ОК, который во время эксплуатации испытывает значительные колебания температуры, скорости ветра, осадков и вибраций, накладывающих определенные

ограничения на технологию подвески. Одним из главных является принцип ограничения механических воздействий на саму оболочку, на растяжение ОК, на сдавливающие нагрузки и углы поворота трассы ОК.

Технология подвески ОК должна обеспечить сохранность тонкого покрытия оболочки кабеля от повреждений при протяжке. Эти повреждения вызываются трением о различные предметы, расположенные вдоль трассы. Поврежденная внешняя защитная оболочка кабеля становится источником и местом сосредоточенной нагрузки при гололеде, повышенной влажности и ветровой нагрузке. Если же при этом имеются еще и загрязнения оболочки, то под воздействием лучей солнца может возникнуть нагрев ее загрязненных участков до температур, на которые кабель не рассчитан, что может привести к его быстрому старению [7]. В табл.5 представлены необходимые характеристики ОК по условиям прокладки.

Рассмотренные установившиеся транспортные маршруты позволяют оценить их уязвимость и выбрать оптимальный вариант конструкции оптического кабеля, удовлетворяющий требуемым условиям строительства в данном регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Портнов Э.Л.** Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 544 с.
2. **Калмыков В.В., Меккель А.М., Соколов Н.А., Шинаков Ю.С.** Транспорт и доступ в инфокоммуникационных сетях. – М.: МАС, 2006. 264 с.
3. **Парфенов Ю.А.** Медным кабелям жить! – СПб.: Техника связи, 2011. 528 с.
4. **Андреев В.А., Бурдин В.А., Воронков А.А.** Анализ повреждаемости подземных оптических кабелей связи // Электросвязь. 2014. №12. С. 34–36.
5. **Шмалько А.В.** Цифровые сети связи в электроэнергетике – М.: Энергоиздат, 2002. 367 с.
6. **Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л.** Влияния внешних электромагнитных полей на линии связи и меры защиты. – М.: МТУСИ, 2000. 67 с.
7. Волоконно-оптические системы мониторинга состояния инфраструктурных объектов. Под редакцией **Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н.** – М.: ЗАО "Лазер солюшенс", 2015. 304 с.