

## КАЧЕСТВО ПРОЕКТИРОВАНИЯ как основа беспроблемной эксплуатации ВОЛС

Д. Гиберт, генеральный директор компании "Инкаб.Про"

В вопросах качества проектной документации наиболее остро стоят проблемы в области проектирования подвесных ВОЛС с использованием кабелей типа ОКСН и ОКГТ на высоковольтных линиях электропередач.

### ПРОБЛЕМНАЯ ЗОНА

Основные слагаемые долговременной и беспроблемной эксплуатации волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) – качество используемого оптического кабеля (ОК), арматуры, муфт и комплектующих; качество проектирования, расчетной части и используемых проектных решений; качество строительно-монтажных работ. Важные аспекты и критерии выбора качественного оптического кабеля были рассмотрены в [1], а сейчас мы предлагаем обратиться к вопросам качества проектной документации при проектировании подвесных ВОЛС с использованием кабелей типа ОКСН (ОК самонесущий) и ОКГТ (ОК, встроенный в грозозащитный трос) на высоковольтных линиях электропередач.

Собственная база статистики отказов ВОЛС в процессе эксплуатации показывает, что до половины всех случаев аварий или ненормативного использования в процессе эксплуатации связаны с низким качеством выбранных проектных решений, что приводит к резкому увеличению операционных затрат на содержание линии в нормативном состоянии, необходимости проведения аварийно-восстановительных работ, снижению качества предоставления услуг клиентам. Таким образом, стремление снизить капитальные затраты, в том числе в стоимости проектирования,

может обернуться гораздо большими затратами при эксплуатации.

### НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Одно из самых распространенных замечаний к проектной документации – использование неактуальных нормативных документов, например устаревших требований в области пожарной безопасности, "Правил устройства электроустановок (ПУЭ)", "Правил проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС...". Зачастую автор проекта ссылается как на требования актуальных нормативных документов, так и на недействующие версии с целью реализации проектного решения несмотря на существующие ограничения.

На сегодняшний день основной документ для проектирования подвесных ВОЛС – Правила ОАО "ФСК ЕЭС" [2], которые имеют статус стандарта организации и обязательны для организаций, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией волоконно-оптических линий связи по ВЛ электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Фактически большая часть требований, предъявляемых к проектированию в данном стандарте, обоснована к применению и на линиях 0,4–20 кВ. Данная редакция Правил учитывает современную нормативную базу и объединяет, стандартизирует

и унифицирует в себе обязательные и основные требования к проектированию ВОЛС.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

На фоне стремительного развития волоконно-оптических систем передачи данных в выборе ОК и комплектующих ВОЛС проектировщик должен учитывать современный уровень достигнутых технологий, анализировать текущее состояние отрасли и применять актуальные технические решения.

История коммерческого оптического волокна насчитывает менее полувека – и современные волокна коренным образом отличаются даже от волокон, распространенных 20 лет назад. В связи с этим недопустимы случаи, когда в проекте предъявляются требования к волокну даже категории G.652B, возникающие по принципу *soru-paste* со старых проектов.

Современные волокна категории G.652D с пониженным затуханием и повышенной стойкостью к изгибу за ту же цену обладают неоспоримыми преимуществами в эксплуатации: большой оптический бюджет позволяет увеличить запас по мощности, больше врезок и отводов, большее число ремонтов; снижение рисков роста затухания от ненормативных изгибов приводит к существенному повышению надежности линии. Также при проектировании при прочих равных условиях необходимо выбирать оптический кабель с улучшенными характеристиками (например, с возможностью его монтажа при температуре до минус 30 градусов), что существенно увеличивает сезон строительных работ для подрядчика, делая его практически круглогодичным, а также свидетельствует об использовании высококачественного полиэтилена для оболочки оптического кабеля, сохраняющего свои свойства в широком диапазоне температур.

Это далеко не полный перечень аспектов, на которые проектировщику необходимо обратить внимание при определении требований к используемым в проекте материалам и оборудованию. В данном случае важным фактором для проектной организации является возможность оперативного получения полной и актуальной информации от производителей.

### СИСТЕМА "КАБЕЛЬ-ЗАЖИМ"

При проектировании необходимо тщательно подходить к вопросу совместной работы системы "кабель-зажим", неправильный подбор которой

может вызвать следующие проблемы: передавливание ОК с ростом затуханий оптических волокон в не рекомендованных к применению зажимах; провисание кабеля до земли вследствие того, что запроектированы зажимы большего диаметра, чем кабель (в результате кабель проскальзывает в зажимах); повреждение оболочки кабеля (стягивание зажимом) вследствие использования зажимов с прочностью заделки меньшей, чем допустимая нагрузка на кабель.

Во избежание подобных проблем необходимо придерживаться следующих правил: типы или марки арматуры для подвески ОК должны быть рекомендованы к использованию производителем кабеля; диаметр кабеля должен точно укладываться в допустимый диапазон размеров зажимов; прочность заделки кабеля в натяжных зажимах должна составлять не менее 90% разрывной прочности кабеля.

### ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЛЭП

Согласно [3], на линиях 110 кВ и выше рекомендуется организация ВОЛС на основе ОКГТ. Однако в тех случаях, когда грозозащитный трос не предусмотрен или его подвеска

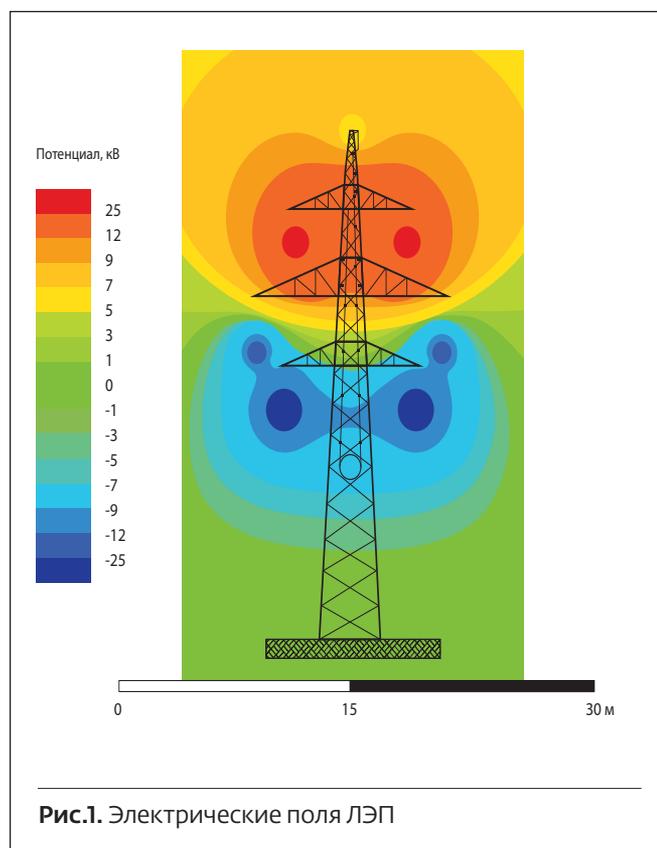




Рис.2. Электротермическая деградация оболочки



Рис.3. Гололедно-изморозевые отложения на элементах ВЛ

невозможна, зачастую применяется ОКСН. При этом критически важным является размещение точки подвеса ОКСН в зоне с наименьшим потенциалом электрического поля (рис.1).

Методика расчета потенциала электрического поля ЛЭП и определение места расположения оптического кабеля приведены в [4].

Пренебрежение данным расчетом при проектировании или его формальное выполнение может привести к возможной электротермической деградации оптического кабеля, которая возникает от частичных дуговых разрядов с концов зажима на загрязненную оболочку ОК [5]. Деградация оболочки приводит к выходу оптического кабеля из строя, вплоть до его обрыва и невозможности дальнейшей эксплуатации (рис.2).

## МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЛС

Еще один критически важный элемент проектирования – механический расчет нагрузок и стрел провеса. Гололедные и ветровые нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации, обязательно необходимо учитывать при расчетах, чтобы не превысить допустимые растягивающие нагрузки, действующие на кабель, а также обеспечить необходимые габариты до земли, пересечений и элементов ВЛ.

По факту, формальный подход к данной части проектной документации может привести:

- к недопустимой перетяжке кабеля при монтаже, что резко снизит срок эксплуатации;

- к выбору кабеля с несоответствующей допускаемой нагрузкой, что приведет к выходу кабеля из строя при возникновении сложных климатических условий (рис.3);
- к несоблюдению габаритов до пересечений, например автодороги, а, следовательно, возможному обрыву кабеля проезжающими транспортными средствами.

Основные теоретические аспекты выбора ОК, исходя из условий эксплуатации и механического расчета ВОЛС, изложены в [6]. При этом следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев используются программные продукты и системы автоматизированного расчета, предназначенные для расчета проводов, а не оптических кабелей. Теория расчета оптических кабелей несколько отличается от теории расчета проводов, особенно в части учета модулей упругости – конечного и вытяжки. Более подробно эти различия рассмотрены в [7].

Необходимые и достаточные для расчета параметры оптического кабеля перечислены в п. 4.7.3 стандарта ОАО "ФСК ЕЭС" [8]. В связи с этим бессмысленным представляется запрос такой характеристики, как "допускаемое напряжение при наименьшей температуре", важной для расчета проводов, но не оптического кабеля. Допускаемые напряжения кабеля легко вычисляются через допустимые нагрузки, приведенные к сечению кабеля. Причем площадь сечения по элементам также не является необходимой характеристикой: для оптических кабелей, как правило, приводятся модули упругости

по отношению к полному сечению кабеля, в отличие от проводов, где нагрузки вычисляются исходя из чистого сечения металла и его модулей упругости.

Также стандартом [2] в п. 4.5.14 не рекомендуется расчет по методу приведенного пролета: неравномерность высот и длин пролетов оказывает сильное влияние на расчет стрел провеса проводов и ОК. Стрелы провеса ОК в этом случае должны быть определены для каждого пролета при различных климатических нагрузках с целью соблюдения габаритных и изоляционных расстояний.

### СБЛИЖЕНИЕ ОК С ЭЛЕМЕНТАМИ ВЛ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПЛЯСКИ

Пляска – одна из наиболее опасных разновидностей угроз, связанная с вызываемыми ветром колебаниями элементов ВЛ. Наиболее часто встречающимися и наиболее опасными являются случаи пляски с односторонними отложениями в виде мокрого снега, гололеда или изморози при скоростях поперечно направленных ветров от 6 до 25 м/с.

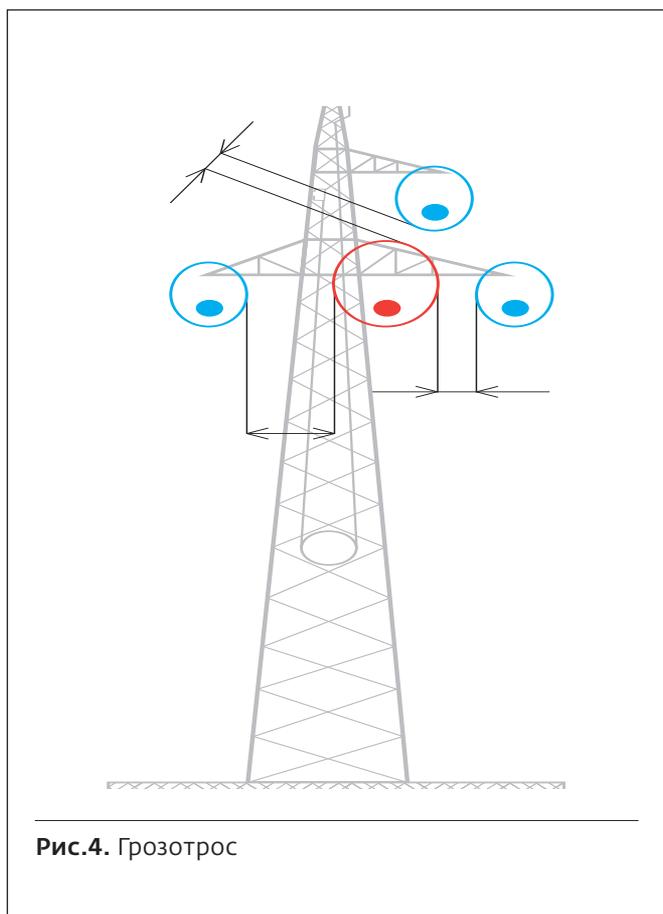


Рис.4. Грозотрос

Имеющиеся данные показывают, что до 90% случаев пляски приводят к нарушению режима работы ВЛ или к повреждению их элементов, причем только в 30% случаев нарушения ограничиваются кратковременными отключениями ВЛ и не сопровождаются перебоями в работе линий продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток. В некоторых случаях ремонтно-восстановительные работы требуют значительных затрат и длительного отключения линии [9]. В связи с этим важной частью проектной документации также становится расчет соблюдения допустимых наименьших расстояний между эллипсами пляски ОК и эллипсами пляски фазных проводов (рис.4).

### НАГРУЗКИ НА ОПОРЫ

Оптический кабель, как правило, представляет собой дополнительный элемент ВЛ, который увеличивает действующие нагрузки на опоры. Если в проектной документации не был проведен расчет допустимых нагрузок на опоры, то в процессе эксплуатации это может привести не только к выходу из строя линии связи, но и к аварийной ситуации на линии электропередачи, перебоям с поставкой электроэнергии потребителям и длительному и дорогостоящему восстановительному ремонту (рис.5).

В связи с этим при проектировании подвеса ОК на ВЛ следует определять суммарные расчетные нагрузки на конструкции опор от всех фазных проводов, грозозащитного троса и кабеля



Рис.5. Упавшая опора ЛЭП

с учетом ветровых нагрузок и гололедных отложений и сопоставлять их с допустимыми. В случае превышения нагрузок рекомендуется усиление опор, фундаментов или закреплений в грунте, замена опор или уменьшение пролетов путем подстановки новых.

## ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КЗ НА ОКГТ

Необходимость детального расчета процессов, возникающих в грозозащитном тросе при коротких замыканиях, продиктована серьезными проблемами, возникающими в практике эксплуатации ВЛ и связанными с растеканием токов, которые сопровождаются повреждениями элементов высоковольтных линий. Зачастую оцинкованные грозозащитные тросы низких сечений на действующих ВЛ не обеспечивают требуемого уровня термической стойкости, что приводит к необходимости проведения восстановительных работ. Грозозащитные тросы, в том числе со встроенным оптическим кабелем, на основе комбинации плакированной алюминием стальной проволоки и проволок из алюминиевого сплава имеют большую стойкость к токам КЗ.

При этом целесообразно выявлять участки ВЛ с повышенным уровнем термического воздействия тока КЗ на грозотрос. В большинстве случаев наибольшее термическое воздействие оказывается на ОКГТ на подходах к подстанциям. Но также могут быть случаи, когда максимальное термическое воздействие оказывается вдали от подстанции из-за возрастания времени отключения. Все это требует расчета множества вариантов с использованием грозотросов различного сечения и удельного сопротивления на разных участках ВЛ. Необходимо обеспечивать высокую точность расчетов, так как в случае термической неустойчивости ОКГТ помимо прочих факторов, возникает опасность потери связи [10].

Кроме того, оптимальный расчет требуемых характеристик грозотроса по стойкости к токам КЗ с использованием на отдельных участках разных ОКГТ приводит к экономии затрат на материалы в отличие от подхода "в лоб", когда на всей линии используется один тип ОКГТ с максимальной термической стойкостью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественное проектирование волоконно-оптических линий связи является важной и неотъемлемой составляющей частью фундамента, обеспечивающего долговременную и бесперебойную эксплуатацию ВОЛС, и включает в себя:

- учет всех требований актуальной нормативной документации;
- использование последних разработок в области материалов и оборудования;
- проведение всех необходимых расчетов и проверок.

При этом достигаются следующие ключевые показатели:

- снижение количества возникающих аварийных ситуаций;
- увеличение срока службы линии;
- существенное уменьшение операционных затрат.

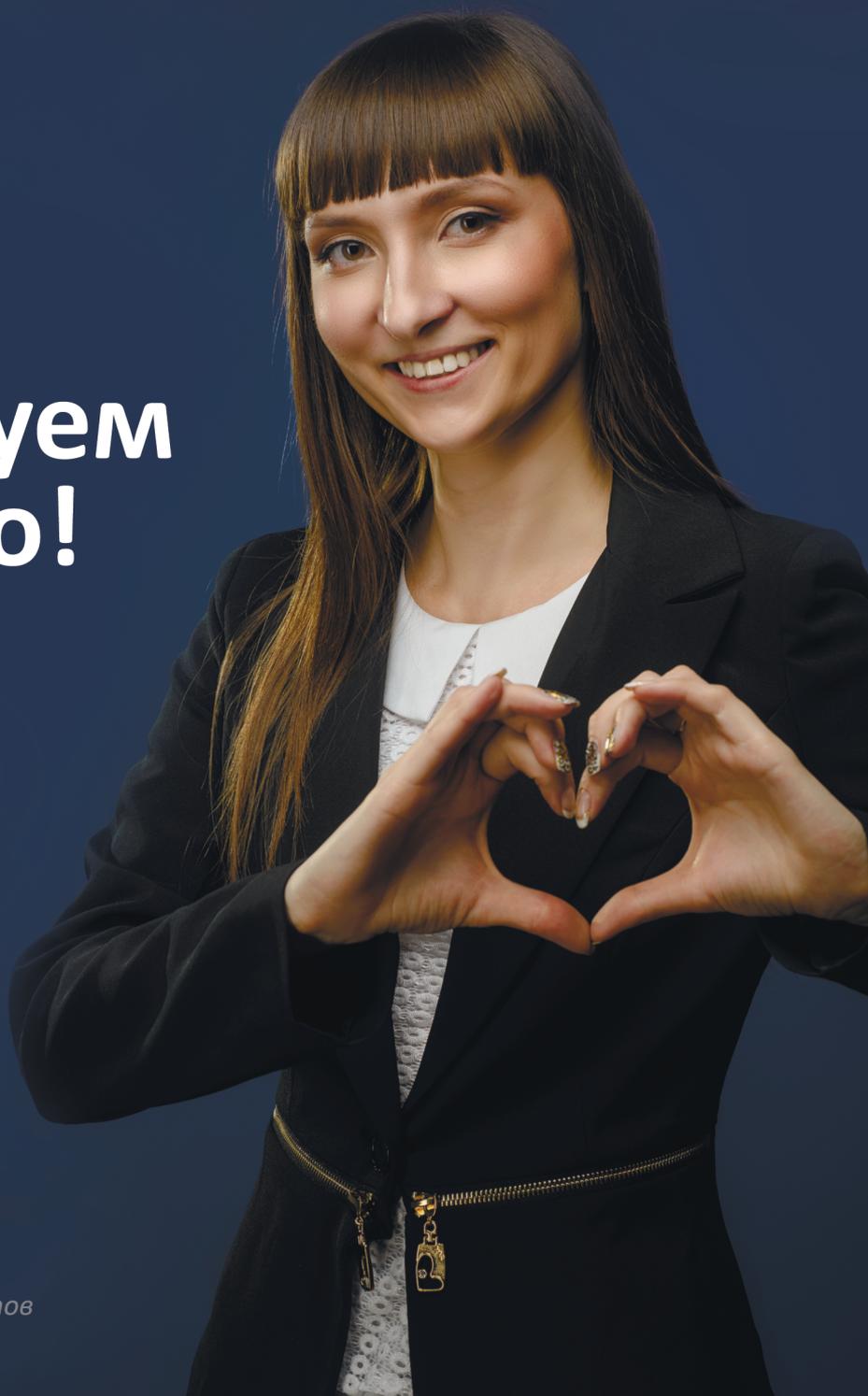
## ЛИТЕРАТУРА:

1. **Гиберт Д.П.** Оптический кабель: как добиться качества // Фотон-Экспресс. 2010. №8.
2. **СТО 56947007-33.180.10.172-2014** Технологическая связь. Правила проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС на воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше.
3. Положение о единой технической политике в электросетевом комплексе ОАО "Россети". - М., 2013.
4. **Ковригин Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Гиберт Д.П.** Определение места расположения оптического кабеля на высоковольтной ЛЭП // Воздушные линии. 2013. № 2.
5. **Филлипов Ю.И.** и др. Электротермическая деградация оптического кабеля // Lightwave. Russian edition. 2006. №4.
6. **Гиберт Д.П.** Выбор подвешенного оптического кабеля исходя из условий эксплуатации // Кабель-News. 2009. № 2.
7. **Militaru C.** Stress-Strain, Creep, and Temperature Dependency of ADSS (All Dielectric Self Supporting) Cable's Sag & Tension Calculation // IWCS. 1999.
8. **СТО 56947007-33.180.10.175-2014** Оптические неметаллические самонесущие кабели, натяжные и поддерживающие зажимы, муфты для организации ВОЛС-ВЛ на линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Общие технические условия
9. РД 34.20.184-91 Методические указания по районированию территорий энергосистем и трасс ВЛ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов.
10. **СТО 56947007-33.180.10.173-2014** Методические указания по расчету термического воздействия токов короткого замыкания и термической устойчивости грозозащитных тросов и оптических кабелей, встроенных в грозозащитный трос, подвешиваемых на воздушных линиях электропередачи.

**Инкаб PRO**

*Консалтинг и проектирование ВОЛС*

# Проектируем с любовью!



Надежда Панова  
*специалист по сопровождению проектов*

Новый проект завода Инкаб

- проектирование ВОЛС
- анализ проектов
- контроль качества при строительстве ВОЛС

[mail@incab.pro](mailto:mail@incab.pro)



**incab.pro**