

Испытания кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и технология процесса испытаний

Царевская Анастасия Евгеньевна

филиал ФГАОУ "Мурманский арктический университет" в г. Кировске Мурманской области, Россия

Преподаватель

E-mail: tsarevskaya122@gmail.com

Новосельцева Тина Владимировна

филиал ФГАОУ "Мурманский арктический университет" в г. Кировске Мурманской области, Россия

Преподаватель

E-mail: tina.novoseltseva@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности испытаний кабелей со СПЭ-изоляцией, проведено исследование характеристик кабелей со сшитой полиэтиленовой изоляцией, результатов их испытание на стойкость к деформации и попаданию влаги, а также сравнение различных типов изоляции кабелей.

Ключевые слова: СПЭ-изоляция, сшитый полиэтилен, кабельные жилы, триингообразование, электрохимический пробой.

Испытание кабелей со СПЭ изоляцией является актуальным и рассматривается ведущими специалистами. Интерес к данному вопросу связан и с конструктивными особенностями кабеля, и с характеристиками материала, который используется для изготовления изоляции. Не меньшее внимание уделяется и таким вопросам, как диагностика и периодичность испытаний кабельных линий с СПЭ-изоляцией. Опыт европейских коллег является весьма ценным, даёт возможность структурировать информацию, касающуюся вопросов прокладки, диагностики и обслуживания кабельных линий.

1. Виды повреждений кабелей, имеющих СПЭ-изоляцию.

Специалистами выделяются четыре типа повреждений кабеля со СПЭ-изоляцией, являющихся основными:

- внешние повреждения изоляции, которые возникают в результате нарушения технологии прокладки. Такие повреждения составляют 70% общего количества регистрируемых повреждений кабеля;

- внутренние повреждения изоляции, которые являются результатом несоблюдения правил эксплуатации (испытанием постоянным напряжением), а также вызываются естественным устареванием (появление триингов, водных деревьев);

- различные повреждения имеющегося защитного экрана кабеля;

- разнотипные повреждения кабельных жил.

Повреждения кабеля из сшитого полиэтилена.

Испытание кабеля из сшитого полиэтилена повышенным напряжением постоянного тока оказалось неэффективным и непригодным, хотя с большим успехом оно применялось для тестирования кабелей, имеющих бумажно-пропитанную изоляцию. В случае испытания силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением постоянного тока происходит образование объёмного заряда на микровключениях молекул воды, являющихся инородными. Разрядка данного заряда при традиционном снятии с кабеля остаточного заряда путём заземления не происходит, потому что снизу и сверху данного «конденсатора» находится сшитый полиэтилен (диэлектрик).

Дальнейшая подача рабочего напряжения приводит к суммированию напряжённостей электрических полей и может вызвать локальное превышение предела прочности изоляции, что вызовет появление особых "электрических древовидных структур" (водные триинги). Изоляция повреждается (причём повреждения носят необратимый характер), наличие частичных разрядов, которые возникают в слабых местах изоляции, способствует дальнейшему развитию водяных деревьев. Но не только это приводит к развитию водяных деревьев, также способствуют их «разрастанию» действия электрического поля, имеющейся воды, различные механические дефекты, время. Все перечисленные факторы вместе с возникшими водяными деревьями через определённое время приводят к пробою, который возникает именно в месте основного скопления данных водяных деревьев. К тому же, испытание СПЭ кабелей повышенным напряжением постоянного электрического тока не даёт никаких возможностей для выявления зарождающихся повреждений серьёзного характера.

1) Водные триинги в изоляции СПЭ кабелей.

Водными триингами (от англ. «tree» - дерево) (далее - ВТ) называют микроканалы в полиэтиленовой изоляции, заполненные водой и другими химическими соединениями.

Несмотря на то, что в настоящее время не существует единого мнения о механизме возникновения и развития ВТ, в основе объяснения природы триингов большинством исследователей лежат одни и те же физические, химические и электрические явления. Поэтому ниже излагается обобщенная модель ВТ, основанная на анализе результатов ряда исследовательских работ.

Процесс образования ВТ зависит от многих причин: напряженности электрического поля, частоты, длительности воздействия повышенной напряженности, температуры или ее градиента, изоляционного материала, наличия в изоляции антиоксидантов и стабилизаторов напряженности, загрязнений различного типа, полупроводящих экранов по

жиле и изоляции, проникновения воды и образования химических соединений в растворах, конструкции кабеля и т.п.

Триингообразование можно условно разделить на три стадии.

Первая стадия: во время вулканизации полиэтилена возникает большое количество микрополостей диаметром 1-30 мкм. Такие микропоры могут, например, возникнуть из-за несовершенного распределения наполнителя в полимерной матрице. В изоляции всегда имеются небольшие количества воды в виде растворов или гомогенно распределенные по толщине. После вулканизации полиэтиленовой изоляции кабеля остается влага. Однако эта влага не образуется в процессе реакции сшивания, а образуется в течение последующих технологических реакций. Вода проникает в изоляцию также в процессе эксплуатации из электропроводящих слоев и внешней среды; увлажнение возникает также в результате теплопередачи. Если изоляция из сшитого полиэтилена окружена водой, то водяные пары диффундируют в изоляцию и насыщают ее в тем большей степени, чем выше ее температура.

Под действием электрического поля высокополярная молекула воды за счет сил, возникающих при электрофорезе, притягивается к местам с повышенной напряженностью (микропоры, пористые загрязнения, микротрещины). Уже при средней напряженности электрического поля, превышающей 2мВ/м, следует учитывать возможность быстрого образования триингов. В результате образуются местные скопления воды, по своей структуре близкие к перенасыщенным водным растворам. Через определенное время после начала эксплуатации к микропорам диффундируют и другие продукты, образующиеся при вулканизации полиэтилена.

Вторая стадия: вблизи предела растворимости вода выделяется в форме жидкой фазы. Капли воды конденсируются на поверхностях микрополостей, частично заполняя их. Это приводит к еще большей степени неоднородности электрического поля и возможно к возникновению незначительных частичных разрядов (далее - ЧР), которые не могут быть зарегистрированы современной аппаратурой. Эту стадию можно назвать началом ВТ.

Третья стадия: в результате выделения вовремя ЧР тепловой энергии, часть объема воды превращается в пар, что в свою очередь приводит к местному повышению давления в микропорах. Повышенное давление вызывает механическое растрескивание полимера и увеличение объема микрополостей. Кроме того, силы Максвелла, действующие на заполненные водой поры, стремятся исказить их форму в направлении электрического поля. Также следует учитывать ускоренное старение изоляции в подобных областях, т.е. разложение полиэтилена.

Установлено, что загрязнения, существующие в электропроводящих экранах, могут явиться источником разветвленных древовидных образований. Это скорее всего объясняется не механическими, а электрическими причинами, поскольку скопление воды за счет электрофореза в данном случае невозможно. С учетом этого образование ВТ можно связывать с химическими процессами, которые тесно связаны с механическими воздействиями.

Одной из причин возникновения ВТ являются также различные неоднородности на поверхностях проводников. Повышенная напряженность электрического поля на подобных участках ведет к появлению описанных выше процессов.

Несмотря на то, что пока не ясно, какие из этих воздействий являются доминирующими, все они приводят к одному и тому же результату: в окрестностях водных триингов в зоне частично пораженной изоляции на определенной стадии процесса наблюдаются структуры, характеризующиеся наличием заполненные водой каналов (возможно и не связанных друг с другом) диаметром от 0,1 до 20 мкм. Причем такие структуры могут прорасти на всю толщину изоляции и при этом не приводят к пробое изоляции. Электрическая же прочность полиэтилена в этом случае значительно снижается.

Среди разнообразных по форме ВТ принято выделять две основные группы: триинги типа "куст" триинги типа "бант". Разветвленные древовидные образования начинают свой рост с поверхности изоляции, в основном с участков, в которых существует неоднородность структуры на границе между изоляцией и внутренним или наружным полупроводящим слоем. Триинги типа «бант» развиваются из неоднородностей внутри изоляции (загрязнения, включения, микропоры). Они растут более медленно, чем разветвленные, и постепенно их рост вообще приостанавливается. Следует заметить, что только часть микроскопически малых загрязнений и микропор становятся источниками развития триингов. Максимальные длины триингов составляют: для разветвленных – до нескольких миллиметров, для триингов типа «бант» - до нескольких сотен микрометров.

Развитие крупных разветвленных древовидных образований сопровождается переходом ВТ в электрические. На последней стадии может развиваться ударная ионизация, обусловленная повышенными значениями электрической напряженности в окончаниях полностью или частично заполненных каналов. Высокие значения напряженности могут возникнуть при воздействии перенапряжений в реальных условиях эксплуатации. В случае значительных перенапряжений водные каналы ионизируются и становятся проводящими. Поэтому потенциал электрода проникает в толщу изоляции и при определенных значениях напряженности изоляция пробивается. Эту гипотезу, подтверждают исследования, в которых был замечен ускоренный рост триингов в полиэтилене с добавками (некоторыми

стабилизаторами). Стабилизатор мигрировал в каналы, благодаря этому проводимость триинга увеличивалась, и потенциал проводника переносился на концы триингов.

Важно указать на существенное различие водных и электрических триингов, которые хорошо известны на основании результатов испытаний твердых изоляционных материалов с использованием в качестве одного из электродов иглы. Электрические триинги зарождаются при относительно высоких напряженностях электрического поля и ЧР в изоляции. В результате образуются быстро развивающиеся каналы в виде полостей, которые способствуют электрическому пробою. В противоположность электрическим триингам ВТ зарождаются при напряженностях, близких к рабочим или даже ниже их. Поэтому они отличаются исключительно медленным ростом, продолжающимся в течение нескольких лет. В настоящее время предполагается, что ЧР в изоляции при наличии ВТ отсутствуют. Возможно, однако, что ЧР все-таки присутствуют, но их уровень незначителен.

Таким образом, для появления ВТ необходимо выполнение следующих условий: существование неоднородностей либо в полиэтилене (микрополостей, микрочастиц), либо на границе изоляции с проводниками (неровности, заусеницы); присутствие в полиэтилене влаги (по достаточно 100 л/млн); наличие электрического поля.

Основной причиной целесообразности диагностики ВТ является то обстоятельство, что ВТ приводят к уменьшению электрической прочности изоляции. Приводится информация об электрической прочности кабеля с полиэтиленовой изоляцией, проходящего эксплуатацию в течение 8 лет при средней напряженности электрического поля 1,8 мВ/м. Испытание образцов этого кабеля показало, что электрическая прочность при переменном напряжении составила 6 мВ/м, а импульсная прочность - 12 мВ/м, тогда как для нового кабеля эти величины составляют соответственно 30 и 60 мВ/м.

Существенное влияние на снижение электрической прочности оказывает наличие в изоляции древесных образований. При наличии триингов типа «бант» электрическая прочность практически не меняется. В лабораторных исследованиях кабеля с герметичной металлической оболочкой на напряжение 1 кВ, ранее проложенного через пролив Тромсесунд на севере Норвегии и эксплуатировавшегося там 10 лет, было обнаружено большое количество триингов типа «бант», и совсем не было найдено древесных триингов. Испытания переменным, постоянным и импульсным напряжением не выявили снижения электрической прочности. Следовательно, на электрическую прочность изоляции кабеля влияют только кустообразные триинги. Поэтому требуется диагностировать лишь этот тип ВТ.

В диагностике мест неоднородностей КЛ одной из самых существенных задач является определение параметров неоднородности. Как сказано выше, в случае наличия в изоляции ВТ оценка степени повреждения кабеля возможна лишь по изменению емкости кабеля.

Учитывая вышесказанное, испытание кабеля из сшитого полиэтилена необходимо проводить с использованием переменного напряжения. Постоянно изменяющаяся полярность заряда обеспечивает компенсацию накапливающихся зарядов, и происходит их разрядка. Эффективным является испытание СПЭ кабелей установкой СНЧ (напряжением сверхнизкой частоты), при котором удаётся достичь максимальной скорости развития пробоя и выявить имеющиеся дефекты в течение испытания. Форма выходного напряжения должна быть симметричной – это обстоятельство является особо важным. Тем самым при испытаниях мы можем увидеть водные триинги в изоляции, которые представлены на рисунке 1.

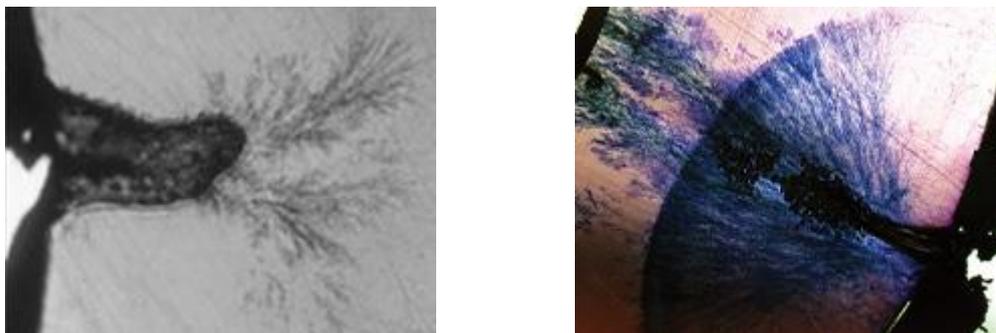


Рисунок 1 – Водные триинги в изоляции

В данной области несколько передовых научных разработчиков. В 1995г одной компанией вместе с ведущими научными германскими университетами были проведены особые исследования, результаты которых привели к разработке первой специальной системы, основным предназначением которой было проведение высоковольтных испытание СПЭ кабелей установкой СНЧ. Данная система имеет запатентованную цифровую технологию формирования выходного сигнала, именуемую (чистый синус), которая представляет собой наиболее современную технологию генерирования высокого напряжения СНЧ.

Основные особенности технологии:

- выходной сигнал абсолютной симметричности, независимо от длины кабеля, уровня напряжения для испытания;
- испытательное симметричное синусоидальное напряжение, которое обеспечивает направленность распространения имеющегося повреждения, что даёт возможность

проведения испытания высоконадёжных кабелей и определять потенциальные пробои (90%) в течение получаса испытаний.

Результаты проведения данных исследований стали базой для разработки инструкции VDE DIN0276-620, по которой нормы испытаний кабелей с СПЭ-изоляцией определяют напряжение, равняющееся $3 \times U_0$ (частота 0,1Гц, время воздействия - 30 мин).

В соответствии с нормами VDE DIN 0276-620 ведущими специалистами "Московских кабельных сетей", первой российской организации, внедрившей кабели с изоляцией СПЭ в собственном энергохозяйстве, наиболее опытной в работе с кабелем данного вида, была разработана собственная инструкция для испытаний кабельных линий, имеющая название УП-Б-1.

Периодичность испытаний кабельных линий со СПЭ-изоляцией 10кВ, 20кВ и 35кВ, включая кабельные вставки:

- перед включением кабельной линии в эксплуатацию;
- после проведения ремонтов кабельных линий.

2) Испытание оболочки кабеля из сшитого полиэтилена

Вторым необходимым типом испытаний является испытание оболочки кабеля из сшитого полиэтилена.

Данный тип кабельных повреждений связан с коррозионными процессами, их пагубным влиянием, а также с воздействиями механического характера, происходящими во время выполнения монтажа, ремонтных работ и несогласованных раскопок кабельных линий. Если вовремя не произвести ремонт участка повреждённой оболочки кабеля, то основная изоляция утратит свои свойства и произойдёт пробой кабельной линии.

Испытание оболочки кабеля из сшитого полиэтилена выполняется с использованием повышенного напряжения постоянного электротока. При возникновении пробоя производится локальный поиск конкретного места повреждения.

Нормы испытаний оболочки кабелей с СПЭ-изоляцией регламентируют периодичность их выполнения. Проведение испытаний пластиковых защитных оболочек кабелей 10кВ-20кВ, имеющих изоляцию из сшитого полиэтилена, выполняются:

- перед осуществлением включения кабельных линий в эксплуатацию;
- после проведения ремонтных работ основной изоляции кабельной линии;
- при раскопках, которые проводятся в охранной зоне конкретной кабельной линии, в связи с возможным нарушением целостности кабельных оболочек;
- периодически – после сдачи в эксплуатацию (через 2,5 года), потом 1 раз в течение 5 лет.

Для данных целей существует специально разработанное оборудование – особый аппаратный комплекс, реализующий полный цикл соответствующих работ по проведению испытаний кабелей и кабельных оболочек, предварительному определению мест имеющих повреждения и точного определения мест нахождения дефектов оболочек с применением метода шагового напряжения (автоматический режим).

Поиск повреждения кабеля из сшитого полиэтилена.

Поиск повреждения кабеля из сшитого полиэтилена предполагает проведение работ в трёх направлениях:

- нахождение мест повреждений кабельной изоляции;
- нахождение мест повреждений кабельной оболочки;
- нахождение мест повреждений кабельных жил.

3) Нахождение мест повреждённой кабельной изоляции

Данное направление включает в себя два определённых этапа:

Определение предварительной локализации места имеющегося повреждения изоляции, которое выполняется с применением петлевого метода (длина кабеля должна быть больше 50 м). На данном этапе применяется прецизионный мост.

Обозначение точной локализации с применением метода шагового напряжения.

4) Нахождение мест повреждений кабельной оболочки

Для предварительной локализации мест имеющих повреждения используется мостовой метод проведения измерения по Мюррею и Глейзеру. Использование приёмника универсального для точной локализации методом импульсного напряжения. Прецизионный мост может реализовать полный комплекс.

5) Нахождение мест повреждений в кабельных жилах

Применяются такие методы нахождения повреждений: прожиг (только для 3х жильного кабеля), предварительная локализация (применение беспрожиговых методов), точная локализация (акустический метод). Полный цикл испытаний и нахождения мест повреждений реализуется специальным оборудованием.

Рассмотрим сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с другими типами кабелей.

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 её 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 (водопроницаемость) и т.д.

Указанные выше положительные качества сшитого полиэтилена достигаются благодаря технологии сшивки, в процессе которой изменяется молекулярная структура полиэтилена и образуется новая трёхмерная структура вследствие образования поперечных связей между макромолекулами.

При производстве кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ используются две технологии сшивания изоляции:

- технология пероксидной сшивки на линиях газовой вулканизации для кабелей среднего (10-35 кВ) и высокого напряжений (110 кВ и выше);

- технология сшивки силаном для кабелей низкого и среднего напряжения от 0,66 до 20 кВ.

- 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 «силанольной», и соответственно, монопольные 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). Основной недостаток пероксидной сшивки в том, что процесс является точным (под термином «точный» в пероксидной сшивке понимается обеспечение точности технологического процесса, любое отклонение от которого ведёт к неудовлетворительному качеству кабеля или вообще к браку), сложным и дорогим. В связи с этим специалисты начали искать другие пути химической модификации (сшивки) полиэтилена. Этот путь был найден в 70-ых годах фирмой «DownCorning», который

позволил использовать органофункциональные сигналы 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 силанольного сшивания.

Технология сшивки силаном (силанольносшиваемая технология) в предыдущие годы получила меньшее распространение, чем технология пероксидной сшивки в производстве кабелей среднего напряжения, но ряд известных зарубежных фирм успешно производят кабели на напряжения 11, 22, 33 кВ по этой технологии, начиная с 80-х годов: фирма ВІСС (Великобритания), фирма NKF (теперь Pirelli) в Нидерландах, ряд австралийских фирм, фирма KabelwerkStuder (Швейцария). Всего в мире эксплуатируется несколько десятков технологических линий для производства кабелей среднего напряжения по технологии силанольного сшивания. Только фирма «Mailleffer» поставила к настоящему времени 20 технологических линий, которые успешно работают по этой технологии.

Суть технологии сшивки силаном 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, по сравнению со связью C - C при пероксидной сшивке, где соединяются две макромолекулы. Это обеспечивает большую плотность молекулярной сетки, что несомненно положительно сказывается на свойствах материала. С учетом анализа международного опыта, а также последних достижений в области материалов и оборудования по силанольному методу сшивки полиэтилена было принято решение по организации производства кабелей 10 кВ по данной технологии на заводе «Камкабель», г. Пермь.

В лабораториях ВНИИКП (Всероссийского научно-исследовательского института кабельной промышленности) был выполнен достаточно широкий круг испытаний и исследований кабелей на напряжение 10 кВ, изготовленных по технологии силанольного и пероксидного сшивания.

Преимущественно кабели выпускаются в одножильном исполнении, а применение различных типов оболочек и возможность герметизации позволяет использовать кабель как

для прокладки в земле, так и для кабельных сооружений, в том числе при групповой прокладке.

СПЭ-кабель может заменить кабель с бумажной изоляцией практически во всех случаях, однако на этапе внедрения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на том или ином предприятии необходимо выделить те области, где их применение имеет наибольший смысл. Для этого проведем короткое технико-экономическое сравнение «обычных» и СПЭ-кабелей. К сожалению, из-за различий в затратах на ремонты и содержание кабельных линий для конкретных предприятий, разницу в общих затратах на эксплуатацию оценить затруднительно, поэтому предлагаем сравнивать только первоначальные вложения в кабель. Для корректного сравнения возьмем кабели с одинаковой пропускной способностью – бумажный АСБ 3×240 10 кВ и три однофазных кабеля АПвП 1×185/25–10 кВ. Сравнительные характеристики кабелей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение бумажной изоляции и СПЭ

Параметры сравнения	Кабель с бумажной изоляцией АСБ 3×240 - 10 кВ	Одножильный кабель с СПЭ изоляция, АПвП 1×185/25- 10 кВ
Вид кабельной линии в разрезе		
Сечение жил, мм ²	240	185
Ток нагрузки при прокладке в земле, А	355	в плоскости / треугольником 375/360
Максимально-допустимый 1-сек ток КЗ, А	20,56	17,5
Наружный диаметр, мм	62	36
Строительная длина, м	500-600	до 1400 (бар.N22)
Минимальный радиус изгиба, м	1.64	0.54
Масса, кг/км	7050	1370 (4110)
Допустимая разность уровней, м	15	не ограничена
Сравнительная стоимость. %	100	160

Из приведенных данных видно, что при одинаковой пропускной способности и лучших остальных параметрах стоимость СПЭ-кабеля примерно на 60–70% выше. Это объясняется более дорогими материалами и технологией изготовления, большим расходом материалов при радиальной конструкции кабеля. Но с другой стороны, такая конструкция

обеспечивает равномерное распределение электрического поля и, как следствие, увеличение электрической прочности.

В таблице 2 показаны сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), этиленпропиленовой резины (ЭПР) и с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ).

Таблица 2 - Сравнение характеристик кабелей с ЭПР, СПЭ и БПИ изоляцией

Характеристики	Кабель сЭПР изоляцией	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с БПИ изоляцией	Комментарии
Температура жилы при работе в номинальном режиме, °С	90 (до 105)	90	70	При использовании одинаковых сечений токовая нагрузка кабелей с ЭПР изоляцией выше
Температура жилы при перегрузке, °С	105÷110 (до 140)	105÷110	90	–
Температура жилы при коротком замыкании (до 5 с), °С	250 (до 300)	250	200	–
Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева, °С	–15 (до –40)	–15	0	–
Температурный диапазон эксплуатации, °С	От –60 до +50	От –50 до +50	От –50 до +50	–
Радиусы изгибов	От 4 Dн	15 Dн	25 Dн	Высокая гибкость упрощает монтаж кабельных линий
Применение во взрывоопасных зонах	Да	Нет (п.7.3.102 ПУЭ)	Да	–

Опыт эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины, имеющийся в Кировском Филиале АО «Апатит», показал, что оба типа кабелей обладают по сравнению с устаревшим БПИ кабелем низким весом, малым диаметром и, вследствие этого, легкостью прокладки, как в кабельных сооружениях, так и в земле на сложных трассах. Особенностью кабеля с ЭПР изоляцией является то, что он используется в установках с погруженным электрооборудованием и во взрывоопасной зоне (в отличие от кабеля из сшитого полиэтилена). В остальных случаях кабель из сшитого полиэтилена не уступает и является авангардом кабельной промышленности.

Кроме того, СПЭ-кабели имеют меньший диаметр и легче, чем кабели с бумажно-масляной изоляцией, и поэтому они могут прокладываться большими длинами, что уменьшает число соединений и увеличивает надежность линий. Отсутствие жидких

компонентов в изоляции позволяет использовать СПЭ-кабели в широком диапазоне окружающих температур и без ограничений по разности высот прокладки. По этой же причине КЛ, выполненные СПЭ-кабелями, экологически более безопасны и не требуют постоянного контроля и обслуживания в процессе эксплуатации.

Из недостатков кабеля с изоляцией на основе сшитого полиэтилена в первую очередь, следует отметить, что высокая устойчивость к температурным воздействиям приводит к тому, что кабели эксплуатируются при температурах, которые выше, чем те, что характерны для работы кабелей с другими типами изоляции. Это, на первый взгляд кажущееся преимущество, накладывает определенные дополнительные требования на муфты, которые предназначены для соединения отрезков кабелей строительной длины при монтаже и ремонте, а также на концевые муфты.

Сравнительный анализ двух видов кабелей с разной изоляцией показал, что каждый тип имеет свои преимущества и недостатки. Их применение зависит от конкретных условий эксплуатации. Поэтому в настоящее время специалисты Энергослужбы КФ АО «Апатит» склоняются к тому, чтобы отдать предпочтение использованию кабелей с изоляцией «этилен-пропилен-резина», так как технология эксплуатации и монтажа этих кабелей значительно проще и имеет большую схожесть с традиционными технологиями, применяемыми при эксплуатации кабелей с БМИ.

Литература

1. Настольная книга проектировщика «Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-35 кВ.
2. Дмитриев, М.В., Евдокунин Г.А. Однофазные силовые кабели 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. // Новости Электротехники. – 2008.-№2(50).
3. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. - Л.: «Энергия». Ленингр. Отд-ние., 1979. - 224 с.
4. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 368 с
5. Миллер В.В. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и кабельная арматура к ним. Технология сшивки, производство и контроль качества поставляемой продукции. Реконструкция и строительство кабельных сетей в городских условиях. - XIX-е заседание Ассоциации электроснабжения городов России «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО», тез. докл., Ханты-Мансийск, 2013.6.
6. ГОСТ Р 55025-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия.

7. Доклад по силовым кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1-10 кВ. - Департамент топливно-энергетических ресурсов г.Москвы, 2005
8. Боев А. Сравнение кабелей с БПИ и СПЭ-изоляцией // Кабель-NEWS.- 2010. - № 11.
9. Ларина, Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии : учебник для вузов / Э. Т. Ларина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Энергоатомиздат, 1996. — 464 с.: ил.
10. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В.П. Вдовико. - Новосибирск: Наука, 2007. - 155 с.
11. Кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины // Мир современных материалов [Электронный ресурс]. – М., 2014. – URL: <http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/28-silovye-kabeli/65-kabelis-izolyatsiej-iz-etilenpropilenoj-reziny>. - 14.05.2024.
12. Инструкция по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, высокомодульных этиленпропиленовой резины и ПВХ на напряжение 0.66-35кВ.
13. ГОСТ Р МЭК 60840-2022 - НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАБЕЛИ СИЛОВЫЕ С ЭКСТРУДИРОВАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И АРМАТУРА К НИМ НАНОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СВЫШЕ 30 кВ.
14. Руководство по выбору, монтажу и эксплуатации кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины, на напряжение 6-35кВ.