

# Нестандартные решения при монтаже КЛ 6–500 кВ

Хотя основные законы электротехники сохраняются неизменными для всех стран мира, этого никак нельзя сказать про используемые странами технические решения – они могут заметно отличаться. В сегодняшнем материале, давайте приведем ряд примеров, которые относятся к кабельным муфтам среднего и высокого напряжения. Некоторые из вариантов установки покажутся странными и даже опасными, а некоторые, напротив, можно было учесть при реализации отечественных проектов кабельных линий.

**Дмитриев М.В.,**  
к.т.н., доцент

## СЕТИ СРЕДНЕГО НАПЯЖЕНИЯ

На рисунке 1а показаны концевые муфты среднего напряжения. Как видно, экраны трех одножильных кабелей выведены из муфт наружу, затем аккуратно сплетены вместе, далее опрессованы в общий наконечник и заземлены. Решение выглядит очень эффективно, и не вызывает сомнения, что монтажник работал максимально ответственно. Однако в дальнейшем здесь возникнут трудности с испытаниями кабелей и, если потребуется, поиском мест их повреждения. Так,

согласно нормам, после монтажа кабельной линии (КЛ) и периодически в процессе ее эксплуатации требуется проверка целостности наружной полимерной оболочки кабелей. Данная процедура проводится отдельно для каждой фазы, требует разземления экранов и их отсоединения друг от друга — с таким рассоединением и возникнут проблемы, ведь эти экраны были опрессованы вместе. Поэтому решение, показанное на рисунке 1а, едва ли можно считать удобным, и лучше опрессовывать каждый экран отдельно, как показано на рисунке 1б.

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ



а)



б)

*Рис. 1. Заземление экранов однофазных кабелей среднего напряжения: а) опрессовка трех экранов вместе; б) опрессовка трех экранов по отдельности*



Рис. 2. Одностороннее заземление экранов кабелей среднего напряжения: а) экраны подключены к ОПН; б) экраны частично изолированы; в) экраны полностью изолированы; г) экраны оголены (в ячейке); д) экраны оголены (на опоре)

Обычно экраны однофазных КЛ среднего напряжения имеют простое двустороннее заземление. Тогда в нормальном режиме в экранах возникают наведенные токи частоты 50 Гц, а между экранами — так называемые уравнительные токи. Следовательно, точки заземления экранов фаз на корпус кабельной ячейки все же лучше располагать как можно ближе друг к другу, чтобы уравнительные токи не замыкались по металлу корпуса ячейки (еще ближе, чем показано на рисунке 1б).

На рисунке 2 показаны концевые муфты среднего напряжения тех КЛ, для которых все же выполнено одностороннее заземление экранов (для борьбы с наведенными токами). Видно, что разземление экранов реализовано достаточно просто, без применения каких-либо концевых коробок, распространенных в нашей стране. Зарубежом встречаются

варианты с ограничителями импульсных перенапряжений (ОПН) в экранах, однако чаще в сетях среднего напряжения ОПН вовсе отсутствуют. При этом разземленные экраны остаются в ячейке, и можно выделить разные варианты:

- экраны частично изолированы (термоусадкой);
- экраны полностью изолированы (термоусадкой);
- экраны полностью оголены.

Интересно, что перечисленные случаи рисунка 2 относятся к кабельным отсекам РУ среднего напряжения, куда, строго говоря, возможен доступ персонала. В нашей стране наличие разземления экранов без их полной изоляции едва ли будет приветствоваться. Однако, например, вариант, когда оголенные экраны находятся на опоре на высоте (рисунок 2д), вполне возможен даже у нас.



Рис. 3. Резервная муфта и резервный кабель

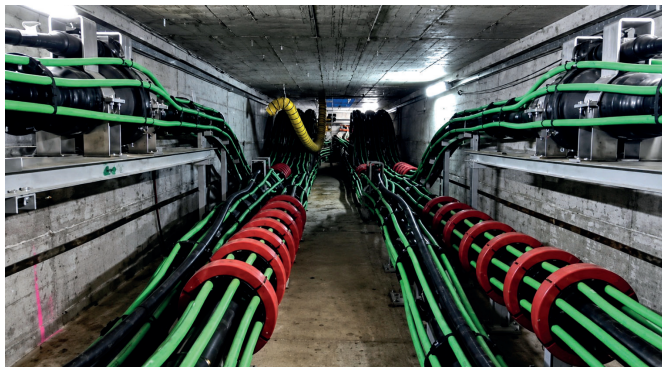
### СЕТИ ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ (HVAC)

На рисунке 3 показан фрагмент распределительного устройства 132 кВ, в той его части, где установлены концевые кабельные муфты. Интерес здесь представляет то, что помимо трех рабочих муфт

с отвечающими им кабелями, установлена четвертая муфта с кабелем, играющая роль резервной. Решение иметь предустановленную резервную муфту и кабель является редким, однако, к сожалению, не удалось выяснить, а по каким именно причинам оно было необходимо. Четвертая фаза — это не просто прямые затраты на оборудование, но также и решение сложных вопросов о выборе оптимального взаимного расположения кабелей под землей, так чтобы резервная фаза (если она когда-либо потребуется) была бы в более-менее равных условиях с любыми двумя основными (из трех фаз исходной КЛ) и не вносила несимметрии в работу КЛ, ее продольные параметры и тепловое поле.

На рисунке 4 показана двухцепная линия 245 кВ в том месте, где в тоннеле размещены соединительные муфты. При установке муфт расстояние между тремя фазами КЛ обычно оказывается увеличенным по сравнению с тем, какое оно на трассе. Это означает, что переменные магнитные поля фаз КЛ хуже компенсируют друг друга, и места установки муфт становятся местами повышенной напряженности магнитного поля. Для снижения напряженности пришлось размещать систему проводников (здесь — с зеленой оболочкой), объединенных в замкнутые контуры. Магнитное поле КЛ наводит в таких проводниках переменный ток частоты 50 Гц, который своим магнитным полем ослабляет поле основных кабелей КЛ. Интересно, что разработки систем для магнитного экранирования муфтовых полей КЛ высокого напряжения велись и у нас, однако автору статьи не известно были ли достигнуты значимые результаты и нашли ли они применение.

На рисунке 5 показана кабельная линия 245 кВ, каждая фаза которой, казалось бы, имеет не одну муфту, а сразу три подряд. Складывается впечатление, что перед нами не новый объект, а «много-страдальный» старый объект, где несколько раз проводился перемонтаж муфт (скажем, при перемонтаже было недостаточно длины имеющегося кабеля, и его пришлось удлинять, делая вставку в несколько метров с установкой муфт по концам добавленного участка). Однако данное впечатление ошибочное, и перед нами система для мониторинга частичных разрядов (ЧР) в муфте. Эта система предполагает, что слева и справа от основной



а)

Рис. 4. Компенсация магнитного поля кабелей: а) общий вид кабелей; б) соединительная муфта



б)

муфты устанавливаются «маленькие муфты», обеспечивающие доступ к экрану кабеля, необходимый для монтажа системы мониторинга.

### СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ (HVDC)

Кабельные линии постоянного тока высокого и сверхвысокого напряжения находят все более широкое применение. Например, они используются для передачи значительной мощности на большие расстояния, что актуально, прежде всего, при преодолении водных преград. Так, HVDC-кабельные передачи применяются для связи энергосистем по дну морей или для организации схем выдачи мощности крупных офшорных ветряных парков. Однако, применение HVDC-кабелей не ограничивается только морским исполнением.

Так, в Германии в настоящее время строятся сразу несколько линий HVDC 525 кВ, которые будут пересекать страну с севера на юг, от региона выработки мощности в регион ее потребления. При этом часть линий имеет изоляцию из сшитого полиэтилена (СПЭ), а часть линий — изоляцию из полипропилена (ПП). Таким образом, имея два разных типа изоляции, можно будет сравнить технологии и сделать выводы относительно преимуществ и недостатков ПП. Несмотря на эксперименты с полипропиленом, в настоящее время, в прошлом и в обозримом будущем, доминирующим типом изоляции кабелей HVDC 400–550 кВ все же остается именно СПЭ.

Интересно, что некоторые специалисты по кабелям переменного тока уверены, что СПЭ-изоляция совершенно не предназначена для работы на постоянном напряжении. Данное мнение сложилось, так как первые кабели среднего напряжения с изоляцией из СПЭ испытывались шестикратным постоянным напряжением — также, как это было принято делать для уходящих в прошлое кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией. Приложение столь высокого постоянного напряжения вызвало разрыв связей молекул СПЭ, и кабель терял свои замечательные свойства. Таким образом, у многих сложилось впечатление, что СПЭ-изоляция и постоянное напряжение несовместимы. Вместе с тем это ошибочно, и при верном выборе толщины изоляции (то есть рабочей напряженности поля), кабели с изоляцией из СПЭ прекрасно работают не только на среднее напряжение, но даже для HVDC на классы до 500–550 кВ.

На рисунке 6 показана кабельная линия HVDC 525 кВ. Однако кажется, что это не так, и перед нами КЛ переменного тока (HVAC), а вовсе не постоянно, ведь показаны три кабеля, выполняющие роль трех фаз. Вместе с тем, если присмотреться, то видно, что левый из трех кабелей имеет меньший диаметр, чем два других. Таким образом, перед нами биполярная электропередача HVDC (положительный и отрицательный полюса), для которой специально проложен дополнительный кабель с целью (при необходимости) обеспечения работы в однополярном режиме, с возвратом тока по кабелю (а не в толще земли). В роли «возвратного» ка-



Рис. 5. Кабельные муфты с мониторингом ЧР

беля выступает тот, что слева, имеющий меньший наружный диаметр, так как этот кабель выполняет роль «земли», то есть лишен высокого напряжения на жиле, а значит не нуждается в «толстой» изоляции, какую имеют два других рабочих кабеля, выполняющие роль положительного и отрицательного полюсов.

Проект интересен и тем, что «возвратный» кабель расположен не между полюсами, а с краю (слева). Это означает, что два полюса расположены близко друг к другу и хуже охлаждаются в нормальном режиме, однако магнитное поле электропередачи, напротив, более благоприятно в силу компенсации полей полюсов. Таким образом, выбирая между повышением пропускной способности КЛ и снижением магнитного поля, выбрали второе.

На рисунке 7 показана биполярная линия HVDC 525 кВ с возвратом тока по земле (если какой-то полюс отключается, то другой продолжает работать с возвратом тока в толще земли). Таким образом,



Рис. 6. Биполярная HVDC с кабелем для возврата тока

рассматриваемая система содержит только два кабеля, а не три, как это было на рисунке 6. Пример рисунка 7 интересен тем, что соединительные муфты уложены на специальные фиксирующие ложементы, и такое решение было бы полезно иметь для любых КЛ напряжением выше 110 кВ.

На рисунке 8 показана биполярная линия HVDC 400 кВ. Внимание следует уделить тем мерам, ко-



Рис. 8. Биполярная HVDC с защитой соединительных муфт от термомеханических сил



Рис. 7. Биполярная HVDC с муфтами на ложементах

торые выполнены для фиксации кабеля перед его заходом в муфту. Выложенная «змейка» из кабеля и крепление кабелей мощными хомутами необходимы, так как кабель имеет значительное сечение жилы (более 2500 мм<sup>2</sup>) и повышенную строительную длину между соседними муфтовыми полями (более 1,5 км), что означает появление на участке между муфтами опасных продольных термомеханических сил, связанных с изменением длины кабелей под влиянием циклов их периодического нагрева и охлаждения. Чтобы эти силы не передавались на муфты и не привели к их повреждению, кабели перед муфтами требуют самого надежного крепления, что и видно на рисунке 8.

Интересно, что при монтаже соединительных муфт проектов HVAC и HVDC место монтажа муфт не просто накрывается временным тентом из брезента или пленки, как это принято для большинства проектов 6–220 кВ, а получает более солидную защиту в виде металлической конструкции, чем-то напоминающей морской контейнер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примеры новых проектов КЛ, показанные в статье, говорят о том, что кабельная отрасль не стоит на месте, а находится в постоянном поиске оптимальных технических решений. И, как видно, такие решения могут существенно отличаться между странами, крайне затрудняя разработку единых международных стандартов по кабелям. 