

УДК 621.312

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СПЭ.

Алехнович Д.С.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Долгие годы в категории кабелей среднего напряжения преобладали кабели с пропитанной бумажной изоляцией (БПИ). Это связано с тем, что БПИ являлась единственным видом изоляции на данное напряжение. Наряду с этим шел интенсивный поиск изоляционного материала на основе полимерных композиций, который обладал бы значительными преимуществами и мог заменить БПИ. Такой материал был получен на основе полиэтилена и получил название «сшитый полиэтилен».

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) призваны заменить морально устаревшие кабели с пропитанной бумажной изоляцией. Этот процесс в промышленно развитых странах начал осуществляться с 70-х годов.

В настоящее время многие страны практически полностью перешли на использование силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) и имеют положительный опыт эксплуатации. Так в США и Канаде данные кабели занимают 85% всего рынка силовых кабелей, Германии и Дании – 95%, а в Японии, Франции, Финляндии и Швеции – 100%.

Большая часть кабелей, проложенных в России и странах СНГ, имеют пропитанную бумажную изоляцию, и их конструкция практически остается неизменной в течение уже нескольких десятилетий. Эти кабели имеют множество недостатков: ограничения по разности уровней прокладки и передаваемой мощности, частая повреждаемость, невысокая технологичность монтажа муфт. Во времена отсутствия реальной альтернативы кабелям с бумажной изоляцией приходилось мириться с их изъянами и принимать дополнительные меры для обеспечения надёжности электроснабжения потребителей и нагрузочных требований. Создавались резервирующие линии, прокладывались параллельные кабели, что, естественно, приводило к существенному усложнению схемы электрической сети и росту капитальных вложений. С другой стороны, частая повреждаемость кабельных линий (КЛ) требовала наличия в штате квалифицированных специалистов по испытанию и отысканию мест повреждений и ремонту КЛ, по проведению земляных работ. Исправить эту ситуацию могло только существенное изменение устройства кабелей, что и случилось с началом промышленного изготовления кабелей с изоляцией из СПЭ.

Кабели с материалом изоляции из СПЭ не имеют многих недостатков, характерных для кабелей с бумажной изоляцией, поэтому их применение позволяет решить многие назревшие проблемы по обеспечению надёжности электроснабжения, упрощения и оптимизации схемы сети, снижению расходов на реконструкцию и эксплуатацию КЛ. Своими уникальными характеристиками кабели с изоляцией из СПЭ обязаны применяемому в них

изоляционному материалу. На современных предприятиях, производящих кабели, процесс сшивки (или вулканизации) производится в среде нейтрального газа при высоком давлении и температуре. Такой способ вулканизации делает возможным получение достаточной степени сшивки по всей толщине изоляции и обеспечивает отсутствие воздушных включений. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между молекулами полиэтилена, в основном и определяют характеристики нового материала. Кроме высоких диэлектрических свойств это и больший, чем у других кабельных изоляционных материалов, диапазон рабочих температур и отличные механические свойства.

Благодаря идеальному сочетанию в полиэтилене электрических, физических и технологических свойств, изоляция кабелей стала одной из важнейших областей его применения.

Однако, изоляции кабелей и проводов из термопластичного полиэтилена присущи существенные недостатки, главными из которых является ползучесть и резкое ухудшение механических свойств при температурах, близких к температуре плавления, вплоть до потери формоустойчивости. Кроме того, внутренние напряжения, "замороженные в изоляции" при ее изготовлении, проявляют себя при повышенных рабочих температурах, приводя к заметной усадке, а в ряде случаев и к растрескиванию изоляции.

Эти проблемы можно решить, применяя сшитый полиэтилен, который имеет существенные преимущества перед термопластичным: высокие электрические и механические параметры в более широком диапазоне рабочих температур, малую гигроскопичность (водопоглощаемость) и т.д.

Указанные выше положительные качества сшитого полиэтилена достигаются благодаря процессу сшивки. Термин "сшивка" подразумевает изменение молекулярной структуры полиэтилена. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между молекулами полиэтилена, создают новую трехмерную структуру, которая и определяет высокие электрические и механические характеристики материала.

При производстве кабелей с изоляцией из СПЭ на напряжение 10 кВ используются две технологии сшивания изоляции: пероксидной сшивки на линиях газовой вулканизации для кабелей среднего (10-35 кВ) и высокого напряжений (110 кВ и выше), а также силановой сшивки для кабелей низкого и среднего напряжения (0,66-20 кВ).

Технология пероксидной сшивки

Исторически технология пероксидной сшивки получила преимущественное распространение по следующим причинам:

- возможность производства на технологических линиях газовой вулканизации кабелей как среднего, так и высокого напряжений;
- из-за коммерческого интереса производителей технологических линий (стоимость линии газовой вулканизации примерно в 2 раза выше "силановой", и, соответственно, монополярные производители линий были заинтересованы в продвижении такой технологии).

В настоящее время наступило насыщение мирового рынка данным видом оборудования, и потребность в таких линиях значительно снизилась.

С 1953 года в производстве кабелей среднего напряжения с изоляцией из СПЭ главную роль играла сшивка при помощи пероксидов в среде пара, а в последние годы – в среде газа (сухая вулканизация). Основным недостатком пероксидной сшивки в том, что процесс является точным (под термином "точный" в пероксидной сшивке понимается обеспечение точности технологического процесса, любое отклонение от которого ведет к неудовлетворительному качеству кабеля или вообще к браку), сложным и дорогим. В связи с этим специалисты начали искать другие пути химической модификации (сшивки) полиэтилена. Такой путь был найден в 70-х годах фирмой "Down Corning". Он позволил использовать органофункциональные силаны для сшивки полиэтилена с помощью достаточно простого и гибкого в использовании двухстадийного процесса "Sioplas".

Однако, до сих пор некоторые производители кабелей, оснащенные линиями газовой вулканизации, для продвижения на рынке России и стран СНГ своих кабелей используют в конкурентной борьбе различные доводы в пользу технологии газовой пероксидной вулканизации, необоснованно отвергая альтернативную технологию силановой сшивки.

Технология силановой сшивки

В предыдущие годы технология силановой сшивки получила меньшее распространение, чем технология пероксидной сшивки в производстве кабелей среднего напряжения, но начиная с 80-х годов ряд известных зарубежных фирм успешно производят кабели на различные классы напряжения по этой технологии: фирма "BICC" (Великобритания), фирма "NKF" (теперь "Pirelli") в Нидерландах, ряд австралийских фирм, фирма "Kabelwerk Studer" (Швейцария). Всего в мире эксплуатируется несколько десятков технологических линий для производства кабелей среднего напряжения по технологии силановой сшивки. Только фирма "Mailleffer" поставила к настоящему времени 20 технологических линий, которые успешно работают по этой технологии.

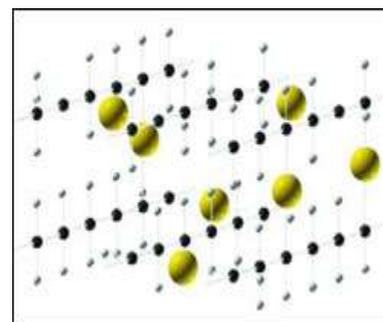


Рисунок 1. Структура сшитого полиэтилена

Суть технологии силановой сшивки заключается в следующем: Линейные цепочки полиэтилена соединяется посредством так называемого "силанового мостика" Si-O-Si, а не связи C-C, которая имеет место в пероксидной сшивке. Поскольку каждый атом Si имеет по три реакционноспособных группы, то в каждом узле сшивки может быть соединено до шести макромолекул полиэтилена (при пероксидной сшивке в связи C-C соединяются всего 2 макромолекулы). Это обеспечивает большую густоту молекулярной сетки, что, несомненно, положительно сказывается на свойствах материала.

С учетом анализа международного опыта, а также последних достижений в области материалов и оборудования по методу силановой сшивки полиэтилена

было принято решение по организации производства кабелей 10 кВ по данной технологии на заводе "Камкабель", г. Пермь.

В связи с тем, что технология силановой сшивки не применялась ранее в России при производстве кабелей среднего напряжения и имеют место необъективные представления о качественных показателях кабелей, распространяемые из конкурентных соображений зарубежными и отечественными производителями кабелей по пероксидносшиваемой технологии – в совместном "Решении ВНИИКП и МКС "Мосэнерго" об освоении производства и применения силовых кабелей на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена" была предусмотрена программа сравнительных испытаний кабелей, изготовленных по технологии силановой и пероксидной сшивки.

В лабораториях ВНИИКП (Всероссийского научноисследовательского института кабельной промышленности) был выполнен достаточно широкий круг испытаний и исследований кабелей на напряжение 10 кВ, изготовленных по технологии силановой и пероксидной сшивки.

На основании результатов проведенных испытаний сделаны следующие заключения:

1) Морфологические (структурные) свойства изоляционных слоев, сшитых разными способами, аналогичны. Изоляция, изготовленная по технологии силановой сшивки, содержит меньшее количество характерных крупномасштабных структурных элементов ("облаков"), и сами эти элементы имеют меньшие размеры;

2) Силаносшитая изоляция характеризуется пониженной интенсивностью внутренних механических напряжений;

3) Степень сшивки изоляции в обоих кабелях одинакова. Силаносшитая изоляция в исходном состоянии отличается более высокой термоокислительной стабильностью;

4) Силаносшитая изоляция обладает более высокой кратковременной локальной электрической прочностью, определяемой по скорости роста электрических триингов.

Выводы

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена стали неотъемлемой частью энергетики стран СНГ. Благодаря расширению технологии силановой сшивки кабельная продукция увеличит свой срок эксплуатации, что положительно скажется на надежности всей связанной энергосистемы в целом и в свою очередь приведет к увеличению производственных мощностей и положительной динамике экономики.

Литература

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б Козловская, И.В. Колосова. - Минск: ИВЦ Минфина. 2017. - 589 с.

2. Инструкция по эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6, 10, 20, 35 кВ. Издание 2. – Кольчугино: ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод». – 2008. – 38с.

3. Силовая сшивка. Новые разработки. Режим доступа: [www.tyret.ru/userfiles/file/doc/cable/XLPE Cable System Users Guide](http://www.tyret.ru/userfiles/file/doc/cable/XLPE_Cable_System_Users_Guide) .- Дата доступа 06.04.2020.