

Кабельная линия как система. Вопросы проектирования и эксплуатации

Александр АФАНАСЬЕВ,
генеральный директор ЗАО «Энроса», Санкт-Петербург, к.т.н.

Непрерывное совершенствование технологии производства внутренней полимерной изоляции привело в конце 70-х годов XX века к пониманию того, что наиболее перспективным изоляционным материалом для кабельно-проводниковой продукции является сшитый полиэтилен (СПЭ — XLPE). Экспериментальное производство кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена и первые опыты их применения показали очевидные преимущества подобных кабелей по сравнению с маслонаполненными кабелями и кабелями с бумажно-масляной

изоляцией. Постепенно происходил отбор оптимальных конструкторско-технологических решений при производстве кабелей с изоляцией из СПЭ, проектировании, строительстве и эксплуатации кабельных линий. К середине 90-х годов кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена заняли доминирующее положение при строительстве новых кабельных ЛЭП напряжением 110 кВ и выше (рис. 1).

Прошедшие с момента начала промышленной эксплуатации кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена два десятка лет дали обширный

Рис. 1. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена



Рис. 2. Изменение культуры строительства кабельных линий

материал для оценки результатов применения этих кабельных систем в электрических сетях.

Внедрение высоковольтных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена в России активно началось после заключения соглашений о взаимодействии РАО ЕЭС России с субъектами Федерации в 2005—2007 гг. и начала масштабных инвестиций в развитие сетей, особенно в крупных городах: Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде и др. Имеющиеся на тот момент в крупных городах высоковольтные кабельные линии с применением маслонаполненного кабеля почти повсеместно выработали свой ресурс и требовали замены или обширной реконструкции.

Отложенный по времени период применения высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в Российской Федерации относительно передовых зарубежных стран дал уникальные возможности применить наработанный годами ранее опыт зарубежных коллег по вопросам строительства и эксплуатации высоковольтных кабельных ЛЭП, однако, к сожалению, этот опыт у нас изучается слабо и применяется несистемно.

В условиях отсутствия отечественных стандартов и непонимании в сетевых предприятиях специфических особенностей применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена каждое сетевое предприятие пыталось сформулировать свой подход к строительству кабельных линий, имея основной целью экономию средств. Часто сетевые предприятия шли на поводу поставщиков кабеля или арматуры.

Первый опыт масштабного строительства высоковольтных кабельных систем в Москве и Санкт-Петербурге продемонстрировал минималистский подход к выбору кабельной продукции и арматуры к ней, а также к выбору проектировщиков и поставщиков, не имеющих необходимого опыта выбора компонентов кабельных систем. Такой подход, в

частности, был продиктован как проведением обязательных конкурсных процедур, в ходе которых критерий цены доминирует в ущерб качественным характеристикам кабельной продукции, так и отсутствием на предприятиях действующих эксплуатантов кабельных систем с изоляцией из сшитого полиэтилена, способных сформировать исчерпывающий перечень требований к качественным характеристикам поставляемой продукции.

Практически отсутствовали организации, имеющие опыт проектирования и строительства кабельных систем высокого напряжения. Не было независимой экспертизы качества продукции и совместимости компонентов кабельных линий, а экспертные заключения до сих пор представляются фирмами-производителями или поставщиками.

Конкурсные процедуры часто организываются так, что отдельно закупается кабель, отдельно кабельная арматура и т.д. Выбор компонентов кабельной арматуры под конкретного производителя кабеля зачастую доверяют осуществлять поставщику, не заинтересованному в последующей продолжительной эксплуатации кабельных линий. Отсутствие точно обозначенных требований к совместимости элементов кабельных систем даёт широкий простор для ненужного «творчества» фирм-поставщиков и подрядчиков в ущерб надёжности.

Недостатки вновь построенных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена стали выявляться по мере их эксплуатации электросетевыми компаниями. Качество проведения проектных и строительно-монтажных работ зачастую являлось, да и сейчас является недостаточным и не соответствует требованиям обеспечения надёжности электросетевых объектов крупных городов.

Здесь важно отметить, что изменение технологической платформы кабельной промышленности, к сожалению, не повлекло адекватного изменения

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КЛ

Рис. 3. Повреждение концевой кабельной муфты 220 кВ АРЕСВ-2456, фаза «Ж» линии ТЭЦ-21 — «Дубнинская-1» (Москва)



Причины повреждения:

- локальный дефект на поверхности кабеля под стресс-конусом, возникающий при монтаже муфты;
- дефект стресс-конуса концевой муфты (на основании результатов обследования АББ Москабель).

Рис. 4. Повреждение оболочки кабельной муфты CFJ x-245 в целом месте (вода в муфте) линии 220 кВ ТЭЦ-21 — «Дубнинская-1» (Москва)



Причина повреждения: дефект монтажа транспозиционной муфты CFJ x-245.

подходов в проектировании, и особенно в строительстве кабельных линий. Высокие кабельные технологии сами по себе не могут обеспечить должной надёжности кабельных линий, должна быть соответствующая культура проектирования, строительства, а в дальнейшем и эксплуатации (рис. 2).

Необходимо понимание того, что декларируемый производителями кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена срок службы кабельных линий в 50 лет может быть достигнут только при комплексном подходе к созданию кабельной линии, если рассматривать последнюю как систему. Эта система включает в себя не только кабель и кабельную арматуру, но и весь комплекс устройств и мероприятий, обеспечивающих её работоспособность в целом.

Например, при эксплуатации кабельных линий 220 кВ в городе Москве за период с 2008 по 2011 гг. выявлено большое количество дефектов кабельных линий высокого напряжения, обусловленных нарушениями технологии при проектировании и прокладке кабеля, приводящих к снижению надёжности электроснабжения потребителей (рис. 3—4).

По причине отсутствия утверждённых типовых проектных и технических решений наблюдался и продолжает наблюдаться различный подход к способам прокладки кабельных линий высокого напряжения, что очевидным образом влияет на защищённость кабельных систем от повреждений. На рис. 5 приведены два распространённых варианта прокладки.

При строительстве КЛ напряжением 110 кВ и выше на территории Санкт-Петербурга изначально было принято решение о применении бетонных лотков при укладке кабеля (рис. 6).

В Москве и по сей день высоковольтные кабели 110 кВ и выше закапывают непосредственно в землю практически без применения защиты от механических повреждений или при минимальной защите, что, на мой взгляд, абсолютно недопустимо для столь стратегически важного, технически сложного и просто очень дорогостоящего объекта, каковым является кабельная система напряжением 110 кВ и выше.

Применение бетонных плиток для защиты по краям трасс и бетонных крышек сверху трасс, уложенных с интервалом 5—10 см, не создаёт продольной жёсткости защитной конструкции кабельной линии из-за отсутствия соединения бетонных элементов и, как результат, не даёт должной защиты от внешних повреждений. Такой же эффект и от применения полимерных защитно-сигнальных плиток и листов (рис. 7).

Рис. 5. Однофазное короткое замыкание на землю в целом месте, фаза «Ж» линии 220 кВ «Очаково» — «Магистральная 1-1» (Москва)



Рис. 6. Прокладка КЛ в железобетонных лотках. 2КЛ-110 кВ ПС «Северная», ПС «Лахта», Санкт-Петербург



По заключению ОАО «ВНИИКП», наиболее вероятной причиной пробоя являются дефект на границе внутреннего электропроводящего экрана-изоляции или разрядные процессы между проволочками.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КЛ

Рис. 7. Прокладка КЛ 110—220 кВ в Москве

Типовой пример прокладки КЛ-220 кВ в г. Москве с применением защитных бетонных плиток и засыпкой песком (межфазное замыкание фаз «Ж» и «К» линии «Подушкино» — «Нововнуково»)



Цепи 2КЛ-110 кВ сверху закрыты полимерными защитно-сигнальными листами



Экономия на использовании защитных подземных конструкций (лотки и др.) совершенно нерентабельна относительно общей стоимости кабельной продукции и с учётом расчётных сроков эксплуатации кабельных систем, рассчитанных на 50 лет и более.

Отдельно нужно упомянуть, что в условиях густонаселённых мегаполисов прокладка высоковольтных кабелей вне инженерных защитных сооружений просто является опасной для жизни и здоровья горожан, а также способной нанести значительный ущерб близлежащим городским объектам в случае аварии.

Во всём мире начиная с 90-х годов в городах кабельные линии 110 кВ и выше размещаются в трубах, кабельных коллекторах, наконец, в специально построенных тоннелях (рис. 8).

Привлечение большого числа контрагентов при строительстве кабельных линий привело к «общей коллективной безответственности» за работоспособность построенных кабельных систем. Это противоречит общемировой практике, когда гарантию на всю кабельную систему определяет завод-изготовитель кабеля. В нашей стране, как правило, производители отдельных компонентов кабельной линии предоставляют гарантию только на свои продукты: кабельные заводы — только на кабель, причём без подходов к кабельным муфтам, производители кабельной арматуры — только на свои муфты и т.д. Ну и кто будет отвечать за работоспособность всей кабельной линии в такой ситуации?

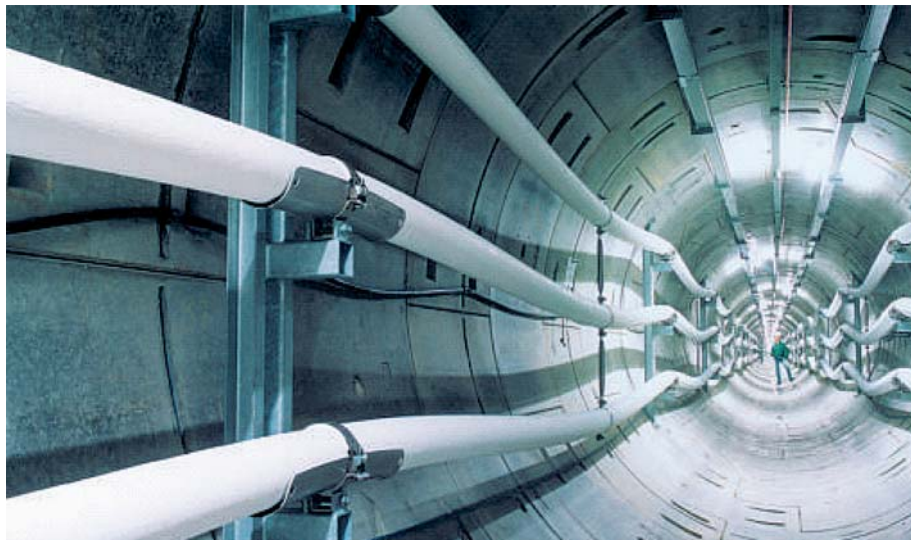
Руководство крупных федеральных электросетевых компаний, таких как ОАО «Россети», как наиболее заинтересованные стороны, предпринимают шаги по решению вышеуказанных вопросов. Были разработаны положения технической политики ОАО «Россети» по вопросам технологии производства строительно-монтажных работ в процессе строительства КЛ, технического перевооружения и реконструкции КЛ, использования кабельной продукции и арматуры, применения систем транспозиции, организации эксплуатации КЛ 110—500 кВ, диагностики и мониторинга КЛ, которые, в частности, базировались на разработанных и введённых ОАО «ФСК ЕЭС» стандартах организации:

- СТО 56947007-29.060.20.072-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110—500 кВ. Условия создания. Нормы и требования. Дата введения: 26.04.2011;
- СТО 56947007-29.060.20.072-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110—500 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Дата введения: 25.03.2011;
- СТО 56947007-29.060.20.103-2011. Силовые кабели. Методика расчёта устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110—500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Дата введения: 11.10.2011 г.

Это очень важный шаг к повышению качества создания кабельных линий.

Среди наиболее важных акцентов можно отметить формализованные требования по чистоте процесса производства кабеля, гарантирующие снижение дефектности изоляционной системы производимых кабелей, и обязательные требования по проведению длительных испытаний кабельной системы на надёжность по МЭК 62 067 в тех сочетани-

Рис. 8. 2КЛ-400 кВ, прокладка в туннеле, длина 6,3 км, Берлин, 1998 г.



ях кабелей и арматуры, которые планируется установить на объекте.

Однако часть требований имеет рекомендательный или локальный характер, например требование о применении способа прокладки КЛ в лотках (на эстакадах или в коллекторах) только на

и выше с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, рассматривая кабельную линию как систему.

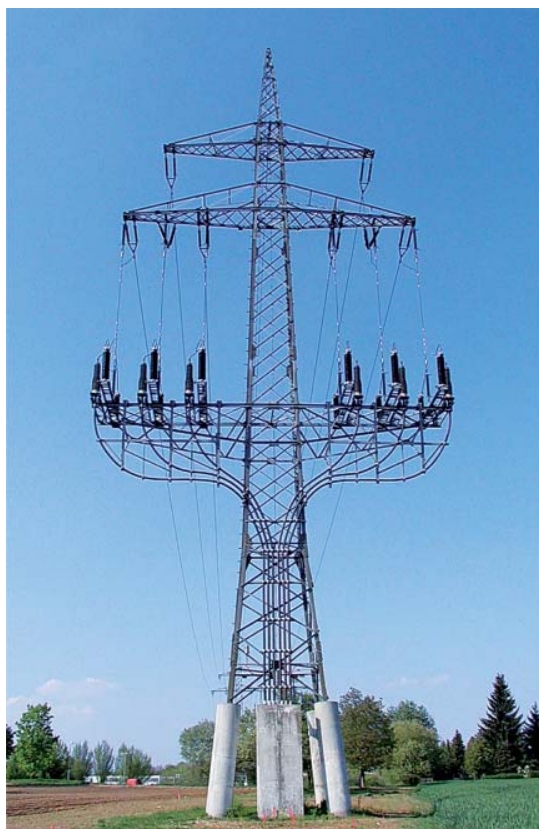
Необходимо конкретизировать само понятие «кабельная система» с целью однозначного понимания смысла данного термина в контексте дальнейших предложений.

территории ПС. А что вне территории?

Спорным является рекомендация прокладывать в городах кабели под тротуарами, по дворам и по газонам. Непонятно требование строить в городах закрытые переходные пункты. Учитывая, что воздушные линии по территории мегаполисов уже не строятся, а существующие — каблируются, переходные пункты, как правило, располагаются по окраинам городов. А там переходные пункты на опорах ВЛ являются оптимальным решением (рис. 9).

Перечисленных стандартов недостаточно. Необходимо в срочном порядке разработать типовые проекты кабельных линий 110 кВ

Рис. 9. Переходные пункты на опорах ВЛ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КЛ

Под «кабельной системой высокого напряжения» предлагается понимать кабельные линии электропередачи на напряжение 110 кВ и выше со всеми сопутствующими элементами, обеспечивающими её надёжную и безопасную эксплуатацию в течение всего срока службы.

Состав этих элементов включает в себя (но не исчерпывается) в том числе устройства заземления и транспозиции, кабельную арматуру, устройства мониторинга температуры, каналы связи, элементы механической защиты линий и т.д.

Проектирование и строительство таких кабельных систем должны вестись во взаимоувязке со всеми элементами систем. Пока же требование комплексности системы, согласно технической политике ОАО «ФСК ЕЭС», ограничено применением кабелей со встроенным оптоволоком для мониторинга температуры кабеля.

Какие ещё меры, на мой взгляд, смогут содействовать ускорению решения озвученных проблем.

1. Прокладка высоковольтных кабельных систем в городах должна вестись по единым установленным стандартам, учитывающим специфику столь технически сложного электросетевого объекта. Конечная стоимость создаваемых линейных объектов и их значимость в системах городского электроснабжения, будут только возрастать, поэтому прокладка данного типа линий заслуживает особенного изучения и проработки на федеральном уровне. Полагаю необходимым осуществить разработку и принятие обязательных государственных стандартов строительства кабельных сооружений на перспективу развития с учётом уже полученного опыта работы в передовых странах, эксплуатирующих высоковольтные системы достаточно продолжительное время. И здесь необходимо участие специалистов системообразующих компаний: ОАО «Россети» под руководством Минэнерго России, с обязательным введением регулирующих стандартов отраслевыми и федеральными нормативными документами.

2. Рассматривать проектирование, строительство и поставку оборудования для прокладки кабельной системы как единый технологический процесс, который ведётся под авторским надзором главного инженера проекта, ввести требование заключения договоров об авторском надзоре.

3. Обязать подрядные организации заключать договора и организовывать шеф-монтаж и шеф-надзор при строительстве всех компонентов кабельной системы со стороны компаний-производителей с целью сохранения повышенных гарантий, предоставляемых данными компаниями. При заключении подрядных договоров предусмотреть установление сроков гарантийного обслуживания высоковольтных кабельных систем со стороны подрядчиков на срок не менее 10—15 лет.

4. Как возможный вариант ввести практику предоставления гарантии на всю кабельную систему со стороны завода-изготовителя кабельной продукции. При этом предусмотреть право завода-изготовителя самостоятельно принимать решения в части осуществления шеф-монтажа, шеф-надзора, выбора кабельной арматуры и иных сопутствующих вопросов прокладки кабельных трасс с целью последующего представления им гарантии на всю кабельную систему на срок не менее 10—15 лет.

5. Для реализации указанных механизмов предоставления продлённых гарантий на единые кабельные системы внести необходимые коррективы в техническую политику электросетевых компаний в части требований, предъявляемых к проектированию, строительству, шеф-монтажу, приёмке продукции, технадзору, приёмке законченных строительством объектов, а так же требований к гарантийным обязательствам на кабельные системы.

6. Разработать предложения по формированию типовых проектных решений, обеспечивающих снижение аварийности кабельных систем и возможности их повреждения при эксплуатации, включая проработку способов прокладки кабельных линий высокого напряжения, повышающих защищённость кабельных систем от повреждений (прокладка в лотках, коллекторах, тоннелях и других видах канализации).

7. Активно внедрять проведение мониторинга и различных видов диагностики кабельных систем, замеры их характеристик, в том числе замеры частичных разрядов. Исследовать возможности осуществления полной приборной диагностики оболочек кабеля, в том числе развивать технологии оценки технического состояния КЛ без вывода линий из работы (согласно требованиям ОАО «ФСК ЕЭС»). Шире внедрять передвижные испытательные установки для периодического контроля уровней ЧР. Изначально предусмотреть использование кабельной арматуры, имеющей специальные адаптеры для регулярного контроля уровней ЧР (согласно требованиям ОАО «ФСК ЕЭС»).

8. С целью организации последующей безаварийной эксплуатации предусмотреть входной контроль поставляемой кабельной продукции на разных этапах производства, поставки и прокладки кабельных систем с участием представителей будущих эксплуатирующих организаций. Разработать единые правила приёмки КЛ 110—500 кВ в эксплуатацию и ввести их обязательность нормативным актом. Большое внимание уделять обучению персонала эксплуатации высоковольтных кабельных систем — здесь экономить нельзя. Обслуживание сложных систем требует инженерного уровня знаний у персонала.